

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Колодія Олександра Сергійовича

УДК [62-79; 633.854.78]

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ СОНЯШНИКА

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського
виробництва

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Кюрчев С.В.
кандидат технічних наук, доцент

Мелітополь - 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ ДО СІВБИ ТА РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СЕПАРУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА.....	10
1.1. Фізико-механічні властивості насіння соняшника.....	10
1.2. Засоби післязбиральної обробки насіння сільськогосподарських культур.....	12
1.2.1. Аналіз повітряно-решітно-трієрних машин.....	12
1.2.2. Аналіз пневмосепараторів.....	18
1.3. Основні досягнення вітчизняних та іноземних учених в теорії сепарації насіння.....	26
1.4 Мета та завдання досліджень.....	30
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЯ В АСПІРАЦІЙНОМУ КАНАЛІ.....	32
2.1. Детермінована математична модель руху насіння у вертикальному повітряному потоці кільцевого сепаруючого каналу.....	32
2.2. Обґрунтування форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою кільцевого сортируючого каналу.....	41
2.3. Дослідження руху насіння у висхідному повітряному потоці змінної швидкості повітря за висотою каналу.....	49
2.5. Теоретичне обґрунтування раціонального діаметру вертикального аспіраційного каналу установки.....	52
2.6. Висновки за розділом.....	55
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	57
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	57
3.2. Параметри та конструкція натурної моделі пневмогравітаційного сепаратора насіння.....	57
3.3. Методика експериментальних досліджень пневмогравітаційного	

сепаратора насіння.....	62
3.3.1. Методика дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі.....	62
3.3.2. Методика дослідження раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора.....	67
3.3.3. Методика дослідження раціонального діаметру аспіраційного каналу установки.....	69
3.3.4. Методика дослідження раціонального діаметра патрубку постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу.....	70
3.3.5. Методика дослідження впливу геометричного положення насіння у просторі на загальну якість поділу насіння за питомою вагою при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратора.....	73
3.3.6. Методика дослідження раціонального діаметра розподільника фракції I для відбору пито-легкого насіння.....	75
3.3.7. Методика дослідження раціональної продуктивності роботи пневмогравітаційного сепаратора насіння.....	77
3.4. Висновки за розділом.....	79
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	80
4.1. Результати дослідження розробленого пневмогравітаційного сепаратора.....	80
4.1.1. Результати дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі.....	80
4.1.2. Результати дослідження раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора	83
4.1.3. Результати дослідження раціонального діаметра основного аспіраційного каналу установки.....	85
4.1.4. Результати дослідження раціонального діаметра патрубку постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу.....	87
4.1.5. Результати дослідження впливу геометричного положення насіння в просторі на загальну якість поділу насіння за масою при потраплянні у	

вертикальний аспіраційний канал сепаратора.....	91
4.1.6. Результати дослідження раціонального діаметра подільника для відбору важкого насіння.....	92
4.1.7. Результати дослідження раціональної продуктивності запропонованого сепаратора.....	94
4.2. Дослідження руху насіння методами числових експериментів	96
4.4. Висновки за розділом.....	103
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ СОНЯШНИКА З ВЕРТИКАЛЬНИМ АСПІРАЦІЙНИМ КАНАЛОМ.....	104
5.1. Енергетична оцінка ефективності використання запропонованого сепаратора насіння.....	104
5.1.1. Розрахунок витрат енергії на виготовлення одного сепаратора насіння запропонованого типу.....	104
5.1.2. Розрахунок витрат енергії на підготовку насіння запропонованим сепаратором для сівби 1га поля.....	110
5.2. Висновки за розділом.....	114
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	115
ЛІТЕРАТУРА.....	117
ДОДАТКИ.....	138

ВСТУП

Актуальність теми. Збільшення врожайності соняшнику для України є важливим питанням. Тому розробка нових та вдосконалення існуючих способів і засобів для підготовки насіннєвого матеріалу шляхом сепарування є актуальною задачею. Особливо в умовах просування України до Європейської інтеграції, що вимагає високоефективного виробництва в агропромисловому секторі.

Відомо багато різних науково-обґрунтованих методів збільшення врожайності соняшнику. Одним із способів є використання для сівби найбільш продуктивного насіння, яке отримується шляхом сепарування та має покращені насіннєві властивості. З літературних джерел відомо і вченими було доведено, що відбір із загальної маси найбільш продуктивного насіння із найбільшим запасом поживних речовин, тобто із великою масою 1000 штук насінин (80-100 г), дозволяє отримати збільшення врожайності на 3-5 ц з 1 га.

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 зерен складає всього 4,4%. Це вказує на те, що можливості повітряного потоку використовуються далеко не повністю. Тому необхідно створення принципово нових конструкцій повітряних каналів і способів поділу, які дають можливість підвищити якість розділення насіннєвого матеріалу.

У зв'язку зі сказаним дослідження, пов'язані із обґрунтуванням параметрів пневмогравітаційного сепаратора для насіння соняшника є своєчасними і актуальними.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами. 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 і 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 насіння у вертикальному каналі, які відрізняються фізичними властивостями;
- розробити математичну модель руху насіння в кільцевому каналі для визначення основних параметрів повітряного каналу;
- дослідити рух насіння по опорній поверхні дозуючого розподілюючого 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 поділу та очищення насіння соняшника за рахунок розробки нової конструкції пневмогравітаційного сепаратора з обґрунтуванням його основних конструкційно-технологічних параметрів.

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

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 і режимні параметри сепаратора, що покращило якість сепарації насіння.

Отримали подальший розвиток:

– математичне моделювання руху частинок 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, де на відміну від відомих враховано зміну швидкості повітряного потоку по висоті.

– наукова новизна пневмогравітаційного сепаратора підтверджена патентом України № 86300 від 25.12.2013р.

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 насіннєвого матеріалу шляхом сепарації [125]; проведено аналіз стану питання механізації сепаруючих машин для насіння соняшнику [95]; запропоновано нову конструкційно-технологічну схему пневмогравітаційного сепаратора [66,]; створено математичну модель робочого процесу та за допомогою теорії імовірностей обґрунтовано якість його роботи [67]; складено методику розрахунку основних конструкційно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора [65]; розроблено методику та проведено експериментальні дослідження [64]; обґрунтовано економічні показники ефективності використання запропонованого сепаратора [96].

Дослідження проводилися в Таврійському агротехнологічному університеті і його структурних підрозділах та в умовах ТОВ «Зоря» Приазовського району Запорізької області.

Практичне значення отриманих 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 в ТОВ «Зоря» Приазовського району Запорізької області.

Розроблені методики дозволяють проводити розрахунки та виготовляти промислові зразки пневмогравітаційних сепараторів заданої продуктивності. Результати дослідження запроваджено в учбовий процес ТДАТУ.

Апробація результатів досліджень. Основні результати досліджень доповідалися на:

- щорічних науково-технічних конференціях Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2013-2015pp.).

- міжнародній науково-технічній конференції «Проблемы механизации производства и технологии переработки сельскохозяйственной продукции», Сімферополь, 2013;

- міжнародній науково-практичній конференції "Технічний прогрес в АПК", Харків, ХНТУСГ ім. П. Василенко, 2013 р.

- IX міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» Кіровоград, 2013.

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.

РОЗДІЛ І

АНАЛІЗ СТАНУ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ ДО СІВБИ ТА РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СЕПАРУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА

1.1. Фізико-механічні властивості насіння соняшника

Фізико-механічні властивості насіння соняшника є: лінійні розміри та геометрична форма, аеродинамічні, абсолютна маса, щільність, та інші властивості. Ці властивості дуже важливі при вирішенні багатьох задач післязбиральної обробки, зберігання та переробки насіння.

При зберігання насіння насипом в великій масі вони набувають нових властивостей, які істотно відрізняються від властивостей одиничних насінин. До цих властивостей відносяться об'ємна маса, насипна щільність та ін. Від розмірів насіння та їх форми залежать тип сховища, параметри робочих органів машин, та способи зберігання і переробки насіння. У соняшнику дрібне насіння мають велику лузжистість, більш високе кислотне число, вміст олії в них нижчий в порівнянні з великими. Доцільність роздільного зберігання та переробки великого і дрібного насіння соняшнику за різними технологіями обумовлюється тим, що оболонка дрібного насіння руйнується і відокремлюється важче, тому дрібне насіння переробляють за більш спрощеною технологією. Сепарацію насіння соняшнику проводять різними способами. Дрібне насіння складають до 40% від загальної маси що надійшла до зберігання [1].

Розміри насіння соняшнику знаходяться в межах: довжина 5-25 мм; ширина 4,3-10 мм; товщина 4-7 мм в залежності від сорту насіння і агротехнічних умов. Маса 1000 насінин соняшнику знаходиться в межах 40-100г в залежності від сорту і умов вирощування. В. В. Белобородов, провівши дослідження, показав, що критична швидкість насіння соняшнику в залежності від абсолютної маси і розмірів насінин знаходиться в межах 3,2-8,9 м/с. Також він відмітив, що із підвищенням вологості загальна маса

насіння соняшнику збільшується. На таблиці 1.1 представлена характеристика насіння соняшника [2].

Таблиця 1.1

Характеристика насіння соняшника

Найменування	Маса 1000шт., г	Насипна щільність, г/л	Питома маса, г/см ³	Еквівалентний діаметр, мм
Одеський 122	61,66	404	0,728	5,45
Харьковський 49	67,00	410	0,748	5,55
Запорізький 9	58,46	421	0,745	5,31
Запорізький 10	52,28	430,9	0,738	5,13
Запорізький 12	57,62	426,9	0,741	5,30
Запорізький 14	62,73	419,5	0,735	5,46
Запорізький 16	56,15	436,9	0,753	5,22
Запорізький 18	43,87	462,8	0,779	4,76

В результаті сепарації вдається відбирати із загальної маси для посіву найбільш якісне насіння з насипною щільністю до 462,8 г/дм³.

Як показали дослідження [2, 3], насіння з кращими посівними властивостями містять більше елементів живлення (азоту на 0,21%, фосфору на 0,25%). Енергія проростання, лабораторна схожість, сила росту і польова схожість важкого насіння у порівнянні з легкими зростають відповідно на 4,7%, 5%, 13-14%. Насіння з більшою силою зростання мають масу 43,87-67,00 г, що на 10-25г більше, ніж у рослин з меншою силою зростання. Це свідчить про те, що вже на початкових етапах розвитку проростка, коли потужність його визначалася тільки наявністю поживних речовин в насінні, відзначається невідповідність між його масою і масою проростка.

В таблиці 1.2 представлені вимоги до посівного матеріалу соняшника першого покоління [2, 3].

Таблиця 1.2 – Вимоги до посівного матеріалу соняшника першого покоління

Показник	Якість сорту	
	I клас	II клас
Чистота насіння, %	99	98
Насіння інших рослин на 1кг, шт	7	20
Енергія проростання, %	90	85
Схожість, %	95	90
Вологість насіння, % (не більше)	8	10
Вологість насіння страхового фонду, %	7	7
Маса насіння 1000 шт, г	90-110	80-100

Дослідження насіння соняшника проводилися в ТОВ «Зоря» Приазовського району Запорізької області. В таблиці 1.3 представлені результати дослідження.

Таблиця 1.3 – Характеристика досліджувального насіння соняшника

Найменування	Маса 1000шт.,г	Насипна щільність, г/л	Питома маса, г/см ³	Еквівалентний діаметр, мм
Одеський 122	58,42	392	0,725	5,44
Харьковський 49	62,76	400	0,738	5,50
Запорізький 14	59,23	413,6	0,729	5,40

1.2. Засоби післязбиральної обробки насіння сільськогосподарських культур

1.2.1. Аналіз конструкцій повітряно-решітно-трієрних машин

Сучасна промисловість випускає пневматичні сепаратори і комбіновані

завантажувача. Ширина захоплення транспортера становить 3350 мм.

При русі машини уздовж оберемка шнекові живильники захоплюють насінний матеріал і підводять до підйомної труби завантажувача, який подає його в розподільний шнек. Шнек розподіляє насінний матеріал по ширині і подає його в повітряний канал першої аспірації, де висхідний потік повітря виносить в відстійну камеру легкі домішки (солому, легкі колосся тощо), які виходять через приймач 1.

Пройшовши очищення в каналі першої аспірації, матеріал надходить на решето Б1 решітного стану, на якому вся зернова суміш ділиться на дві приблизно рівні частини (фракції). Матеріал, що пройшов через решето, містить частину зерна з дрібними домішками, які виділяються на підсівних решеті Б2 і далі на сортувальному решеті. Матеріал, що пройшов через решето Б2, містить дрібні мінеральні домішки і бур'яни. Він виходить з машини через приймач. Матеріал, що пройшов через решето, містить в основному дрібне і подрібнене зерно і виводиться по жолобу в приймач ІІІ. Схід з решета являє собою очищений матеріал, який подається далі в повітряний канал другої аспірації, де висхідний потік повітря виносить у другу відстійну камеру легкі домішки і щупле зерно, що залишилися.

Далі насінний матеріал подається в робочу гілку норії, яка транспортує зерно в верхній трієрний циліндр, що виділяє короткі домішки. Короткі домішки перекидаються в лоток, з якого шнеком подаються в приймач V, звідки виводяться назовні разом з довгими домішками.

Очищене від коротких домішок зерно самопливом направляється в трієрний циліндр довгих домішок. Насіння забирається комірками трієра і прямує в жолоб, звідки шнеком подається в транспортер 6, а довгі домішки сходом йдуть в приймач VI. При очищенні матеріалу без трієрів слід переключити заслінку режиму роботи у верхній головці елеватора. Тоді насіння виводиться на транспортер 6. При очищенні оберемка, у якого довжина частинок основного матеріалу (наприклад, вівса) більше довжини решти домішок, сходом з овсюжного циліндра піде основний матеріал, а в

лоток будуть виводитися домішки. Машина оснащена механізмом самопересування. Продуктивність машини 4,8 т/год, маса 2,2 т. Потужність встановлених електродвигунів 7,4 кВт.

Перевагами розглянутої машини виступають: при змінні решіт можливе сортування та очищення насіння різних культур, ефективне очищення насіння при вологості до 20%.

До недоліків слід віднести: складне регулювання; погане очищення насіння при русі машини по похилій поверхні; пошкодження зерна [5, 6].

На рис. 1.2 представлена зерноочисна машина МПО-50 [5, 7, 8].

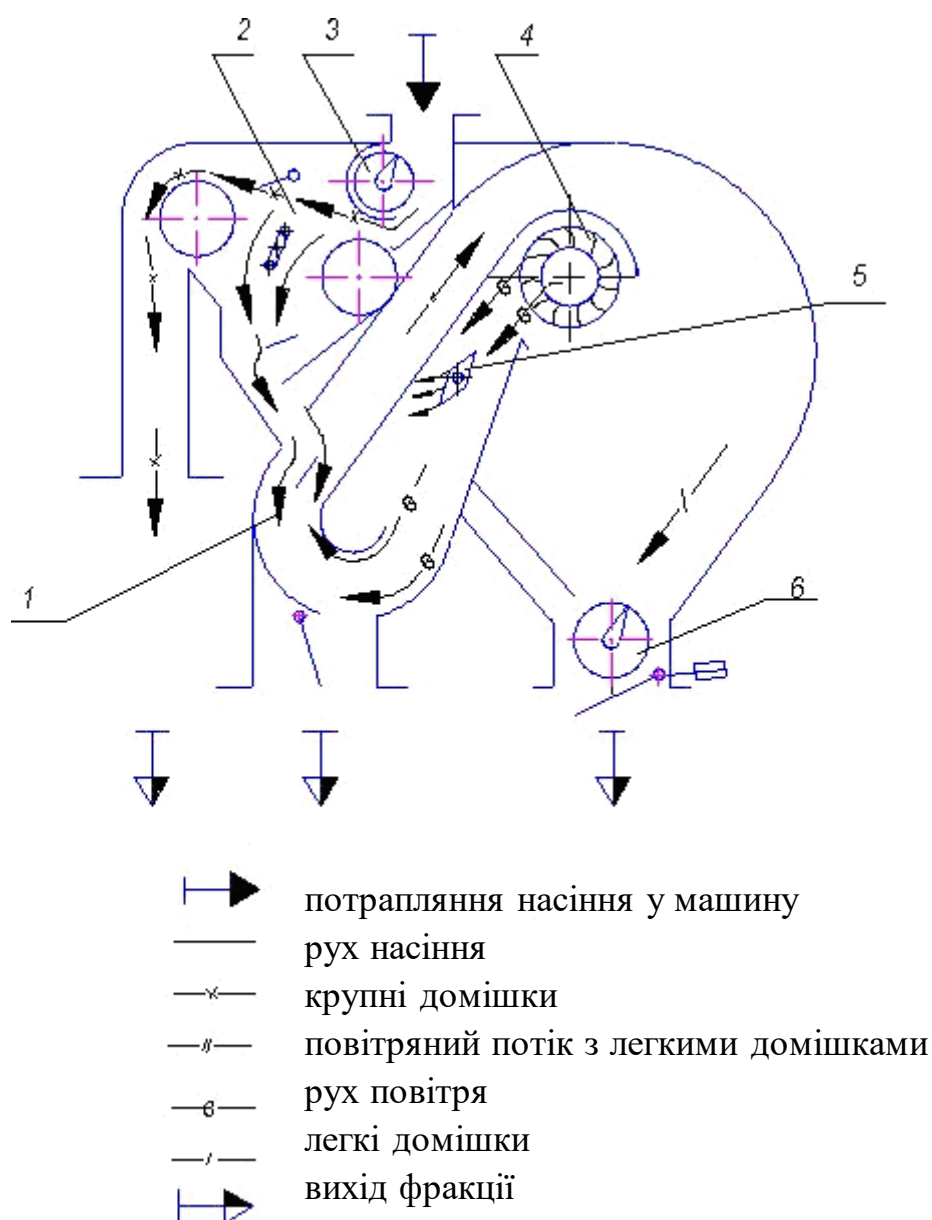


Рис. 1.2. Схема технологічна машини МПО-50: 1 – повітряний канал; 2 - струшувач; 3,6 - шнеки; 4 – вентилятор; 5 – заслонка.

Вітчизняна зерноочисна машина МПО-50 призначена для попереднього очищення від домішок зернового оберемка колосових, зернобобових, технічних, олійних і інших культур, що поступають з поля.

Основними робочими органами машини є приймальна камера і повітряно-очисна частина. Привід робочих органів здійснюється ремінною і ланцюговою передачами від електродвигуна. Насіння по зернопроводу надходить у завантажувальний шнек, який рівномірно розподіляє матеріал по ширині машини і подає за скатний лист на сітчастий транспортер. Зерно, легкі і дрібні домішки проходять через нього, а великі домішки (солома, колоски тощо) виводяться сітчастим транспортером з машини. Для інтенсифікації просіювання зернової фракції ведена гілка транспортера струшується. Матеріал, що пройшов крізь сітчастий транспортер, ділиться на два потоки і надходить у всмоктуючий канал аспірації. Застосовується МС-4,5 в потокових лініях зерноочисних агрегатів і зерноочисно-сушильних комплексів, а також в простих лініях для обробки зерна на фуражні цілі. Продуктивність 50 т/год.

Замкнутий повітряний потік в машині створюється вбудованим діаметральним вентилятором. Швидкість повітряного потоку регулюється дросельною заслінкою, розташованою в нагнітальному каналі. Легкі домішки виводяться з машини шнеком, а очищене зерно виводиться самопливом.

Перевагами даної машини є: робочі органи машини дозволяють обробляти насінний матеріал з вихідними показниками вище оптимальних (вологість – до 25-30 %, засміченість – до 20 %) при відповідному зниженні продуктивності; ефективне видалення вологоємких домішок у висхідному повітряному потоці виключає завали та ймовірність загоряння в сушарках.

Недоліками МПО-50 є: пошкодження насіння, низьке виділення насіння цінної фракції - 62% [7, 8].

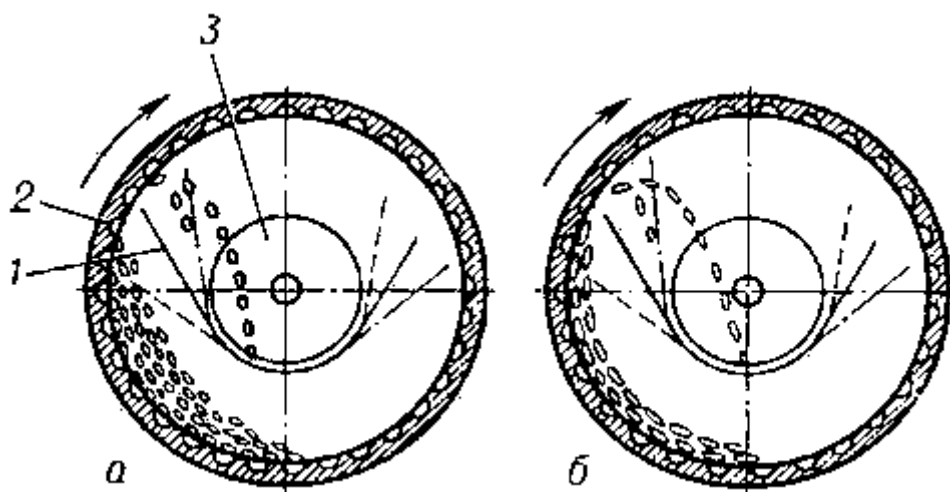


Рис. 1.3. Схема технологічна лямкового (а) і овсюжного (б) трієрних циліндрів: 1 - жолоб; 2 - циліндр з комірчастою поверхнею; 3 – шнек

На рис. 1.3. представлена технологічна схема лямкового (а) і овсюжного (б) трієрних циліндрів [5, 9]. При обертанні циліндра всередину його надходить насіннева суміш. Насіння, довжина яких менше діаметра комірок, укладаються в них, а довгі розташовуються на поверхні циліндра. Обертаючись, циліндр піднімає насіннєву суміш вгору. При його повороті насіння під дією власної маси випадають з осередків у жолоб, розташований усередині циліндра.

На дні жолоба змонтований шнек для виведення насіння з машини. Довгі зерна під дією сил тертя піднімаються, а потім зсипаються вниз, просуваються по поверхні циліндра вздовж його осі і виходять з протилежного боку. Циліндричні трієри бувають одинарної і подвійної дії. Циліндр трієра одинарної дії має осередки одного розміру. Трієр подвійної дії має два циліндри з осередками двох розмірів: для відділення спочатку довгих, а потім коротких домішок. Трієри, що відокремлюють довгі домішки, називаються овсюжними, а для відділення коротких - лямковими.

Переваги даної машини є порівняно невеликі енергетичні витрати – 2,2кВт, можливість роботи при вологості до 16%. До недоліків слід віднести складність настройки, забивання комірок соломною, пошкодження насіння.

Так як для посівного матеріалу дуже важливе цілісність насіння, то

використання повітряно-решетно-трієрних машин для покращення якості насіння не раціональне. Повітряно-решітно-трієрні машини не забезпечують необхідної якості очищення насіння, тому сільськогосподарські виробники примушені використовувати додаткове очищення матеріалу.

1.2.2. Аналіз пневмосепараторів

Пневмосепаруючі системи [34] відносяться до складних систем, стан яких визначається великою кількістю параметрів. Найбільш важливі з них: кут нахилу повітряного потоку, швидкість введення матеріалу, спосіб впливу на матеріал та ін. певний вплив на процес сепарації надають сили взаємного зіткнення та зчеплення складових частин купи, а також сили тертя об стінки сепаруючих камер, що обмежують зону сепарації. Ці сили пов'язані з формою камери.

Залежно від взаємодії повітряного потоку і матеріалу виділяють чотири основні схеми сепарації: в горизонтальному, похилому, вертикальному повітряному потоці і за принципом протитечії.

Горизонтальні і похилі повітряні потоки володіють перевагою. Напрями сили тяжіння і аеродинамічної сили у них не збігаються, внаслідок чого подача суміші може бути здійснена за допомогою простих пристроїв: транспортерів, бункерів та ін. Сила тяжіння забезпечує вільне надходження матеріалу у повітряний потік і випадання в робочій частині з нього. Кожна окрема насінина описує в потоці повітря шлях, що представляє собою відносно просту криву. Число взаємних зіткнень насінин незначне.

До недоліків сепараторів, використовуючих горизонтальні і похилі повітряні потоки, слід віднести нерівномірний повітряний потік, а також технічні труднощі при створенні широкого струменя повітря.

Порівняльна оцінка роботи горизонтальних, похилих і вертикальних повітряних сепараторів показує, що якість сепарації залежить насамперед від концентрації матеріалу в повітряному потоці. Вертикальні потоки

забезпечують високу якість сепарації при малих подачах, зі збільшенням подач ефективність їх роботи падає. Пояснюється це тим, що у вертикальному повітряному потоці частинки багаторазово рухаються вгору і вниз, внаслідок чого виникає велике число зіткнень, особливо при підвищених подачах. Тому в сепараторах з вертикальним потоком перешкод окремої частинки більше, ніж у сепараторах з горизонтальним і похилим потоками.

У той же час у вертикальних каналах повітряний потік надає більш тривалий вплив на матеріал, частинки мають можливість займати різні положення, що нівелює вплив одного випадкового положення входу в потік, тобто сепарація менше схильна до впливу випадку та результати виходять більш стабільними.

В пневмосепараторах може використовуватися як всмоктуючий так і нагнітаючий повітряний потік. Одним із суттєвих недоліків нагнітаючого повітряного потоку є наявність пилу, яку дуже важко вловити і видалити. Створюються важкі умови для роботи обслуговуючого персоналу. Пиловловлюючі камери в нагнітальних машинах громіздкі, часто засмічуються і через фільтри пил проходить в навколишнє середовище. Камери створюють додатковий, а головне, змінний опір, у зв'язку з чим погіршується точність роботи машин. Другим недоліком при використанні нагнітаючого повітряного потоку є значна ширина вентилятора і викликана нерівномірність повітряного потоку на виході. Даний недолік намагаються усунути різними способами - використанням діаметральних вентиляторів або спеціальних повітророзподільних пристроїв, але повністю усунути його не вдається.

Ще однією особливістю нагнітаючого повітряного потоку є нерівномірність його швидкості, обумовлена малим числом лопатей робочого колеса вентилятора. Рівномірність швидкості повітряного потоку аспіраційних камер не залежить від числа лопатей, так як в даному випадку повітря нагнітається під атмосферним тиском. Однак аспіраційні камери

також мають недоліки, наприклад потрапляння повітря через зазори, в результаті чого його напрямок відхиляється від заданого формою камери і якість сепарації знижується.

Більш повно використовувати енергію повітряного потоку дозволяє одночасне застосування всмоктуючого і нагнітального потоків. Машини з одночасним використанням таких потоків не потребують обладнання спеціальними пиловловлювачами і фільтрами для очищення повітря, не створюють розрідження повітря всередині приміщення і цим сприяють підтримці в приміщенні постійної температури. Однак для нормальної роботи таких виконаних за комбінованою схемою машин необхідна повна герметичність внутрішньої частини, рівномірність подачі суміші і безперервне видалення відходів з осадової камери [34] .

Сепаратор ПСМ-25М (рис. 1.4) складається з корпусу, приймального бункера 1, підтримуючої сітки 3, вивантажувального пристрою очищеного

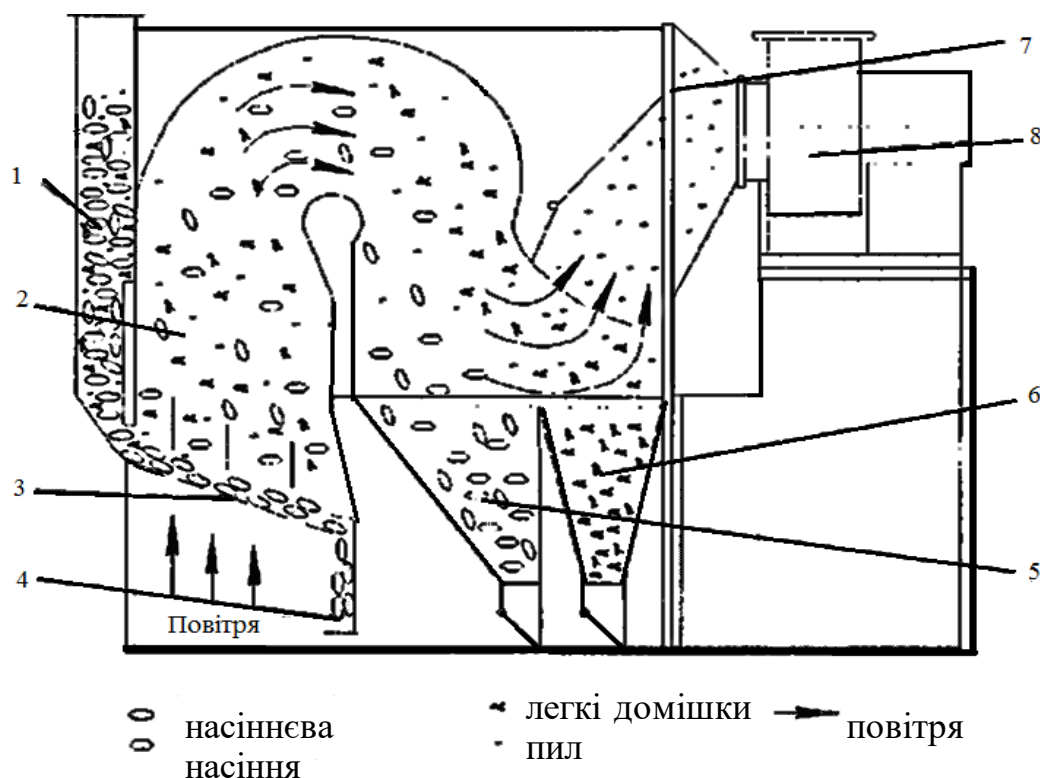


Рис. 1.4 Схема технологічна пневмосепаратора ПСМ-25М з комбінованим методом розділення матеріалу: 1 - приймальний бункер; 2 – робоча зона; 3 - сітка; 4 - приймальник очищеного насіння; 5 - приймальник фуражного зерна; 6 - приймальник легких домішок; 7 - заслінка; 8 – вентилятор

матеріалу 4, осадової камери вивантажувального пристрою товарного зерна 5 і вивантажувального пристрою мертвого відходу 6, механізму для регулювання повітряного потоку 7, вентиляторів 8 [10, 11].

Недоліком цього сепаратора є те, що насіння зависає в кутах сепаратора та процес поділу не відбувається.

Чебанов А.Б. запропонував сепаратор [13, 14], який зображено на рис. 1.5. Робочий процес якого проходить наступним чином: до бункера

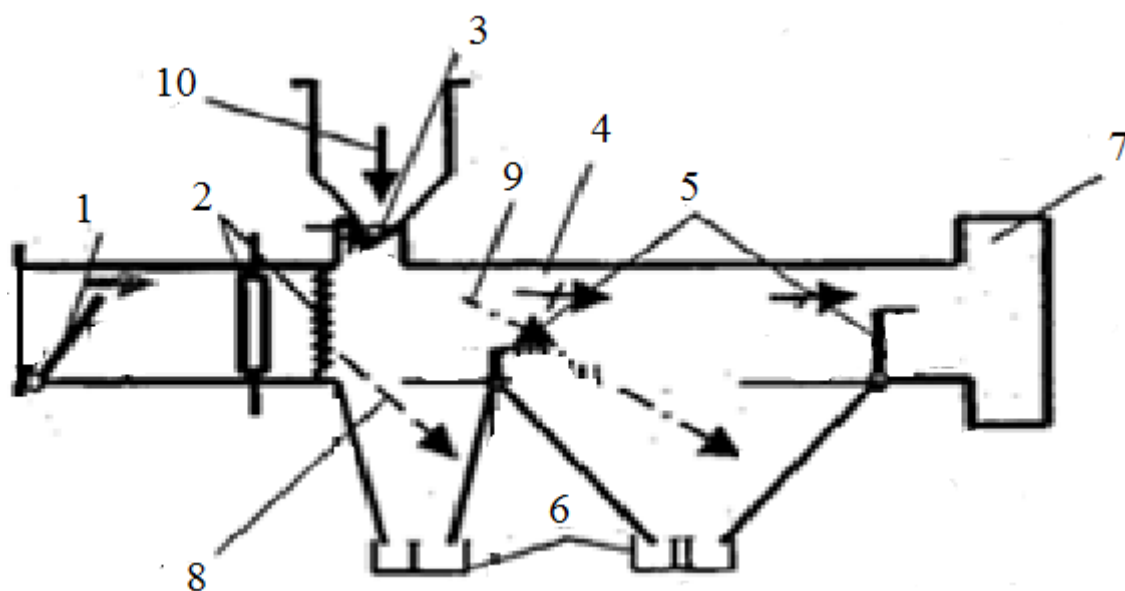


Рис. 1.5. Схема технологічна пневматичної установки: 1- регулятор подачі повітря; 2 – жалюзі у горизонтальному каналі; 3 – регулятор подачі суміші; 4 – горизонтальний канал; 5 - перегородки з заслінками; 6 – приймачі I та II фракції; 7 – вентилятор; 8 – рух ядриці та її січки; 9 - рух лушпиння; 10 – рух насіння

сепаратора надходить насіння, подачу якого регулюють заслінкою 3. Процес сепарації відбувається в горизонтальному каналі 4. Розділені фракції за допомогою регульованих перегородок 5 надходять до встановлених приймачів 6. У кінці горизонтального каналу встановлено вентилятор 7, який нагнітає запилений потік у пилоосаджувальну камеру 8. Камера обладнана пиловловлюючим пристроєм, що складається з поперечної щілини 9. При роботі запропонованого пневмосепаратора насіння із бункера за допомогою регулятора подачі суміші подається до горизонтального каналу, де під дією

повітряного потоку згідно аеродинамічних властивостей компонентів та сили тяжіння поділяється на фракції.

Запилений повітряний потік потрапляє в пилоосаджувальну камеру, де очищається від крупних домішок, що потрапляють до відповідного приймача. Після очищення у пилоосаджувальній камері повітряний потік з частками пилу потрапляє до пиловловлюючого пристрою. Його основним елементом є вертикальний канал, у якому за рахунок сил тяжіння та інерції (використання жалюзі) відбувається очищення від часток пилу. Вловлені частинки пилу направляються в нижню зону вертикального каналу у відповідний приймач. Кінцеве очищення повітряного потоку від дрібнодисперсного пилу (до 500 мкм) відбувається у інерційному пиловловлювачі та фільтрі. Переваги розглянутого сепаратора є зменшення запиленості приміщення. Недоліком даного сепаратора є велика енергоємність та недостатня якість поділу насіння.

Схеми пневмосепараторів з вертикальним розміщенням каналів представлені на рис.1.6. Одним із представників даного класу є пневмоколонка ПС-15 (рис.1.6, а).

Конструкція пневмосепаратора ЧСП має однократну аспірацію суміші насіння у вертикальному повітряному каналі прямокутного перетину з відділенням трьох фракцій (рис.1.6, б) [14, 17]. Вихідна суміш через затвор 1 подається крізь шахту 2 до пневмосепаруючого каналу 4, в якому відділяються важкі домішки. В осаджувальній камері 3 відокремлюються насіння основної культури та виводиться з машини затвором 6. Регулювання напрямлення та режиму руху повітря здійснюється заслінкою 7 та регулюючим клапаном 8. Продуктивність сепаратора складає 140 т/год, потужність – 9,8 кВт, при цьому ефективність очищення до 50% - дрібне сміття, 90-95% - крупне сміття [14, 17].

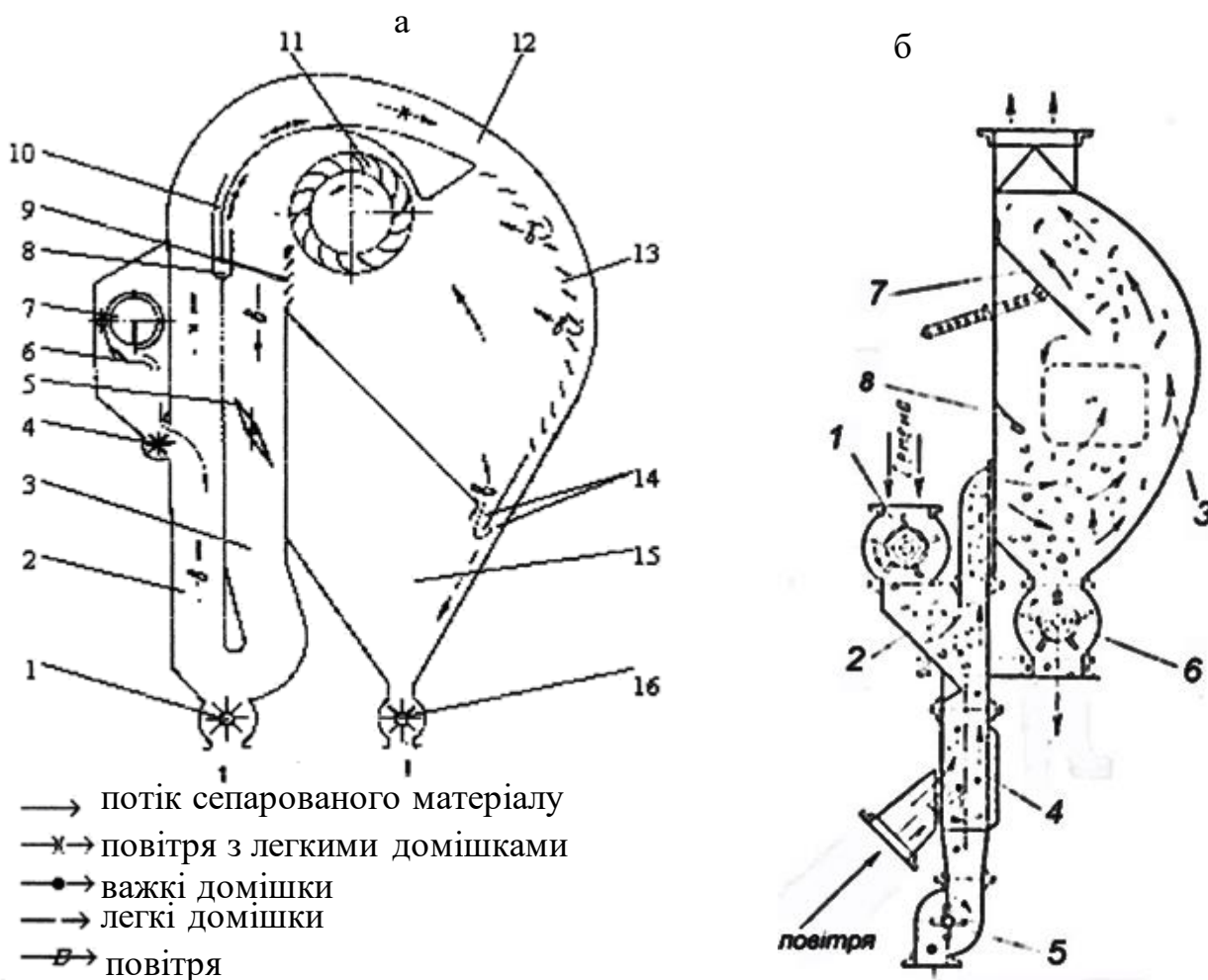


Рис.1.6. Схеми технологічні пневмосепараторів з вертикальним розміщенням каналів: а) – пневмоколонка ПС-15: 1, 16 – шлюзові затвори; 2, 3, 12 – пневмосепаруючий, повітропідведений, повітровідвідний канали; 4 – живильний валик; 5 – дросельна заслінка; 6 – клапан; 7 – шнек; 8 – перепускне вікно; 9, 13 – жалюзі інерційного пиловідділювача; 10 – канал часткового відведення запиленого повітря; 11 – діаметральний вентилятор; 14 – відділювач; 15 – осаджувальна камера; б) – очищувач насіння ЧСП: 1, 6 – шлюзові затвори; 2 – шахта; 3 – осаджувальна камера; 4 – пневмосепаруючий канал; 5 – клапан; 7 – заслінка; 8 – регулюючий клапан.

На рис 1.7 представлений турбінний сепаратор [18]. Процес сепарації відбувається аналогічно, як і в вертикальному пневмоканалі, тобто суміш розділяється на фракції за методом зважування: легкі домішки піднімаються під дією повітряного потоку вгору, а повноцінне зерно і важкі домішки йдуть донизу.

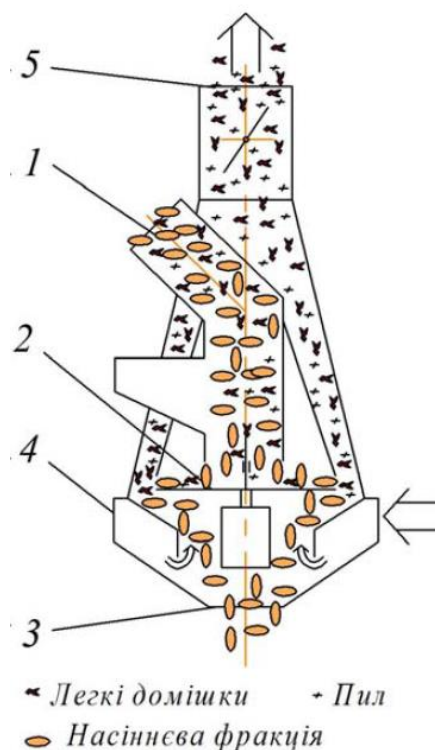


Рис. 1.7. Схема технологічна турбінного пневмосепаратора: 1, 3 – отвори входу зернового матеріалу і виходу насіння відповідно; 2 – диск; 4 – очисний решітний барабан; 5 – вентилятор

Недоліком сепаратора є неякісна обробка при збільшенні навантаження на канал, коли рівномірне розподілення матеріалу по перерізу не забезпечується. Вирішення даної проблеми здійснюють шляхом встановлення активного розподільчого диску, який рівномірно розподіляє масу від центру до периферії каналу. Однак значного підвищення продуктивності в цьому випадку досягти неможливо, до того ж збільшується енергоємність процесу сепарації. Аналогічні сепаратори випускають фірми “Daquet” (Франція), “Oscim”(Італія), “Demos” (Данія).

Сепаратор АКН-200 “Hample” [19-21] представлений на рис.1.8.

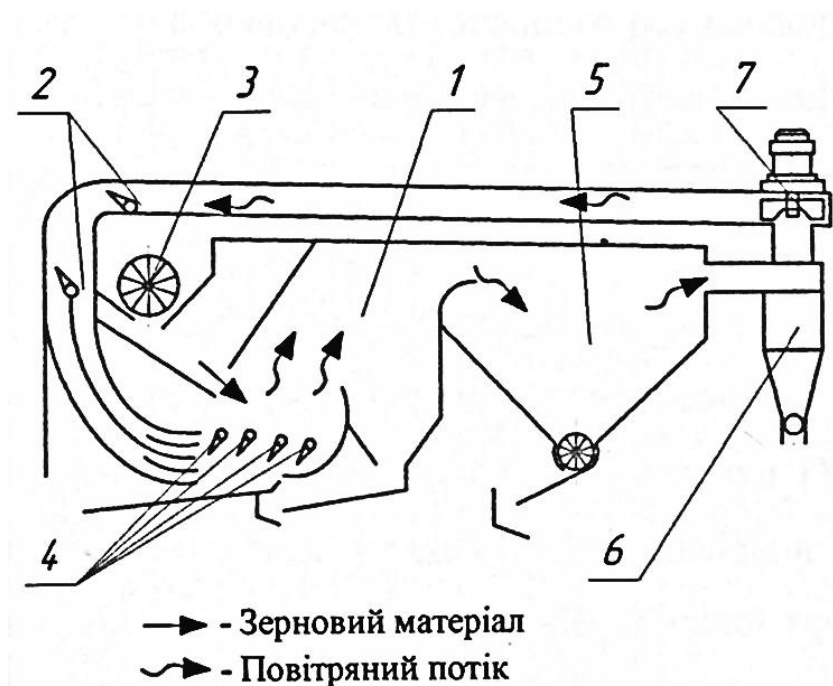


Рис. 1.8. Схема технологічна сепаратора АКН-200 “Hample”:
 1 – пневмокамера; 2 – заслінка; 3 – живильний валець; 4 – лопатки;
 5 – осадочна камера; 6 – циклон; 7 - вентилятор

Насіння, що надійшло в пневмосепаруючу камеру 2 повітряним потоком виділяється і несеться в осадочну камеру 5. Важкі домішки виводяться з неї за допомогою вигрузного шнека, а легке насіння подається у циклон 6. Ряд зарубіжних фірм: Carter (США), Shule (Німеччина), ABLinde Maskiner (Швеція), Heid (Австрія), Cimbria і Westrup (Данія), Cherpos (Чехія), завод «Маяк» (НРБ) та ін. випускає аналогічні за конструкцією і технологічними схемами скальператори. Слід зазначити, що скальператори прості, компактні, надійні в експлуатації, малозатратні, мають високу продуктивність до 200 т/год, однак не виділяють дрібних домішок, що є істотним недоліком. За кордоном в основному використовуються пневматичні аспіраційні канали та столи, як наприклад сепараторі STS-MACS Seed Separator 'Multiple Air Chamber System' за принципом дії аналогічні вітчизняним [21-24].

Проаналізувавши технологічні схеми сепараторів вітчизняних та іноземних вчених, було встановлено, що існуючі засоби механізації для

сепарування насіння соняшнику мають ряд недоліків: складність налагодження, високу енергоємність, низьку якість поділу насіння по фракціям та недостатню чіткість роботи із насінням різної вологості. Тому, розробка нового пневмогравітаційного сепаратора для покращення якості посівного насіння є актуальною задачею.

1.3. Основні досягнення вітчизняних та іноземних учених в теорії сепарації насіння

Дослідженнями сепарації сипучих матеріалів за різницею аеродинамічних властивостей їх компонентів займалися: у природному повітряному потоці В.П. Горячкін [25,26], у сформованому вертикальному повітряному потоці, М.Н. Летошнєв [30], В.В. Гортинський [32], А.І. Нелюбов [34], М.Г. Гладков [35], М.С. Кулагін [36], В.В. Котов [37] та інші; у горизонтальному та нахиленому повітряних каналах С.А. Алферов [38], М.Н. Летошнєв [30], М.Г. Гладков [35], Б.Г. Турбін [39], А.І. Бурков [40], О.М. Васильковський [41-43], П.М. Заїка [44-45], О. І. Завгородній [27-29], Ю.О. Манчинський, М.В. Бакум [101-104], І.П. Безручкін [47], В.П. Єрмак [48-50] та інші.

На думку академіка Горячкіна В.П. та інших вчених під дією потоку повітря, під час сепарації матеріал розділяється на очищений і відходи очищення тобто розглядається суміш з двох складових. Очищена фракція - це повноцінне насіння основної культури, відходи очищення - це легкі, сміттєві і важкі домішки [51].

Взаємодія насіння з повітряним потоком характеризується швидкістю витання, яка залежить від маси насіння, коефіцієнта аеродинамічного опору, міделевого перетину, орієнтації у просторі. Дослідники прагнули врахувати ті чи інші параметри які впливають на швидкість витання насіння. Це призвело до великої кількості висновків, які вірні лише для конкретних умов [29, 34, 37, 42, 46].

Швидя В.О. визначив основні параметри відцентрового робочого органу та аспіраційного каналу пневмовідцентрового сепаратора. Довів можливість підвищення ефективності шляхом забезпечення подачі зернової суміші з високою порозністю та рівномірністю по висоті в кільцевий аспіраційний канал з висхідним повітряним потоком відцентровим робочим органом [52].

В свою чергу Крекот М.М. вирішив наукове завдання, яке направлене на підвищення ефективності процесу сепарування насінневих сумішей овочевих культур, шляхом обґрунтування параметрів процесу пневматичного сепаратора з регульованою робочою шириною каналу. Побудував математичні моделі динаміки компонентів насінневих сумішей овочевих культур у висхідному повітряному потоці. За допомогою отриманих залежностей визначив поділяючу здатність каналу для компонентів насінневих сумішей овочевих культур в залежності від параметрів сепаратора та аеродинамічних властивостей насіння [53].

Чебанов А.Б. за допомогою побудованих рівнянь динаміки руху компонентів частинок рушанки рицини визначив залежності їх переміщення та ефективності очищення повітря в робочій зоні вертикального каналу. Вперше встановив закономірності зміни швидкостей компонентів рушанки рицини та повітряного потоку в робочій зоні пневмосепаратора з пиловловлюючим пристроєм [14].

В роботах І.П. Безручкіна обґрунтовується можливість розділення похилим повітряним потоком насінневої суміші не лише за вагою, а і за розмірами [54].

Матвеев А.С. у своїй роботі [55] вперше підійшов до вивчення процесу сепарації насіння з врахуванням нерівномірного повітряного потоку та зіткнення насіння об стінки каналу.

Вищенаведені вчені зробили значний внесок в процес сепарації насіння, але на нашу думку процесу сепарації насіння соняшника у вертикальному аспіраційному каналі з нижнім вивантаженням було

приділено недостатню увагу, тому слід розробити та дослідити пневмогравітаційний сепаратор з нижнім вивантаження насіння соняшника.

Під керівництвом д.т.н. Тіщенко Л.М була розроблена система диференціальних рівнянь, що за допомогою нелінійної динаміки двофазного середовища наближено окреслює поділ сепаруємого матеріалу у пневматичному сепараторі вертикальної дії [57-60].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \operatorname{div} \rho_1 \vec{u} = 0 \\ \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = -\frac{\nabla p}{\rho_1} + \frac{\zeta + \mu/3}{\rho_1} \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{u} + \frac{\mu}{\rho_1} \Delta \vec{u} + g \\ \frac{\partial n}{\partial t} + \operatorname{div} n \vec{U} = 0 \\ \frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla \vec{U} = \vec{g} + D \cdot \vec{u}_{12} \end{array} \right. \quad (1.1)$$

де ρ_1 - густина повітряного потоку г/см^3 ;

p - тиск потоку, Па;

ζ, μ - динамічні коефіцієнти об'ємної і зсувної в'язкості повітряного потоку;

u, U - відповідно швидкості повітряного потоку і дисперсних частинок м/с ;

$\vec{u}_{12}$ - відносна швидкість руху дисперсних частинок м/с ;

n - кількість частинок дисперсної фази в одиниці об'єму повітря;

g - інтенсивність зовнішніх масових сил;

D - фізичний параметр, мм:

a - середній лінійний розмір насінини, мм;

C_μ - коефіцієнт опору.

Василенко П.М. вивів рівняння руху насінини в середовищі, що чинить опір:

$$\left. \begin{array}{l} m\ddot{y} = -k_c v_r^2 \cos \alpha \\ m\ddot{z} = -mg - k_c v_r^2 \sin \alpha \end{array} \right\} \quad (1.2)$$

Адамчук В.В. вивів систему рівнянь для руху частинок в змінному повітряному потоці [12]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{g}{v_n} \left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \sin \varphi_c - \frac{dx}{dt} \right) \times \\ \times \left[\left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \sin \varphi_c - \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \cos \varphi_c - \frac{dy}{dt} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(v_n \cos \alpha_n \pm v_c \cos \gamma_c - \frac{dz}{dt} \right)^2 \right]^{\frac{c-1}{2}} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{g}{v_n} \left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \sin \varphi_c - \frac{dy}{dt} \right) \times \\ \times \left[\left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \sin \varphi_c - \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \cos \varphi_c - \frac{dy}{dt} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(v_n \cos \alpha_n \pm v_c \cos \gamma_c - \frac{dz}{dt} \right)^2 \right]^{\frac{c-1}{2}} \\ \frac{d^2z}{dt^2} = \frac{g}{v_n} \left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \sin \varphi_c - \frac{dz}{dt} \right) \times \\ \times \left[\left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \sin \varphi_c - \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(v_n \sin \alpha_n \sin \beta_n \pm v_c \sin \gamma_c \cos \varphi_c - \frac{dy}{dt} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(v_n \cos \alpha_n \pm v_c \cos \gamma_c - \frac{dz}{dt} \right)^2 - g \right]^{\frac{c-1}{2}} \end{array} \right. (1.3)$$

де x, y, z – відповідно проекції траєкторії руху частинки добрив на осі координат OX, OY, OZ , м; α_n – кут між вектором швидкості супроводжувального повітряного струменя v_n і віссю OY , град; γ_c – кут між вектором швидкості руху середовища v_c і віссю OZ , град; φ_c – кут між проекцією вектора швидкості руху середовища v_c на площину OXY і віссю OY , град; t – поточне значення часу руху насінини, с; c – показник степеня відносної швидкості руху частинки добрив. Але використання цієї формули для вертикального пневмосепаратора неможливе.

Абдуєв М.М. вивів формули для визначення руху частинки в нахиленому каналі [15]:

$$\begin{aligned} a\ddot{x} &= -k_\theta [(\dot{x} - V_n \cos \alpha)^2 + (\dot{y} - V_n \sin \alpha)^2] \cdot \cos(\bar{V}_\theta, x); \\ \ddot{y} &= -k_\theta [(\dot{x} - V_n \cos \alpha)^2 + (\dot{y} - V_n \sin \alpha)^2] \cdot \cos(\bar{V}_\theta, y) - g, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де $\dot{x}, \ddot{x}, \dot{y}, \ddot{y}$ – відповідно проекції швидкості та прискорення часток суміші на осі нерухомої системи координат x, y ; $\cos(\bar{V}_\theta, x), \cos(\bar{V}_\theta, y)$ – напрямні конуси відносної швидкості $\bar{V}_\theta$ до осей x, y ; V_n – середня швидкість повітряного потоку; k_θ – коефіцієнт вітрильності; α – кут нахилу каналу.

Всі вищезазначені залежності не можливо використовувати для кільцевого каналу, тому перед нами постала задача дослідити рух зерна в кільцевому каналі з нижнім розподілом насіння.

1.4. Мета та завдання досліджень

У результаті проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Посівний матеріал соняшника, що використовуються на фермерських господарствах, наприклад ТОВ «Зоря», мають недостатньо високі посівні якості, тому необхідна додаткова сепарація.

2. Шляхом аналізу літературних джерел встановлено, що існуючі технологічні схеми та конструкції пневматичних сепараторів мають ряд недоліків (недостатньо якісне очищення та розділення, складність налаштування, високі енергетичні витрати) тому розробка та вдосконалення конструкції пневмогравітаційного сепаратора є актуальною задачею.

3. В літературі відсутні теоретичні дослідження динаміки насіння соняшника в нижній робочій зоні пневмогравітаційного сепаратора.

В результаті узагальнення та аналізу відомих досліджень визначена тема дисертації, яка передбачає обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмосепаратора насіння соняшника та встановлені наступні завдання:

- 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 в вертикальному каналі;
- розробити математичної моделі руху насінини в кільцевому каналі для визначення основних параметрів повітряного каналу;
- дослідити рух зернин по опорній поверхні дозуючого розподільчого пристрою і обґрунтувати його форму та параметри;

- виконати експериментальні дослідження процесів розділення насіння соняшника у вертикальному каналі та визначити вплив конструкційних і режимних параметрів сепаратора на ефективність розділення;
- розробити технологічну схему нового пневмогравітаційного сепаратора та обґрунтувати його конструкційно-технологічних параметрів;
- здійснити виробничі випробування розробленого пневмогравітаційного сепаратора та визначити економічну ефективність його використання.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЯ В АСПІРАЦІЙНОМУ КАНАЛІ

2.1 Детермінована математична модель руху насіння у вертикальному повітряному потоці кільцевого сепаруючого каналу

Аналізом відомостей щодо сепарації насіння в повітряних каналах встановлено, що повітря впливає на насінини в основному в момент руху зернової маси від внутрішньої стінки до зовнішньої (у прямокутному каналі). У центральній частині каналу швидкість повітря максимальна, а біля стінок вона зменшується, внаслідок чого розділення насіння погіршується. Крім того, в існуючих [41, 61, 62] пневмоканалах нижня зона повітряного потоку як конструктивний елемент і чинник поділу насіннєвого матеріалу за аеродинамічними властивостями не використовується. Разом з тим, працездатність нижньої зони потоку, як механізму поділу траєкторій руху насіння, розрізняється швидкістю витання. Доцільність її використання для досягнення додаткового ефекту поділу зернової суміші доведено в багатьох роботах [63 – 65]. Проте, використання дільників потоку насіння в падаючому шарі в протипотоці з повітрям в циліндричному каналі у вигляді коаксіального розташованих патрубків різного діаметру [66], дозволяє додатково (крім виділення «найлегших» домішок у верхній зоні каналу) розділяти насіння соняшнику на дві фракції, виділяючи найбільш повноцінну. Однак, струменевий спосіб введення потоку насіння в пневмоканал [66], як показали експериментальні дослідження [64, 65, 67], обмежує діаметральну зону розділення (всього 10мм), що знижує можливості такого способу сепарації. Для збільшення величини розділення насіння за швидкістю витання, запропоновано розпушувати струмінь насіння, здійснюючи її гальмування і розподіл насіннєвого потоку по радіусу за

допомогою розподільчого конусного пристрою. При цьому забезпечується не вертикальне введення матеріалу, а під певним кутом до вертикального повітряного потоку.

Розглянемо пневмосепаруючий кільцевий канал (рис. 2.1), матеріал в якому подається з конічного розподільника під початковим кутом α_0 , зі швидкістю V_0 у вертикальний (рівномірно розподілений за радіусом) повітряний потік.

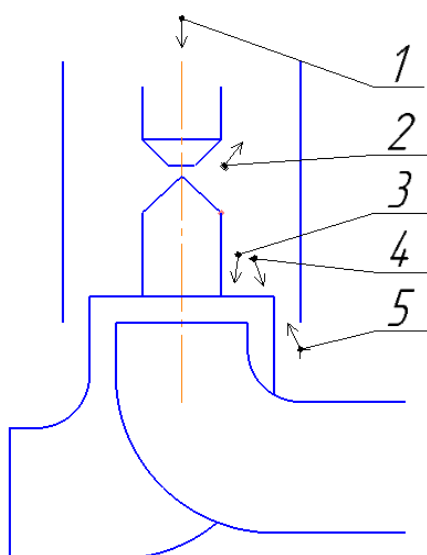


Рис. 2.1. Схема роботи сепаратору:

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

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

Математичне описання руху насінини в повітряному потоці складемо для поточного моменту часу при таких 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 за радіусом пневмоканалу;
- насінини не змінюють свого орієнтування (за віссю симетрії

насінини) по відношенню до напрямку повітряного потоку;

– потік повітря спрямований вертикально вгору.

Абсолютний рух частинок в повітряному потоці (каналі), можна вважати, складається з переміщення насінини в самому потоці повітря і переносному переміщенні насінини разом із потоком повітря. Таким чином, абсолютна швидкість насінини дорівнює:

$$\bar{v} = \bar{u} + \bar{v}_v,$$

де $\bar{u}$ – відносна швидкість насінини;

$\bar{v}_v$ – швидкість повітряного потоку (швидкість насінини в переносному русі).

Розглянемо взаємодію частинки з висхідним повітряним потоком (рис. 2.2.), на якому V_0 – початкова швидкість насінини, м/с; R – сила повітряного опору, Н; V – швидкість насінини, м/с; V_v – швидкість повітряного потоку, м/с; G_T – сила тяжіння, Н; α – поточне значення кута між швидкістю частки при русі її по траєкторії і горизонтальною віссю, град.

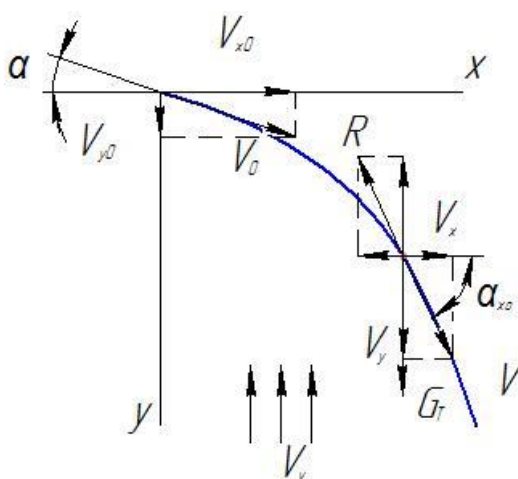


Рисунок 2.2. Схема сил діючих на насінину в потоці повітря

Приймаємо за початок координат місце сходу частинки в повітряний потік. Відповідно до прийнятої системи координат і діючих на частинки сил: тяжіння $G_T = mg$ і опору повітряному потоку R , рух частинки описується відомими диференціальними рівняннями [31,69]:

$$m\ddot{x} = -R \cos \alpha, \quad (2.1)$$

$$m\ddot{y} = mg - R \sin \alpha, \quad (2.2)$$

де R – модуль вектора $\vec{R}$.

Відповідно до схеми дії сил можна записати очевидні співвідношення:

$$\begin{aligned} v_x &= v \cos \alpha; \quad v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt}; \\ v_y &= v \sin \alpha; \quad v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt} \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

де v – швидкість повітряного потоку.

Сила опору повітряному потоку прийнята пропорційною квадрату відносної швидкості частинки (швидкості її обтікання):

$$R = K_c (v - v_v)^2, \quad (2.4)$$

де K_c – коефіцієнт опору (узагальнений);

$$K_c = C_x S_M \frac{\rho}{2} \quad (2.5)$$

C_x – коефіцієнт опору, що залежить від форми частинки і умов обтікання (ламінальний режим, турбулентний);

S_M – міделевий перетин частинки;

ρ – щільність повітря.

При відомій швидкості витання частинки v_{vit} силу опору можна виразити формулою $R = \frac{mg}{2} = mk_{\Pi}$. Величину k_{Π} називають коефіцієнтом парусності [31, 32].

З урахуванням зазначених співвідношень рівняння (2.1) і (2.2) можна переписати у наступному вигляді:

$$\begin{cases} \frac{d^2}{dt^2} x(t) = -k_{\Pi} \frac{d}{dt} x(t) \sqrt{\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v\right)^2} \\ \frac{d^2}{dt^2} y(t) = g - k_{\Pi} \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v\right) \sqrt{\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v\right)^2} \end{cases} \quad (2.6)$$

Запишемо початкові умови до рівнянь (2.6):

$$x(0) = 0; y(0) = 0; \dot{x}(0) = v_0 \cos \alpha_0; \dot{y}(0) = v_0 \sin \alpha_0, \quad (2.7)$$

де α_0 , – кут введення насінин у повітряний потік;

v_0 – початкова швидкість насінин.

Розв'язок задачі (2.6)-(2.7) при заданих початкових умовах знайдено чисельним методом за допомогою системи [Mathcad](#), і, наприклад, при значеннях: $v_0 = 0,4; V_v = 5; \alpha = 70^\circ$ має вид:

$$x(t) = 0,2533t - 0,6733k_{\Pi}t^2 + (2,3860k_{\Pi}^2 - 0,4133k_{\Pi})t^3 + \\ + (2,7462k_{\Pi}^2 - 9,5121k_{\Pi}^3 - 0,0004k_{\Pi})t^4 + (-16,3492k_{\Pi}^3 + \\ + 40,4502k_{\Pi}^4 + 0,10137k_{\Pi}^2 + 0,0005k_{\Pi})t^5;$$

$$y(t) = 0,3096 + (4,9 - 14,1112k_{\Pi})t^2 + (-17,3446k_{\Pi} + 50,0082k_{\Pi}^2)t^3 + \\ + (-199,3674k_{\Pi}^3 + 92,1705k_{\Pi}^2 - 8,0033)t^4 + \\ + (-489,8575k_{\Pi}^3 + 847,8053k_{\Pi}^4 + 67,99063792k_{\Pi}^2 - 0,00002k_{\Pi})t^5$$

та визначається, крім кута нахилу твірної завантажувально-розподільного пристрою, ще й швидкістю введення матеріалу в потік.

Оскільки основною функцією пристрою є транспортування насіння від завантажувального бункера та матеріалопроводів до повітряного каналу та введення його в потік повітря під певним кутом і заданою швидкістю, необхідно визначити ці параметри. Приймаючи (в ідеальному виді), що частинка рухається по твірній конусу від місця вводу до місця сходу, визначимо залежність швидкості руху від координати і кута нахилу прямої лінії (площини) по якій розганяється частинка. При цьому приймаємо, що частинка рухається лише по утворюючій площині. Крім того, приймаємо відносно малу швидкість переміщення (0,2-0,8 м/с). Припускаємо, що насіння рухаються по шорсткій поверхні; впливом аеродинамічного опору у першому наближенні можна знехтувати. При прийнятих припущеннях рівняння руху частинки буде мати вид [69]:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha, \quad (2.8)$$

де f – коефіцієнт тертя,

S – переміщення насінини.

Інтегруючи рівняння (2.8) при початкових умовах: $v(0) = v_0$ визначаємо швидкість:

$$v = v_0 + g(\sin \alpha - f \cos \alpha)t \quad (2.9)$$

Враховуючи, що $v = dS/dt$ та інтегруючи рівняння (2.9) при початкових умовах $S(0) = 0$, отримаємо:

$$S = v_0 t + \frac{g}{2}(\sin \alpha - f \cos \alpha)t^2 \quad (2.10)$$

Визначивши з рівняння (2.9) величину t , і підставивши її значення в рівняння (2.10), після перетворень отримаємо вираз, який визначає швидкість сходу (подачі) частинки в повітряний потік залежно від кута нахилу твірної конусу α і її довжини S :

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)S}, \quad (2.11)$$

Швидкість подачі матеріалу на кінцевий розподільник, тобто початкову швидкість руху v_0 , приймемо рівною швидкості витікання з завантажувального пристрою, яка згідно [70] визначається за формулою:

$$v_0 = (2,546 - 0,16d_s) \left(1 - 66 \left(\frac{d_s}{D} \right)^3 \right) \sqrt[4]{F}, \quad (2.12)$$

де d_s – еквівалентний діаметр насіння, м;

D – діаметр перетину вивантажного отвору, м;

F – площа перерізу вивантажного отвору, м²

Для врахування впливу опору повітря при русі зернового матеріалу за розподільчим конусом можна використати уточнену формулу Р.Л.Зенкова [72]:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gS(\sin \alpha - f \cos \alpha) + v_0^2}{1 + 2Sk_{II}}}, \quad (2.13)$$

де k_D – коефіцієнт парусності.

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 льоту 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 відповідні коефіцієнти парусності дорівнюють відповідно: $k_1 = 0,2725$; $k_2 = 0,159$.

При наявності розподільчого конуса розбіжності траєкторій при тих же режимах повітряного потоку збільшуються (рис.2.3) ($\alpha=70^\circ$, $v_0 = 0,4$, $v_v = 5$, $v_{\text{вит}1} = 7,85$, $v_{\text{вит}2} = 6$, $v_{\text{вит}3} = 5$).

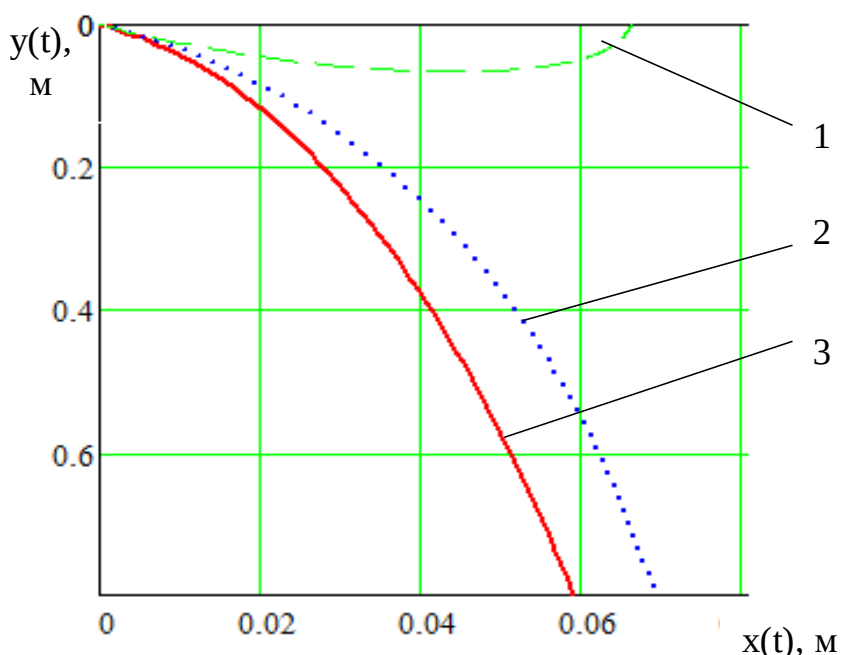


Рис. 2.3. Траєкторії руху насінин різних фракцій при роздільному конусі:

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

Для отримання аналітичних залежностей траєкторій переміщення насінин в повітряному потоці від конструктивних і режимних параметрів пневмогравітаційного сепаратора введемо спрощуючі допущення [31]. Перетворимо задачу (2.6) і (2.7) до виду:

$$\ddot{x} = -k_{II} \dot{x} v_v \sqrt{\left(\frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(1 + \frac{\dot{y}}{v}\right)^2}, \quad (2.14)$$

$$\ddot{y} = \ddot{g} - k_{II} (\dot{y} + v_v) v_v \sqrt{\left(\frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(1 + \frac{\dot{y}}{v}\right)^2}. \quad (2.15)$$

За даними чисельних експериментів величина $\sqrt{\left(\frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(1 + \frac{\dot{y}}{v}\right)^2}$ для реальних аеродинамічних режимів сепарації $v = 4 - 7$ м/с; $v_x = 0,2 - 0,15$ м/с; $v_y = 0,7 - 0,8$ м/с змінюється незначно, в межах 1,08-1,14 та її можна прийняти постійною. Вона дорівнює $k = 1,11$. Тоді вирази (2.14) та (2.15) можна записати в наближеному вигляді:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} = A v_x, \quad (2.16)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{dv_y}{dt} = g - A(v_x + v_y), \quad (2.17)$$

де $A = 1,11 k_{II} v_v$;

Інтегруючи рівняння (2.16) і (2.17) при початкових умовах: $x(0) = 0$; $y(0) = 0$; $v_x(0) = v_{x0}$; $v_y(0) = v_{y0}$ (де v_{x0} , v_{y0} – проекції початкової швидкості на вісі ОХ та ОУ), отримаємо рівняння проекцій швидкості насінини та її переміщення у вертикальному потоці повітря:

$$v_x = v_{x0} e^{-At}, \quad (2.18)$$

$$x = \frac{v_{x0}}{A} (1 - e^{-At}), \quad (2.19)$$

$$v_y = \frac{a}{A} - \left(\frac{a}{A} - v_{y0} \right) e^{-At}, \quad (2.20)$$

$$y = \frac{a}{A} t - \frac{1}{A} \left(\frac{a}{A} - v_{y0} \right) (1 - e^{-At}), \quad (2.21)$$

де $a = g - A v_v$

Визначивши з рівняння (2.22) час:

$$t = \frac{1}{A} \ln \frac{v_{x0}}{v_{x0} - Ax}, \quad (2.22)$$

і підставивши його значення в рівняння (2.20), отримаємо залежність, яка визначає траєкторію руху насінини:

$$y = \frac{a}{2A} \ln \frac{v_{x0}}{v_{x0} - Ax} - \frac{1}{A} \left(\frac{a}{A} - v_{y0} \right) \left[1 - \exp \left(- \ln \frac{v_{x0}}{v_{x0} - Ax} \right) \right], \quad (2.23)$$

Підставляючи значення $y = H$ (висота падіння насіння в повітряному каналі), можна обчислити величину відхилення траєкторії падіння (забору) фракції масою m_1 і коефіцієнтом парусності k_{Π} , та встановити місце подільника розділювальних фракцій.

Ефективність процесу розділення насіння соняшнику повинна визначатися за величиною відхилення траєкторії насіння, яке виходить, шляхом відділення від загальної маси некондиційних насінин. Так, потрапляння останніх у посівний матеріал приносить максимальний збиток всій технології вирощування соняшнику. Відділення «легких» насінин на стадії введення матеріалу в повітряний потік сепаратора є ефективним способом підвищення чіткості поділу (за вилученням не кондиції в основній фракції), так як зменшує інтенсивність солідарного переміщення (тобто, важкі частки підштовхують легкі в процесі їх переміщення). Траєкторії руху «легких» насінин $m < 0,03; v_{\text{вит}} < 4 \frac{M}{C}, k_{\Pi} = 0,6$ показані на рисунку 2.5.

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

Для визначення параметру $\Delta x = |x_1 - x_2|$ – параметру розділення компонентів суміші на важку і легку фракції, знайдемо значення x_1 (абсциса точки розташування легкої насінини $m_1 = 0,06$ г) в кінцевій точці траєкторії та значення x_2 (абсциса точки розташування важкої насінини) в залежності від кута α .

Для цього будемо розв'язок системи рівнянь (2.6)-(2.7) для випадку,

коли $h = y(t) = 0,7$.

Прирівнюючи знайдене значення $y(t) = 0,7$ (припускаємо, що насіння падає відстань 0,7м після випадання із розподільника), знайдемо час t при досягненні насінниною горизонтальної площини. Так як численне розв'язання системи (2.6) - (2.7) має вид ряду Тейлора, приведемо значення розрахунків при фіксованому $y(t)$. Результати розрахунків запишемо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати дослідження параметрів розділення насіння

$\alpha, ^\circ$	t_1	t_2	x_1	x_2	Δx
35	0,9499	0,6290	0,3432	0,3478	0,01795
40	0,8335	0,4778	0,2403	0,2032	0,01801
45	0,8062	0,4653	0,1872	0,1565	0,01679
50	0,9488	0,6071	0,3619	0,3600	0,00190
60	0,9492	0,6128	0,3582	0,3582	0,00012
70	0,8263	0,4744	0,2276	0,1918	0,00001

З того, що при значенні кута $\alpha = 40^\circ$ досягається максимальне розходження $\Delta x = 0,018$ впливає, що $\alpha = 40^\circ$ і є оптимальним значенням.

2.2 Обґрунтування форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою кільцевого сортуючого каналу

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

Проведеними дослідженнями розв'язку задачі (2.6) – (2.7)

встановлено, що найефективніше розділення насіння соняшника на «легкі» і «важкі» фракції досягається при куті нахилу (введення) розподільника $\alpha = 40^\circ$ 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 (рис. 2.4). Разом з тим, відомо [73], що переміщення часток 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) обертальної поверхні.

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

Зобразимо схему силової взаємодії насінини з опорною поверхнею розподільника потоку насіння при її русі вздовж утворюючої (твірної) криволінійного конусу (дуга кола), вважаючи, що рух відбувається у площині YOX (рис.2.5).

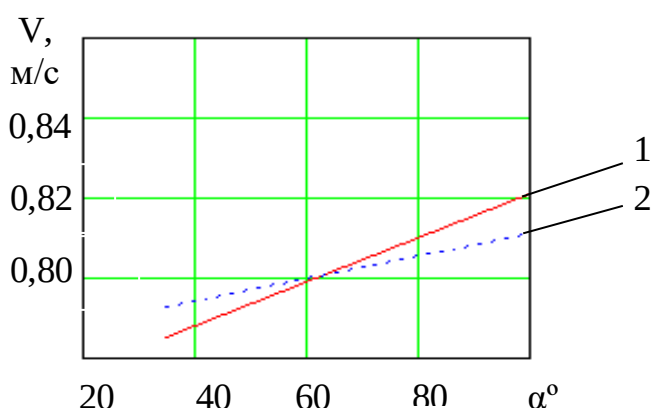


Рис. 2.4. Залежність швидкості сходу насінин від кута нахилу і довжини твірної конусу: 1 – довжина твірної конусу 0,1 м; 2 – довжина твірної конусу 0,05 м

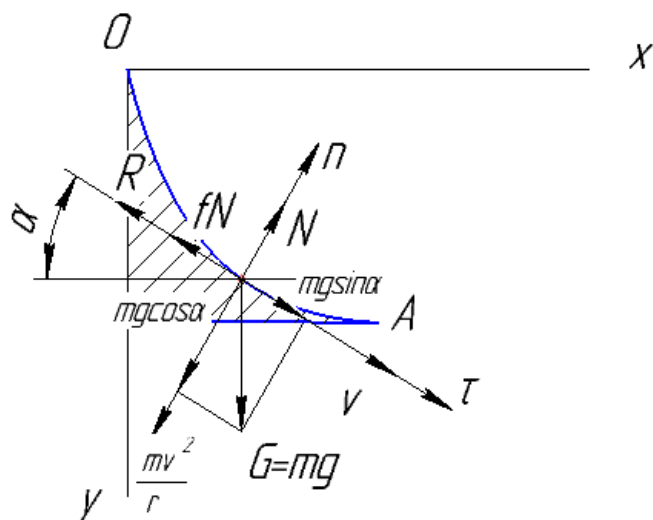


Рис. 2.5 Графічне зображення траєкторії руху насінини по поверхні тору

Для аналітичного дослідження руху насінини вздовж поверхні, утвореної обертанням твірної дуги кола навколо вертикальної вісі приймаємо, що відбувається рух матеріальної частинки масою m 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 насінини до потоку повітря, визначення руху частинки саме по кривій лінії є досить виправданим.

Розглядаючи рух частинки на ділянці OA по дузі кола, визначимо сили, що діють на зернинку: сила тяжіння G , яка визначається як $G = mg$ і яка розкладається на складові: $mg \sin \alpha$ і $mg \cos \alpha$, де α – кут нахилу дотичної до горизонтальної вісі. Зі сторони криволінійної поверхні на насінину діє сила нормальної реакції, яка спрямована вертикально до дотичної прямої τ . Також сила тертя, яка спрямована протилежно вектору швидкості руху насінини і визначається $F_T = fN$, а також: сила опору повітряного середовища R_v та руху частки R , величину якої можна прийняти пропорційною швидкості руху

частинки $R = k_M v$ (де k_M – коефіцієнт опору при Стоксівському режимі обтікання частинки). У напрямку, протилежному дії нормальної реакції опорної поверхні N , діє сила інерції $F_v = m \frac{v^2}{r}$, де r – радіус кривизни опорної кривої.

Отже, згідно зі схемою силової взаємодії (рисунк 2.7) диференціальне рівняння руху частинки вздовж дуги ОА у векторній формі буде мати вид:

$$m\bar{a} = \overline{G_T} + \bar{N} + \overline{R_v} + \bar{F}_v. \quad (2.24)$$

Оскільки в даному випадку маємо площинну систему координат, рівняння (2.24) запишемо у формі звичайних диференціальних рівнянь, проектуючи визначені сили на відповідні вісі координат: τ – вісь спрямована по дотичній до кривої, вздовж якої рухається частинка та вісь n – вісь нормальна до вектору руху частинки:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - fN - k_{\Pi} v^2; \quad (2.25)$$

$$N = mg \cos \alpha + m \frac{v^2}{r}. \quad (2.26)$$

і додамо рівняння в'язі – рівняння кола:

$$f(x, y) = y^2 + (x - r)^2 = r^2, \quad (2.27)$$

Враховуючи, що $\sin \alpha = \frac{dy}{ds}$, $\cos \alpha = \frac{dx}{ds}$, з рівняння (2.24) і (2.25) матимемо:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \frac{dy}{ds} - fmg \frac{dx}{ds} + fm \frac{v^2}{r} - k_{\Pi} v^2. \quad (2.28)$$

Приймаємо в першому наближенні, що сила опору повітряному середовищу та відцентрова сила інерції мало впливають на рух частинки і ними можна знехтувати. Помноживши праві і ліві частини рівняння (2.28) на dS і враховуючи, що $\frac{ds}{dt} = v$, отримаємо рівняння:

$$v dv = g dy - f g dx. \quad (2.29)$$

Інтегруючи рівняння (2.28) при початкових умовах: $y = 0$; $x = 0$; $v = v_0$, де v_0 – початкова швидкість руху частинки (швидкість, з якою частка падає на розподільчу поверхню) будемо мати:

$$v^2 - v_0^2 = 2gy - 2gfx \quad (2.30)$$

Величину y визначимо з рівняння в'язі (2.28):

$$y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2}. \quad (2.31)$$

і підставимо в рівняння (2.30) кінцеве рівняння, що визначає швидкість руху частинки вздовж дуги кола від координати x та отримаємо:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g \left(\sqrt{r^2 - (x - r)^2} - fx \right)}. \quad (2.32)$$

В даному випадку величина x дорівнює радіусу основи криволінійного конусу розподільника потоку насіння.

Кут нахилу дотичної до горизонтальної вісі ОХ дорівнює куту сходу матеріалу з розподільника α_0 (кут вводу матеріалу в потік повітря) та визначається з геометричних співвідношень за формулою:

$$\alpha = \alpha_0 = \arcsin \frac{r-x}{r}. \quad (2.33)$$

Залежність швидкості сходу частки з опорної поверхні від радіусу основи поверхні обертання наведено на рисунку 2.6.

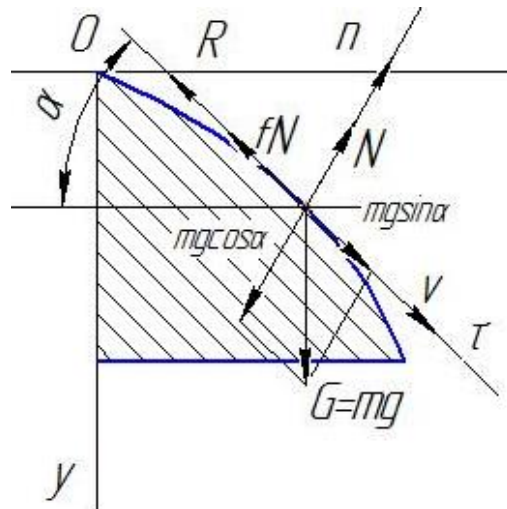


Рис. 2.6. Графічне зображення силової взаємодії та траєкторії руху насінини по випуклій поверхні

Розглянемо рух частинки по ввігнутій поверхні розподільника насіння без прийнятих спрощень [рівняння (2.26-2.27)]. Запишемо рівняння (2.29) у вигляді:

$$\frac{dv}{dt} = g \frac{dy}{ds} - gf \frac{dx}{ds} - \left(\frac{f}{r} + k_n \right) v^2. \quad (2.34)$$

Використовуючи формулу (2.34) і спрощуючи, з рівняння $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, $\frac{dy}{ds} = \sin \alpha$; $\frac{dx}{ds} = \cos \alpha$, отримаємо додаткове рівняння зв'язку:

$$dS = \sqrt{dy^2 + dx^2}. \quad (2.35)$$

Помноживши рівняння (2.34) на dS матимемо:

$$v dv = g dy - f g dx - k_0 v^2 dS, \quad (2.36)$$

$$\text{де } k_0 = \left(\frac{f}{r} + k_n \right),$$

або, з урахуванням (2.35):

$$v dv = g dy - f g dx - k_0 v^2 \sqrt{dy^2 + dx^2}. \quad (2.37)$$

З рівняння в'язі: $y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2}$ [31] після диференціювання

отримаємо:

$$dy = \frac{r-x}{\sqrt{r^2-(r-x)^2}} dx. \quad (2.38)$$

Підставляючи вираз у рівняння (2.37), після перетворень матимемо:

$$v dv + k_0 v^2 r \frac{dx}{\sqrt{r^2-(r-x)^2}} = -g \left[\frac{x-r}{\sqrt{r^2-(r-x)^2}} + f \right] dx. \quad (2.39)$$

Або:

$$v \frac{dv}{dx} + \frac{k_0 r}{\sqrt{r^2-(x-r)^2}} v^2 = -g \left[\frac{x-r}{\sqrt{r^2-(x-r)^2}} + f \right]. \quad (2.40)$$

Позначимо: $N(x) = \frac{r_0 k_0}{\sqrt{r^2-(x-r)^2}}$, $M(x) = -g \left[\frac{x-r}{\sqrt{r^2-(x-r)^2}} + f \right]$

і перепишемо рівняння (2.39) у вигляді:

$$v \frac{dv}{dx} + v^2 N(x) = M(x); \quad \frac{dv}{dx} + N(x)v = M(x) \frac{1}{v}. \quad (2.41)$$

Рівняння (2.41) є лінійним диференціальним рівнянням типу Бернуллі, та його розв'язання має вид:

$$v = \sqrt{e^{-2 \int N(x) dx} \left(C_1 + 2 \int M(x) e^{2 \int N(x) dx} dx \right)}, \quad (2.42)$$

де C_1 – довільна стала.

Значення інтегралів $\int N(x) dx$ і $\int M(x) e^{2 \int N(x) dx} dx$:

$$\int N(x) dx = r k_0 \arcsin \left(\frac{r-x}{r} \right) \quad (2.43)$$

Так як $\alpha_0 = \arcsin \left(\frac{r-x}{\sqrt{r^2}} \right)$, тобто кут нахилу дотичної до перетину поверхні розподільника, рівний куту сходу насінини при значенні $\alpha_0 = 40^\circ$, дає найбільш ефективне розподілення, тоді рівняння (2.42) прийме вид:

$$v = \sqrt{e^{-80rk_0} \left(C_1 + 2 \left(9,8 \sqrt{-x^2 + 2rx} - 9,8fx \right) e^{80rk_0} \right)} \quad (2.44)$$

Так як $v_0 = 0$, то при $x = 0$ маємо:

$$v_0 = \sqrt{e^{-70rk_0}(c_1 - f)e^{70rk_0}} = 0.$$

Звідси знаходимо постійну інтегрування таким чином:

$$v = \sqrt{e^{-80rk_0}(2[9.8\sqrt{-x^2 + 2rx} - 9.8fx]e^{80rk_0})}. \quad (2.45)$$

Як було показано, найбільш ефективне розподілення насінин проходить при $v = 0,8$. Тоді, вирішуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sqrt{19,6\sqrt{2rx - x^2} - 7.84x} = 0,8 \\ \frac{r - x}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} = \frac{\pi}{4,5} \end{cases} \quad (2.46)$$

знаходимо найбільше значення радіусу твірної розподільника, яке забезпечить оптимальний режим: $r_0 = 0,050$ м, $x = 0,0215$ м (рис. 2.7).

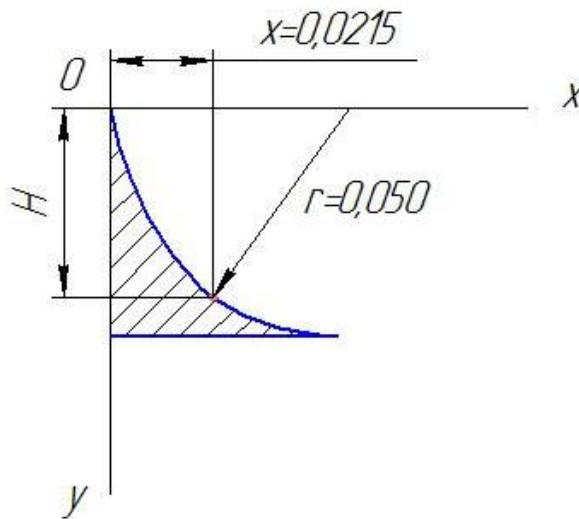


Рис. 2.7. Схема визначення радіусу твірної розподільника

Знаходимо H , так як $y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2}$

У випадку використання розподільника зерна у виді поверхні обертання з вертикальною віссю випуклої форми (півсфера), рівняння (2.24) записується у вигляді:

$$N = mg \cos \alpha - m \frac{v^2}{r}, \quad (2.47)$$

а рівняння в'язі у вигляді:

$$\begin{aligned}x^2 + (y - r)^2 &= r^2, \\x &= \sqrt{r^2 - (y - r)^2}.\end{aligned}\tag{2.48}$$

З рівнянь (2.24) і (2.46) матимемо:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \frac{dy}{ds} - mg \int \frac{dx}{ds} + fm \frac{v^2}{R} - kv^2.\tag{2.49}$$

З рівняння (2.48) отримаємо похідну:

$$dx = \frac{r - y}{\sqrt{r^2 - (r - y)^2}} dy\tag{2.50}$$

Підставляючи значення dx в (2.50) отримаємо:

$$dS = r dy \sqrt{\frac{1}{r^2 - (r - y)^2}}.\tag{2.51}$$

Домножуючи всі члени рівняння (2.49) на dS і підставляючи в нього значення dS (2.51) і dx (2.50), отримаємо рівняння руху частинки по випуклій кривій (дузі кола):

$$\frac{dv}{dy} = \frac{g}{v} - \frac{gf}{v} \cdot \frac{r - y}{\sqrt{r^2 - (r - y)^2}} + k_0 r v \sqrt{\frac{1}{r^2 - (r - y)^2}}.\tag{2.52}$$

Розв'язок рівняння (2.52) є аналогічним розв'язку (2.45).

На рисунку 2.8 наведений графік траєкторії насінин різних фракцій (при розподільнику у вигляді дуги кола).

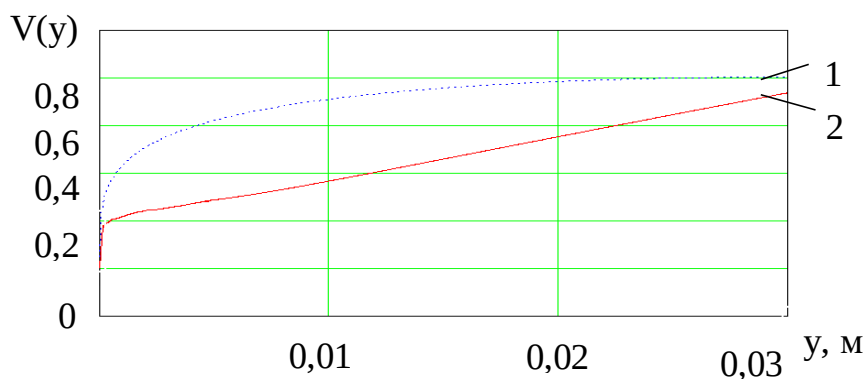


Рис. 2.8. Траєкторії насінин: 1 – траєкторія руху насінини по вогнутій поверхні, 2 – траєкторія руху насінини по випуклій поверхні

Аналізуючи вищенаведений графік, можна зробити висновок, що для якісного розділення насіння соняшника використання випуклої форми розподільника не є бажаним, оскільки при такій формі сортування відбувається гірше, ніж при використанні форми розподільника у вигляді поверхні тору.

2.3 Дослідження руху насінини у висхідному повітряному потоці змінної швидкості повітря по висоті каналу

Сепарування насіння у вертикальному повітряному потоці (особливо при значних питомих навантаженнях) пов'язано з труднощами виділення аеродинамічно легких насінин із нижніх шарів зернового потоку на поверхні розподільника. Забезпечення достатньої ефективності процесу розділення призводить до необхідності збільшення діаметру каналу, а відповідно, і витрати повітря, що збільшує електричну потужність вентиляційної установки та затрати енергії на процес сепарації. Як показали дослідження, розділення насіння відбувається в зоні сепарації, яка розташована в місці сходу зернинки з поверхні розподільника в повітряний потік. При цьому, збільшення швидкості потоку до крайніх значень приводить 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 по висоті:

$$v_v = a - by, \quad (2.53)$$

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

Диференціальні рівняння руху насінини в вертикальному повітряному потоці при зміні швидкості повітря за висотою набувають наступного вигляду:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -k \frac{dx(t)}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt}\right)^2 + \left[\frac{dy(t)}{dt} + (a - by(t))\right]^2}. \quad (2.54)$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = g - k \left[\frac{dy(t)}{dt} + (a - by(t))\right] \sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt}\right)^2 + \left[\frac{dy(t)}{dt} + (a - by(t))\right]^2}. \quad (2.55)$$

На рисунку 2.9 наведено графік траєкторії насінин при $\alpha = 40^\circ$; $v_0 = 0,2$ м/с; $v_v = 4$ м/с.

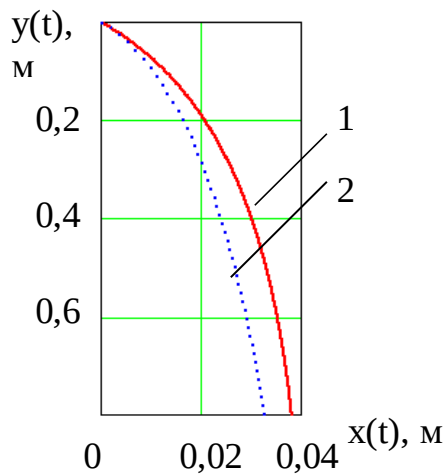


Рис. 2.9. Траєкторії руху насіння при незмінній швидкості повітря за висотою: 1 – траєкторія руху важкої фракції ($m = 0,08$ г); 2 – траєкторія руху легкої фракції ($m = 0,06$ г)

На рисунку 2.10 приведені траєкторії руху окремих насінин, які розрізняються масою ($m_1 = 0,06$ г; $m_2 = 0,08$ г) і величиною середньої швидкості витання $v_1 = 6$ м/с; $v_2 = 7,85$ м/с) за відсутності роздільного конусу.

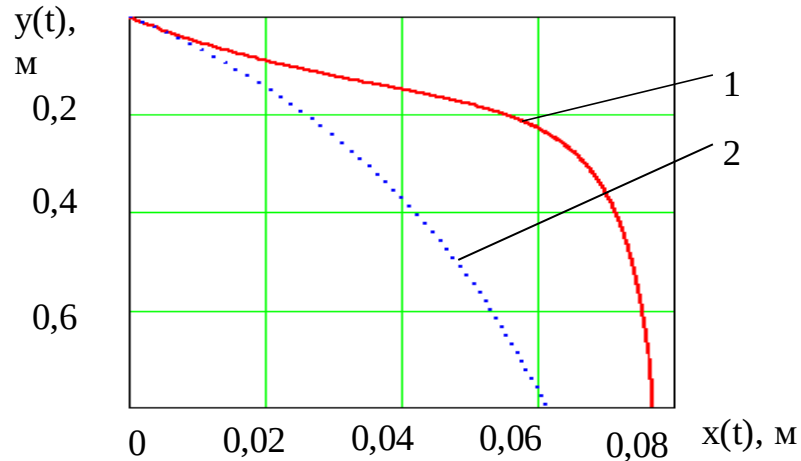


Рис. 2.10. Траєкторії руху насіння за умов зміни швидкості повітря за висотою:

- 1 – траєкторія руху важкої фракції ($m = 0,08$ г);
- 2 – траєкторія руху легкої фракції ($m = 0,06$ г)

Як видно з рисунку 2.9 та 2.10 траєкторія важкої фракції відрізняється від траєкторії руху легкої фракції суттєво, отже, треба використовувати конічний аспіраційний канал. Кут конуса складає $1-2^\circ$.

Розв'язок рівнянь при початкових умовах: $t = 0$; $x = 0$; $y = 0$; $\frac{dx}{dt} = v_{x0}$; $\frac{dy}{dt} = v_{y0}$; $\alpha = \alpha_0$ виконано за допомогою MatCad.

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

За результатами числових експериментів з використанням математичної моделі [(2.51),(2.53)] визначимо раціональні параметри каналу.

При висоті каналу $0,8$ м, зміна швидкості повітря відбувається за законом $v_v = 12 - 1,8H$, де H – висота каналу.

$$\text{Відповідно, витрати повітря: } L = v_v F_k = 11,5 \frac{\pi 0,2^2}{4} = 0,3611 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Площу поперечного перерізу каналу залежно від висоти визначимо за формулою:

$$F = \frac{L}{12 - 1,8H}. \quad (2.56)$$

2.4 Теоретичне обґрунтування раціонального діаметру вертикального аспіраційного каналу установки

Діаметр вертикального аспіраційного каналу сепаратора має суттєвий вплив як на якісні, так і на енергетичні показники сепаратора.

Якщо діаметр вертикального аспіраційного каналу сепаратора буде занадто великим, ми в результаті отримаємо великі енерговитрати, які йдуть на створення повітряного потоку раціональної швидкості.

Поряд із тим, якщо діаметр вертикального аспіраційного каналу сепаратора буде замалим, то в результаті зменшиться загальна якість відбору насіння за питомою вагою, оскільки, по-перше, вертикальний канал буде перевантажений великою кількістю насіння, що при сепаруванні одночасно знаходиться у ньому та створює місцеві аеродинамічні вихори а, по-друге, буде відбуватися зіткнення насіння між собою, що в результаті призведе до міграції насіння між фракціями I та II.

Отже, величина діаметра вертикального аспіраційного каналу сепаратора має бути раціональною та відповідати необхідній продуктивності.

Визначимо загальну кількість насінин, що одночасно знаходяться при сепаруванні у середині вертикального аспіраційного каналу, припустивши, що час знаходження насіння всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора становить 1с.

Визначимо масу насіння, яка підлягає сепаруванню за 1с:

$$m_c = \frac{m_{\text{год}}}{3600}. \quad (2.61)$$

Визначимо середню кількість насінин, яка за секунду поділяється сепаратором:

$$N_c = \frac{m_c}{m}, \quad (2.62)$$

де m_c – секундна маса насінин, що проходять через сепаратор за 1 секунду, кг;

m – середня маса однієї насінини у фракції, що сепарується, кг.

Припустимо, що розподілення по об'єму вертикального каналу в процесі сепарування легких насінин є рівноімовірним.

Визначимо імовірність того, що легка насінина, що має в результаті сепарації потрапити до фракції II займе якесь визначене положення у просторі:

$$P_{II} = \frac{V_{II}}{V_B}, \quad (2.63)$$

де V_{II} – середній об'єм середньої серед легких насінин фракції II, м³;

V_B – об'єм вертикального аспіраційного каналу, м³.

Розпишемо більш детально складові рівняння (2.63):

$$P_{II} = \frac{V_{II}}{\pi R_B^2 L_B}, \quad (2.64)$$

де R_B – радіус вертикального аспіраційного каналу, м;

L_B – довжина вертикального аспіраційного каналу, м.

Тепер обґрунтуємо об'єм, у якому всередині вертикального аспіраційного каналу важкого насіння фракції I може зіткнутися із легким насінням. Як бачимо, при випаданні з пристрою постачання насіння – патрубку 3, насіння може займати всю площину круга, який має діаметр D патрубки. Потім насіння поступово може розширювати свою вертикальну траєкторію шляхом розсіювання до діаметру вентилятора, який буде дорівнювати діаметру відбору важкого насіння до фракції I (поз. 2, рис. 2.8).

Отже, визначимо об'єм конусу, що відсічений зверху, скориставшись відомою формулою [74]:

$$V_M = \frac{1}{3} \pi L_B \left(R_I^2 + R_I \frac{D_B}{2} + \frac{D_B^2}{4} \right), \quad (2.65)$$

де L_B – прийнята корисна довжина вертикального аспіраційного каналу, яку приймаємо рівною раціональній довжині, м;

R_I – радіус відбору важкого насіння до бункера фракції I, м;

D_{Π} – діаметр патрубку постачання, м.

Таким чином, імовірність того, що питомо-важкі насінини потраплять у місце (об'єм) вертикального аспіраційного каналу, де вони можуть зіткнутися із легкими насінинами фракції II визначається:

$$P_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{V_{\Sigma}} \quad (2.66)$$

Надамо схему, що пояснює методику визначення імовірності того, що дві насінини будуть мати однакову за напрямком швидкість руху при

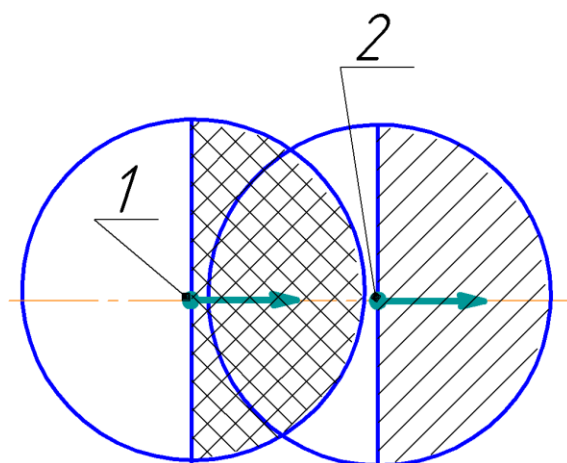


Рисунок 2.12. Пояснення щодо визначення імовірності співпадіння напрямку руху двох насінин при зіткненні:
1, 2 – напрямки руху насінин

розщепленні їх вертикальної траєкторії всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратору (рисунок 2.12).

Розглянемо більш детально позиції двох насінин 1 та 2, показані на рисунку 2.12.

Припустимо, що при русі насіння зліва-направо в межах кута 180° все насіння, яке зіткнеться, буде в результаті переміщено в іншу, а не в потрібну фракцію.

Тоді імовірність того, що дві насінини в результаті їх зіткнення змінять траєкторію одна-одній, буде визначатися:

$$P_3 = \frac{180}{360} \cdot \frac{180}{360} = 0,25. \quad (2.67)$$

Таким чином, запишемо імовірність того, що дві насінини: легка та важка зіткнуться всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора, та перед зіткненням їх напрямки руху будуть співпадати:

$$P_c = P_n \cdot P_3 \cdot P_{n1}, \quad (2.68)$$

Отже, запишемо рівняння, що визначає кількість втраченого насіння, яке за одну секунду сепарування в результаті зіткнення буде переміщено в невідповідну фракцію:

$$N_{вт} = N_c \cdot P_c \cdot K_{пв} \cdot 100, \quad (2.69)$$

де $K_{пв}$ – коефіцієнт, який показує вміст важкого насіння у загальній фракції, що сепарується; $K_{пв} = 0,1-0,4$.

Задавшись максимальною величиною втрат насіння та потрібною продуктивністю, яка обумовлюється агрономічними вимогами, визначається раціональний діаметр вертикального аспіраційного каналу сепаратора.

2.6 Висновки по розділу

1. Розроблені математичні моделі процесів руху насіння та «розщеплення» траєкторій, які пов'язують основні конструкційно-режимні параметри, аеродинамічні властивості насіння та умови подачі його в кільцевий повітряний канал, дозволили встановити раціональні параметри поділу насіння в каналі: швидкість частки – 0,6-0,8 м/с і кут вектора початкової швидкості – 40-45° при швидкості повітряного потоку 4,5-5,5 м/с. Вказані параметри забезпечує розподільник, виконаний у вигляді внутрішньої поверхні тору радіусом твірного кола 0,05 м, при діаметрі основи 0,04-0,045 м.

2. Підвищення ефективності повітряної сепарації при сортуванні насіння соняшника, а також зменшення енерговитрат можна досягти за

рахунок використання для розділення насіння нижньої зони кільцевого каналу, а безпосередньо розділення здійснювати шляхом «розщеплення» траєкторії руху насіння соняшника.

3. За допомогою методів теорії імовірностей встановлено вплив на процес сепарування випадків можливого зіткнення насіння різної маси, які завдяки руху із різною вертикальною швидкістю у вертикальному аспіраційному каналі в результаті зіткнення з іншими насінинами, змінюють напрям траєкторії руху.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма 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 сепаратора;
- б) раціональної довжини аспіраційного каналу сепаратора;
- в) раціонального діаметра аспіраційного каналу сепаратора;
- г) раціонального діаметра патрубку введення насіння в канал вертикальної аспірації сепаратора з бункера;
- д) продуктивності сепаратора;
- є) раціонального діаметра бункеру відбору насіннєвої фракції I.

2. Порівняння теоретично отриманих величин конструктивно-технологічних параметрів запропонованого аеродинамічного сепаратора із ексериментальними даними.

3.2 Параметри та конструкція натурної моделі пневмогравітаційного сепаратора насіння

Для проведення досліджень, нами була сконструйована експериментальна установка запропонованого пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника (рис. 3.1).

Експериментальна установка була виготовлена з металевого профілю квадратного перерізу та кутників.

Рама установки є несучою та складається із трьох частин:

- лівої частини рами 7;
- верхньої частини рами 8;
- нижньої частини рами 9.

Усі частини несучої рами 7, 8 та 9 з'єднані між собою шпильками з різьбою М8, на які накручені гайки.

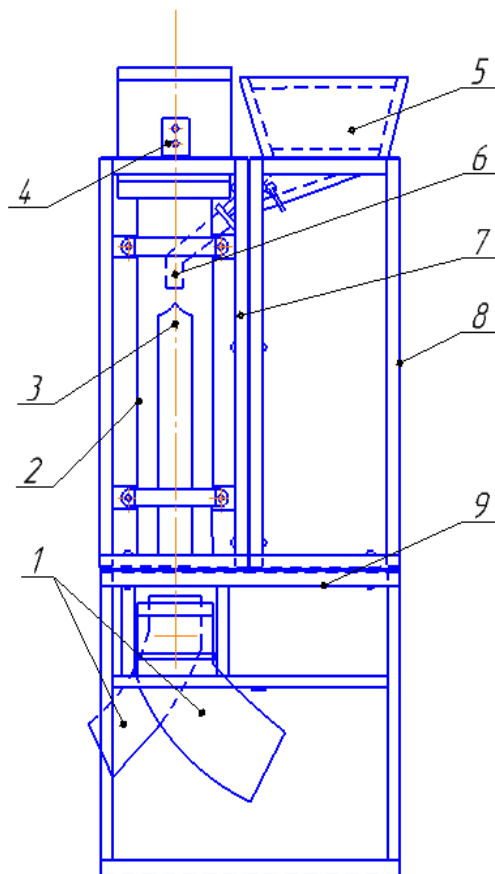


Рис.3.1. Схема експериментального пневмогравітаційного сепаратора насіння: 1 – два розподільника; 2 – аспіраційний канал; 3 – подільник; 4 – вентилятор; 5 – бункер; 6 – патрубок постачання; 7 – ліва частина рами; 8 – верхня частина рами; 9 – нижня частина рами

Розглянемо більш детально конструкцію сепаратора.

Основою силової частини сепаратора є осьовий вентилятор ВКОМ-315, що має наступну технічну характеристику:

- потужність приводу – 110 Вт.
- частота обертання – 1300 хв^{-1} .
- подача повітря – 1700 м^3 .
- діаметр труби вентилятора – 315мм.

Вентилятор 4 закріплений на лівій частині рами 7 за допомогою чотирьох болтів М8, отвори для яких просвердлені з різних боків у місці контакту труби з рамою, як показано на рисунку 3.1.

Усередині вентилятора 4 встановлено вертикальний аспіраційний канал 2, який має довжину 0,8 м, та виконаний із пластикової труби 6 внутрішнім діаметром 200 мм.

Щілину, що утворюється між внутрішньою стороною осевого вентилятору та зовнішньою поверхнею частини пластикової труби аспіраційного каналу 2, ущільнено за допомогою поліуретанового ущільнювача.

В нижній частині рами аспіраційного каналу 2 пластикова труба 6 аспіраційного каналу закріплена хомутом, який з'єднується із рамою болтами М8.

У правій частині до лівої частини рами 7 за допомогою шпильок М8 закріплюється верхня частина рами 8, а ці обидві рами з'єднуються відповідно з нижньою частиною сепаратора 9 також за допомогою шпильок М8.

Попід нижньою частиною аспіраційного каналу 2 встановлено поділювач продуктів поділу 1, який може бути виготовлений на дві або три фракції.

Конструктивно розподілювачі насіння по фракціях виконані у вигляді колін, аналогічних колінам повітряпроводів, які використовуються у промисловій вентиляції і мають кут повороту 90°.

Розподілювачі фракції встановлені один відносно одного на кут 90°, тобто повернуті, та за рахунок виготовлення отворів проходять один крізь одного, при цьому вони утворюють з боку нижнього кінця аспіраційного каналу центральний отвір малого діаметру – місце відбору насіння до фракції I, а також один чи два циліндричні отвори для відбору інших фракцій (II та III).

Для введення насіння в зону сепарації в центрі по перерізу верхньої частини вертикального аспіраційного каналу 2 діаметром 200мм встановлено постачаючий патрубок 6, який являє собою конструкцію з пластикової труби діаметром 50мм, причому встановленої з нахилом в бік

ковзання насіння з живильника бункеру 5 до місця введення – верхньої частини вертикального аспіраційного каналу 2.

Сам живильник бункера має регулятор продуктивності постачання насіння – регульовану заслінку, встановлену в місці звуження подаючої частини бункера.

Регулювання необхідної продуктивності вентилятора проводиться шляхом зміни перерізу його вихідного отвору у необхідних межах. При цьому продуктивність вентилятора може бути змінена від 0 до 1700 м³.

Працює розроблена конструкція аеродинамічного сепаратора наступним чином: насіння з бункеру 5 через живильник із регульовальною заслінкою постачається через патрубок 6 до кутника 3, що розташований по центру перерізу верхньої частини вертикального аспіраційного каналу 2.

У верхній частині цього вертикального аспіраційного каналу встановлений осьовий вентилятор ВКОМ-315, а щілина між трубою вентилятора Ø315 мм та Ø200 мм заповнена ущільнювачем.

При роботі вентилятора 4 потік повітря просмоктується у напрямку знизу нагору, з нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу 2.

Таким чином, всередині аспіраційного каналу 2 утворюється вертикальний повітряний потік, який направлений назустріч сепарованим частинкам, що вкидаються рівно посередині перерізу верхньої частини каналу 2 з труби-кутника 9.

Насіння має неідеальну форму, в результаті чого при падінні у вертикальний потік розщеплюється вертикальна траєкторія падаючих насінин і вони розсіваються в залежності від питомої ваги.

Питомо-легке насіння практично не змінює своєї траєкторії руху, тому падає у вертикальному напрямку практично в місці випадання, в результаті чого воно потрапляє в бункер фракції І. Питомо-важке насіння розганяється розподільником в поперечному напрямку до більш високих швидкостей і

розщеплюється значно більше, в результаті чого воно потрапляє в периферійні збірники фракції II.

Загальний вид експериментальної установки показано на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Загальний вид експериментальної установки

3.3 Методика проведення експериментальних досліджень пневмогравітаційного сепаратора насіння

3.3.1 Методика дослідження раціональної величини швидкості

повітряного потоку у аспіраційному каналі

Величина швидкості повітряного потоку всередині вертикального аспіраційного каналу має значний вплив на якість відбору насіння по фракціям при сепарації.

Так, при недостатній величині швидкості повітряного потоку насіння буде недостатньо розщеплено у своїй траєкторії, тому все насіння буде збиратись до бункеру фракції І для питомо-легкого насіння.

Навпаки, якщо швидкість повітряного потоку буде зовеликою, то все насіння буде всмоктано наверх вентилятором, і сепарація буде неякісною.

Отже, при роботі сепаратора має бути встановлено саме раціональну швидкість повітряного потоку усередині вертикального каналу.

У ході теоретичних досліджень було визначено величину раціональної швидкості – 4,5-5,5м/с.

Дослідження характеристик повітряного потоку проводили за допомогою: трубки Піто-Прандтля, мікроманометру рідинного компенсаційного з мікрометричним гвинтом типу МКВ-250 та анемометру АРИ-49 (рис. 3.3).

Мікроманометр з мікрометричним гвинтом типу МКВ-250 вимірює динамічний тиск. Щоб виміряти динамічний тиск, треба трубку Піто-Прандтля встановити у отвір повітряного каналу так, щоб отвір трубки був спрямований перпендикулярно до повітряного потоку всередині аспіраційного каналу сепаратора. В якості робочої рідини використовували денатурований спирт. Діапазон вимірювань мікроманометра складає 0-250 Па, допустима похибка – 0,02 % [118].



Рис.3.3 Вимірювання трубкою Піто-Прандтля з мікрометром МКВ-250

Дослідження повітряного потоку проводилися наступним чином: спочатку мікроманометр рідинний компенсаційний з мікрометричним гвинтом типу МКВ-250 за допомогою лімба виставляли на нуль. За допомогою гайки, яка переміщує оптичну ємність, встановлюють рівень рідини в системі так, щоб вона дотикалася до вершини штифта-указника (рис. 3.4, б) [118].

Далі трубку Піто-Прандтля резиноюю трубкою приєднують до виходу мікроманометра, де вимірюється розрідження тиску. Після вмикання вентилятора трубку Піто-Прандтля встановлюють в отвір в вертикальному аспіраційному каналі на визначену відстань. При цьому рівень рідини в оптичній ємності мікроманометру понизиться. Потім оптичну ємність піднімають до тих пір, поки рівень рідини в оптичній системі та вершина штифта указника не будуть дотиркатися (рис. 3.4, б).

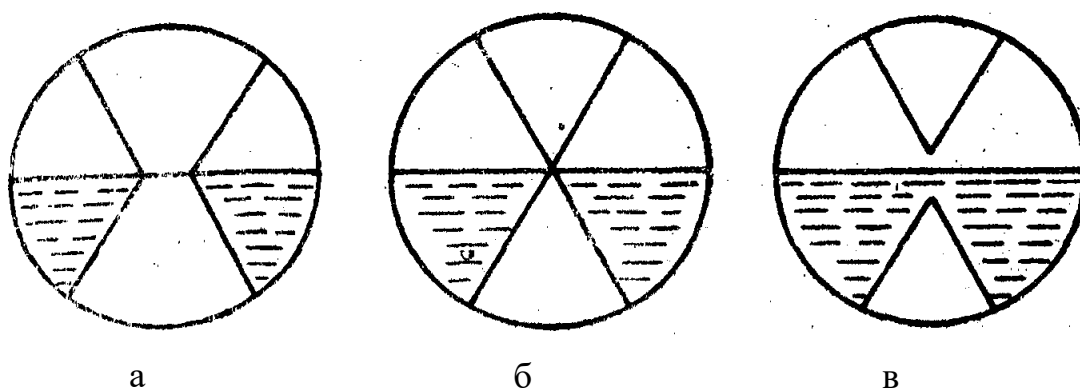


Рис. 3.4. Рівень рідини в системі мікроманометра МКВ-250:
а – низький рівень; б – нормальний рівень; в – підвищений рівень

По лінійці та лімбу мікроманометра МКВ-250 визначають висоту стовпа рідини, який врівноважується розрядженим тиском. Зробивши відлік за двома шкалами фіксують результат. Потім шлангу приєднуємо до виходу трубки Піто-Прандтля, де вимірюється статичний тиск і повторюємо дослід.

Динамічний тиск визначається за формулою:

$$P_0 = P_n - P_{ст}, \quad (3.1)$$

де P_n – повний тиск, мм вод. ст.,

$P_{ст}$ – статичний тиск, мм вод. ст.

Переведення показань шкали мікроманометра при вимірюванні в Па розраховують за формулою

$$P = P_0 \cdot K \cdot g, \quad (3.2)$$

де P_0 – показання шкали мікроманометру при вимірюванні, мм.вод.ст.;

K – коефіцієнт, який визначає різницю щільності рідини і повітря при даній температурі;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Для побудови тарувальної кривої використовували анемометр АРИ-49, який встановлювали у визначеній точці вертикального каналу назустріч потоку повітря. Після цього в цій же точці за допомогою трубки Піто-Прантля фіксували показання шкали мікроманометру МКВ-250. Дослідження проводили в десяти 10 точках. За одержаними показаннями

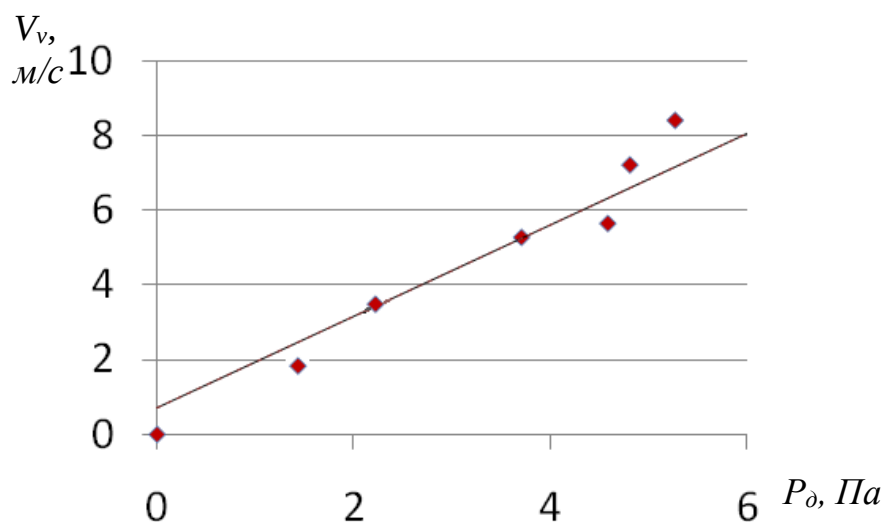


Рис.3.4. Тарувальна крива

будували тарувальну криву (рис.3.4).

Експериментальні дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі проводили у наступній послідовності:

1. За допомогою трубки Піто-Прандтля-Прандтля визначається критична швидкість повітряного потоку всередині аспіраційного каналу сепаратора, за умови вилучення або зависання всередині каналу найбільш пито-легкої з сепаруємих насінин.

Порібна швидкість повітряного потоку задавалася за допомогою зміни частоти обертання валу двигуна осьового вентилятора регулятором потужності фірми «Вентс» (рис. 3.5). із діапазоном зміни напруги від 10 до 300 В.



Рис. 3.5. Загальний вид регулятора швидкості повітряного потоку

2. Швидкість повітряного потоку в аспіраційному вертикальному каналі сепаратора зменшується до нуля вимкненням вентилятора.

3. Встановлюється попід нижнім кінцем аспіраційного каналу вентилятора на відстані встановлення бункерів-поділювачів фракцій (близько 10см) горизонтальна поверхня, виконана з ДСП, яка за своїми розмірами (ширина та довжина або радіус) перевищує діаметр аспіраційного каналу не менше ніж на 20 %, тобто не менша за 300мм.

4. На плиті із ДСП розмічається центр аспіраційного каналу та радіуси у межах від 10мм до 300мм, через кожні 10 мм.

5. Площина плити з ДСП змащується зверху тонким шаром (0,5-1мм) світлої консистентної рідини Літол-24 по всій поверхні.

6. Проводиться серія досліджень, з трикратною повторністю випробувань (згідно з теорією математичної статистики), у ході яких необхідно проводити вкидання точно по центру 10 насінин різної питомої ваги, та за допомогою штангенциркуля та розмічених кіл, визначати радіуси рознесення кожної із насінин, вираховуючи середні величини.

7. Повторюється серія досліджень п. 6, при зміні величини повітряного потоку за допомогою регулятора від 0 до 150% критичної швидкості на 10% послідовно, користуючись трубкою Піто-Прандтля- Прандтля.

За результатами, отриманих в ході експериментальних досліджень даних, будується графік залежності радіусу рознесення 10 насінин різної питомої ваги у залежності від швидкості повітряного потоку в аспіраційному каналі сепаратора.

Проведені дослідження дозволяють за максимальною різницею у радіусах рознесення між насінням із малою та великою питомою вагою, зробити висновки щодо раціональної величини швидкості повітряного потоку в аспіраційному вертикальному каналі запропонованого сепаратора, а також щодо достатності потужності повітряного потоку встановленого на

сепараторі вентилятора для забезпечення якісного сепарування в залежності від питомої ваги насіння.

3.3.2 Методика дослідження раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора

Довжина вертикального аспіраційного каналу сепаратора також досить суттєво впливає на якість відбору насіння по фракціях при сепарації.

Так, при недостатній довжині аспіраційного каналу сепаратора, насіння буде недостатньо розщеплено у свої траєкторії, тому все потрапить у ході сепарування до бункеру фракції I, що призначена тільки для пито-мо-легкого насіння.

Навпаки, якщо довжина вертикального аспіраційного каналу сепаратора буде зовеликою, необхідно буде витратити енергію як на постачання насіння на значну висоту сепаратора, яка визначається геометричною довжиною аспіраційного каналу сепаратора з додаванням висоти бункеру.

Окрім цього, можливий випадок повторного вертання насіння при обертанні в процесі розщеплення від стінки до центру аспіраційного каналу, що також може негативно впливати на загальну якість сепарування насіння за питомою вагою.

Отже, сепаратор мусить мати вертикальний аспіраційний канал раціональної довжини.

У ході теоретичних досліджень було визначено величину раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора, тому в ході експериментальних досліджень проводилася її перевірка.

Експериментальні дослідження перевірки величини раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора проводилися за наступною методикою.

1. За допомогою трубки Піто-Прандтля-Прандтля встановлюється раціональна величина швидкості повітряного потоку всередині вертикального аспіраційного каналу.

2. Встановлюється висота постачання насіння – 10см, тобто на перерізі нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу сепаратора.

3. Попід нижнім кінцем аспіраційного каналу вентилятора на відстані 10см встановлюється горизонтальна поверхня з ДСП, діаметр якої не менша за 300 мм.

4. На плиті розмічається центр аспіраційного каналу та радіуси з 10 мм до 300мм (через 10мм), та площа плити зверху по всій поверхні змащується тонким шаром (0,5-1 мм) світлої консистентної рідини Літол-24.

5. Проводиться серія досліджень, у ході яких вкидання 10 насіння різної питомої ваги треба проводити точно по центру, та за допомогою штангенциркуля та розкреслених кіл визначаються радіуси рознесення кожної з насіння, врахувавши середні величини за трикратною повторністю.

6. Повторюється п. 5, а саме: висоту вкидання насіння по відношенню до нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу сепаратора слід змінювати у межах від 0мм (10см від площини бункерів поділювачів) та до 1,0 м через кожні 10мм (максимальна довжина вертикального каналу сепаратора, до верхньої його частини із лопатями вентилятора).

За результатами отриманих у ході експериментів даними будуюмо графік залежності радіусу рознесення 10 насіння різної питомої ваги при раціональній швидкості повітряного потоку в вертикальному аспіраційному каналі сепаратора в залежності від довжини (відстані вкидання насіння) аспіраційного каналу сепаратора.

За максимальною різницею у радіусах рознесення між насінням із малою та великою питомою масами робимо висновок щодо раціональної довжини аспіраційного вертикального каналу.

Проаналізувавши отриманий графік та враховуючи конструктивні міркування, визначається раціональна довжина вертикального каналу запропонованого сепаратора.

3.3.3 Методика дослідження раціонального діаметру вертикального аспіраційного каналу установки

Діаметр вертикального аспіраційного каналу сепаратора має великий вплив на енергетичні та якісні показники, що отримуються при роботі установки.

Якщо діаметр вертикального аспіраційного каналу буде малим, у результаті дії повітряного потоку на насіння, що падає у вільному падінні назустріч всмоктуваному повітрю, розщеплення траєкторії падаючих насінин буде обмежено бічними внутрішніми стінками цього каналу, а, отже, чіткість відбору насіння за питомою вагою буде погіршуватися.

Окрім цього, недостатній діаметр вертикального аспіраційного каналу не дозволить встановити в його середину пристрій для постачання насіння – патрубок необхідного діаметру. З іншого боку, занадто великий діаметр вертикального аспіраційного каналу призведе до великих енерговитрат на створення повітряного потоку великої продуктивності.

Тому в ході експериментальних досліджень раціональна величина діаметра вертикального аспіраційного каналу визначалася наступним чином.

1. Встановлювався пристрій для фіксації та подачі насіння точно в центрі перерізу верхньої частини вертикального аспіраційного каналу сепаратору. Конструктивно пристрій для фіксації та подачі насіння виготовлений у вигляді електромагнітного реле типу РЕС-6 із знятим корпусом, позаду якого на шпильку для кріплення з різьбою М3 накручена скоба для затискання та металева смуга для фіксації всього пристрою в просторі.

2. Попід нижнім кінцем вертикального аспіраційного каналу на відстані 10 см встановлення бункерів поділювачів розташується мішень для реєстрації місця приземлення насіння, виконана з ДСП у вигляді шматка прямокутної форми розмірами 300 x 300мм, товщиною 20мм.

На поверхні цієї мішені для приземлення насіння тонким шаром (0,5-1мм) рівномірно нанесена консистентна рідина для змащування типу "Літол - 24".

3. Далі здійснюється подача 10 насінин різної власної питомої ваги та за результатами їх приземлення на мішень визначаються та окреслюються радіуси рознесення насіння у залежності від їх питомої ваги.

4. Після необхідної повторності вкидання кожної з 10 піддослідних насінин вимірюється найменша отримана відстань від насінини до найближчої стінки вертикального аспіраційного каналу сепаратора та визначається середнє значення.

5. Аналіз результатів серії проведених досліджень дає можливість встановити залежність відстані до найближчої бічної стінки аспіраційного вертикального каналу від відстані зміщення точки вкидання насіння у верхній частині вертикального аспіраційного каналу сепаратора та побудувати графік цієї залежності.

6. Це дозволяє зробити висновок щодо максимальної відстані постачання насіння у верхній частині аспіраційного вертикального каналу сепаратора, при якому не відбувається зіткнення насіння з малою питомою вагою з бічними стінками вертикального каналу та визначити раціональну величину діаметра запропонованого сепаратора.

3.3.4 Методика дослідження раціонального діаметра патрубку

постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу

Величина діаметру патрубку, що постачає насіння в верхню частину вертикального аспіраційного каналу сепаратора, має великий вплив як на

якість сепарування насіння за питомою вагою, так і на загальну продуктивність роботи розробленого сепаратора

Якщо величина діаметра патрубку постачання насіння всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора буде замалою, то ми отримаємо малу продуктивність сепаратора, що призведе до погіршення його економічних показників.

З іншого боку, занадто велика величина діаметра патрубку постачання насіння призведе до міграції насіння по сусідніх фракціях, яка отримується в результаті їх попереднього положення у просторі.

Таким чином, у результаті міграції насіння між сусідніми фракціями, буде відбуватися збільшення середньої ваги насіння у бункері насіннєвої фракції I та, відповідно, зменшення середньої питомої ваги у бункері фракції II за рахунок перерозподілу насіння попаде в невідповідні фракції в ході міграційного процесу.

Отже, у ході експериментальних досліджень необхідно визначити раціональне значення діаметра патрубку постачання насіння.

Для цього проведено дослідження в наступній послідовності.

1. У вертикальному аспіраційному каналі встановлюється раціональна величина швидкості повітряного потоку, яка була визначена у ході попередніх досліджень (п. 3.3.1).

2. Розташовується пристрій для фіксації та введення насіння на відстані від нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу, яка відповідає раціональній величині довжини каналу, що була визначена у попередніх дослідженнях (п. 3.3.2).

3. Попід нижнім кінцем вертикального аспіраційного каналу на відстані встановлення поділювачів фракцій (10 см) встановлюється мішень для фіксації положення насіння при випаданні з цього каналу в процесі сепарації.

Мішень виготовляється з ДСП або дошки товщиною 20-40 мм, з розмірами 300x300 мм або більше. На поверхню мішені наноситься тонким шаром у 0,5-1,0мм в'язка рідина – рідина для змащування типу "Літол - 24".

4. По центру перерізу вертикального аспіраційного каналу сепаратора у його верхній частині виставляється пристрій для фіксації та постачання насіння, після чого проводяться дослідження відстані радіусу рознесення 10 насіння різної питомої ваги.

Кожен дослід проводиться з необхідною повторністю та вираховується середнє значення досліджуваної відстані.

5. За результатами досліджень п. 4 будується графік залежності відстані рознесення насіння (радіусу рознесення) від питомої ваги.

6. Користуючись графіком, отриманим при реалізації п. 5, визначається радіус відбору насіння до насіннєвої фракції I (питомо-легкого насіння) за максимальними агрономічними вимогами до насіннєвого матеріалу. Для насіння соняшника це становить 100г для 1000 шт. насіння (межі – 80-100г).

7. За отриманими (при реалізації п. 6 методики) радіусами відбору, які відповідають середній масі 1000 шт. насіння за агрономічними вимогами, відбираються такі, що не придатні до сівби, тобто виключається з потрапляння у фракцію I насіння із масою 1000 шт. – 50г, для соняшника (при межах 80-100г). Циліндричний патрубок, що забезпечує відбір насіння в ході сепарування із масою 1000 насіння 90г (тобто, середньої маси за агрономічними вимогами) виготовляється з оцинкованої сталі товщиною 0,55 мм висотою 10см. Отриманий циліндричний патрубок кріпиться за допомогою саморізів та кутників на мішені.

Після цього отримана мішень для відбору насіння до фракції I закріплюється на відстані 20 см від нижнього кінця аспіраційного вертикального каналу сепаратора, тобто циліндричний імітатор горловини фракції I із оцинкованої сталі розташовується точно в місці майбутнього штатного розташування приймача продуктів поділу фракції насіннєвого матеріалу I – 10см.

8. Для фракції II виготовлено циліндричний патрубок із оцинкованої сталі товщиною 0,55мм та висотою 10см із зовнішнім діаметром 200мм.

Патрубок відбору насіння до фракції II закріплюється концентрично навкруги циліндру фракції I на тій же мішені для відбору насіння із деревини, що і в п.3.

9. Змінюючи в ході випробувань із трикратною повторністю відстань постачання насіння, починаючи від центрального положення (п. 1) до положення п.2 через 5мм, проводиться сепарація піддослідних насінин різної питомої ваги, які являють сепаровану фракцію насіння – від найбільш питомо-важких до найбільш питомо-легких насінин.

У ході проведення досліджень записуються результати перерозподілу сепарованих насінин по бункерах фракції I та II (при їх потраплянні до циліндричних імітаторів мішені, згідно з п.3 та п.8).

10. За результатами експериментів п. 9 побудовано графік залежності перерозподілу насіння по фракціям I та II від відстані постачання насіння в верхній частині вертикального аспіраційного каналу сепаратору, що дорівнює відповідному діаметру патрубка постачання насіння.

Результати отриманих графічних залежностей дають можливість зробити висновок про раціональну величину діаметра патрубка постачання насіння у верхній частині вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратору.

3.3.5 Методика дослідження впливу геометричного положення насіння у просторі на загальну якість поділу насіння за питомою вагою при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратора

Геометричне положення насіння у просторі при потраплянні у верхню частину вертикального аспіраційного каналу установки може впливати на якість поділу насіння за питомою вагою.

Так, при неправильному положенні насіння у просторі, насіння соняшника, що має подовжену форму, може деякий час летіти всередині

вертикального аспіраційного каналу сепаратора у повітряному потоці без розщеплення вертикальної траєкторії.

Цей час, що насінина летить без розщеплення її вертикальної траєкторії, витрачається на повертання насінини у просторі в положення найменшого аеродинамічного опору по відношенню до повітряного потоку, що просмоктується встановленим у верхній частині аспіраційного каналу вентилятором осьового типу. Таким чином, залежно від геометричного положення насінин у просторі, при випаданні його із патрубку постачання, розташованого в верхній частині вертикального аспіраційного каналу сепаратора, насіння в результаті може змінити величину підсумкового рознесення та потрапити не у відповідну до її питомої ваги фракцію.

Тобто, для визначення можливої максимальної та середньої величини зміни радіусу рознесення насінин залежно від їх геометричного положення у просторі, необхідно провести дослідження за наступною методикою.

1. Всередині аспіраційного вертикального каналу сепаратора встановлювалася раціональна величина швидкості повітряного потоку, яка визначена в ході реалізації п.3.3.1 методики.

2. В верхній частині вертикального аспіраційного каналу точно по середині встановлюється пристрій для фіксації та постачання насінин.

Встановлювати необхідно на відстані 70 см від нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу установки, що відповідає раціональній величині довжини цього каналу.

3. Попід нижнім кінцем аспіраційного вертикального каналу сепаратора необхідно встановити на відстані розташування поділювачів фракції I та II (10см) мішень, яка виконана у вигляді квадрату з деревини або ДСП товщиною 22-40 мм із зовнішніми розмірами 300 x 300мм.

Верхня зовнішня поверхня цієї мішені вкривається тонким шаром (0,5-1,0 мм) рідини для змащування типу "Літол-24".

4. Узявши 10 піддослідних насінин різної питомої ваги, що представляють сепаровану фракцію насіння, необхідно встановлювати їх із трикратною повторністю під кутом 90° до швидкості повітряного потоку.

5. Провести вимірювання відстані рознесення 10 піддослідних насінин, при їх попередньому положенні розташування у 0° , 90° та розташуванні довшою віссю, яка повернута на 180° відносно положення найменшого аеродинамічного опору по відношенню до швидкості повітря, яке усмоктується встановленим в верхній частині аспіраційного вертикального каналу сепаратора осьовим вентилятором.

6. За результатами експериментальних досліджень, що реалізовані у п.4 та п.5, побудуються графіки залежності радіусів рознесення 10 насінин різної питомої ваги, що при трикратній повторності отримуються на мішені, та їх залежність від попереднього геометричного положення в просторі при 0° , 90° та 180° їх орієнтації.

7. За отриманими графічними залежностями зроблено висновки щодо впливу попереднього геометричного положення насіння в просторі на якість сепарування, а саме, на зміну радіусу рознесення насіння, в результаті якого насіння перерозподіляється не по "своїх" фракціях I та II.

3.3.6 Методика дослідження раціонального діаметра розподільника фракції I для відбору питомо-легкого насіння

Величина діаметра бункера фракцій поділу має великий вплив на середню питому вагу відібраного при сепарації насіння.

Тому діаметр поділювача, який забезпечує відбір насіння до бункера фракції I, повинен бути встановлений у раціональне значення, що забезпечуватиме відбір до фракції I питомо-легкого насіння, яке має низьку енергію проростання та схожість.

Якщо діаметр відбору насіння до фракції I буде занадто великим, то до фракції I потрапить дуже багато насіння з великою власною питомою вагою,

що в результаті призведе до зменшення середньої маси насіння у бункері фракції II, тобто буде отримане насіння, що не відповідає агрономічним вимогам.

Таким чином, у ході експериментальних досліджень необхідно визначити залежність середньої маси 1000 насінин, що отримуються в ході сепарації у бункері фракції I, від діаметру бункера фракції при раціональній довжині вертикального каналу.

Серія досліджень проводилася за наступною методикою:

1. Встановлювалась раціональна відстань постачання насіння у вертикальний аспіраційний канал, яка відповідає раціональній довжині (п. 3.3.2), шляхом встановлення пристрою для введення насіння –труби раціонального діаметру, який був визначений в ході попередніх експериментальних досліджень (п.3.3.4).

У середині аспіраційного вертикального каналу сепаратора необхідно встановити раціональну величину швидкості повітряного потоку, яка визначена в ході реалізації п.3.3.1 методики.

2. З сепаруємої фракції шляхом рівномірного ділення 1кг насіння відбиралося 200 г навіски для проведення випробувань.

3. Попід нижнім кінцем вертикального аспіраційного каналу розташовувався експериментальний приймач продуктів поділу, виконаний у вигляді дошки чи шматка ДСП, із зовнішніми розмірами 300 x 300мм, розташований в центрі перерізу вертикального аспіраційного каналу на відстані 10см від його нижнього кінця.

4. Симетрично до центру перерізу вертикального аспіраційного каналу сепаратора у ході досліджень закріплені циліндричні імітатори бункеру фракції I.

Ці імітатори поділювачів фракції I виконані з оцинкованої сталі товщиною 0,55мм розмірами від 40мм до 200мм (що дорівнює діаметру пластикової труби вертикального каналу сепаратора) з кроком 10мм між сусідніми розмірами.

Від центру експериментального приймача продуктів поділу розмічені кола діаметрами від 40мм до 200мм, з кроком 10мм між сусідніми колами.

На кожному з кіл за допомогою кутників, гвинтів та саморізів закріплені відповідні циліндричні імітатори фракцій поділу.

5. Проводяться дослідження із необхідною повторністю, в ході яких вимірюється середня маса 1000 насінин, що отримуються при сепаруванні у бункері фракцій I та II.

Для визначення маси 1000 насінин необхідно після кожного з сепарувань звішувати по 200шт насінин з трикратною повторністю.

6. За даними, отриманими в ході експериментальних досліджень побудовано графіки залежності середньої ваги насіння, що отримується у фракціях I та II від діаметру відбору до фракції I.

7. Результати проведених досліджень дозволяють зробити висновки щодо раціонального діаметру циліндричного відбирача до бункеру фракції I.

3.3.7 Методика дослідження раціональної продуктивності роботи пневмогравітаційного сепаратора насіння

Продуктивність сепаратора має велике значення для отримання високих економічних показників роботи установки для сепарування насіння.

Оскільки, при недостатній продуктивності сепаратора за рахунок недостатнього постачання насіння в сепаратор, ефективність його роботи буде зменшена.

З іншого боку, при перебільшенні норми постачання насіння в сепаратор при його роботі буде зменшена якість насіннєвого матеріалу внаслідок потрапляння неякісного питомо-легкого насіння з фракції I у насіннєву фракцію для питомо-важкого насіння II.

Окрім того, частина високоякісного насіння з сепаруємої фракції в результаті перевантаження пропускної здатності сепаратора в результаті міграції із фракції II буде перенесена до фракції I, тобто втрачена.

Таким чином, продуктивність запропонованого сепаратора має бути встановлена у раціональне значення.

Для визначення раціональної продуктивності сепаратора експериментальні дослідження проводилися за наступною методикою.

1. У верхній частині вертикального аспіраційного каналу точно посередині встановлювався штатний пристрій для постачання насіння, виконаний у вигляді пластикової труби раціонального діаметру, визначеного згідно методики (п.3.3.4).

2. У середині аспіраційного вертикального каналу сепаратора встановлювалася раціональна величина швидкості повітряного потоку.

Штатний патрубок встановлювався на відстані від нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу установки, яка відповідає раціональній величині довжини цього каналу, визначеною при реалізації п. 3.3.2 методики.

3. Попід нижнім кінцем аспіраційного вертикального каналу сепаратора встановлювався імітатор бункеру фракції I, виконаний у вигляді мішені на відстані розташування подільовачів фракції I – 10см.

Сама мішень виконана у вигляді квадрату з деревини (або ДСП) товщиною 22-40мм із зовнішніми розмірами 300 x 300мм, на яку симетрично до центральної вертикальної вісі аспіраційного каналу зверху прикручено циліндричну поверхню, імітуючу приймач продуктів поділу фракції I із раціональним діаметром, визначеним при реалізації п.3.3.6 методики.

4. Проводилися трикратні дослідження, в ході яких вимірювалася середня маса 1000 насіння, що отримуються при сепаруванні у бункері фракцій I та II, при змінюванні продуктивності постачання насіння від мінімально можливої до максимально можливої, що здатен пропустити патрубок постачання насіння (до 100-120 кг/год.).

Для визначення маси 1000 насіння після кожного із сепарувань зважувалися по 200 шт. насіння із трикратною повторністю.

Продуктивність регулювалася зміною діаметру отвору випадання насіння у нижній частині бункера за допомогою заслонки, і підраховувалася шляхом вимірювання часу сепарування навіски насіння з 10 кг.

5. За даними, отриманими в ході експериментальних досліджень побудовано графіки залежності середньої маси насіння, що отримуються у фракції I, від продуктивності.

6. Аналіз цих залежностей дає можливість зробити висновки щодо раціональної продуктивності піддослідного сепаратора.

3.4 Висновки по розділу

1. При визначенні ефективності процесу сепарації насіння соняшника були розроблені програма та методика експериментальних досліджень основних конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора. Запропонована методика дозволяє встановити закономірності процесу сепарування насіння соняшника та знайти оптимальне значення параметрів запропонованого сепаратора.

2. Для визначення швидкості повітряного потоку використовувався експериментальний метод із застосуванням мікроманометру. Встановлені залежності швидкості витання насіння соняшника від їх аеродинамічних властивостей, які знаходиться в межах 4-5,5м/с.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати досліджень розробленого пневмогравітаційного сепаратора

4.1.1 Результати дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі сепаратора

Для визначення раціональної швидкості повітряного потоку в середині вертикального аспіраційного каналу сепаратора, згідно із пунктом 3.3.1 методики, було проведено серію експериментальних досліджень.

Результати, отримані в ході проведених досліджень, занесені до таблиці 4.1, де наведені відстані приземлення десяти насінин соняшника різної питомої ваги. Кожне значення вираховане як середнє серед дослідів із трикратною повторністю.

Таблиця 4.1 – Середня відстань (радіус) рознесення десяти насінин різної питомої ваги залежно від швидкості повітряного потоку всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора

Швидкість потоку, м/с Маса насінини, г	$0V_{кр}$	$0,25V_{кр}$	$0,5V_{кр}$	$0,75V_{кр}$	$0,9V_{кр}$	$1,25V_{кр}$	$1,5V_{кр}$
	Відстань зміщення насіння від подільника, мм						
0,033	4	3	5	7	-	-	-
0,040	5	5	6	8	8	-	-
0,048	6	6	7	7	9	9	-
0,053	5	6	6	7	8	8	10
0,059	9	16	19	22	21	19	19
0,072	8	12	15	19	17	11	17
0,081	11	10	12	17	16	13	11
0,089	9	9	11	12	12	9	12
0,092	9	8	9	12	14	12	9
0,099	8	9	10	10	9	11	11

Як видно з таблиці 4.1 зі збільшенням швидкості повітряного потоку насіння відлітає ближче до стінок аспіраційного каналу. Легке насіння, починаючи з 1,25 від критичної швидкості повітряного потоку, виноситься вгору та виходить через вентилятор, це призводить до втрачання насіння, що можливо використовувати для переробки його на оливу, або на корм для тварин.

За результатами досліджень побудовано графік (рис. 4.1), що визначає залежності відстані змінення вертикальної траєкторії насіння по відношенню до центральної вертикальної вісі вертикального аспіраційного каналу в горизонтальному напрямку, виконані при різних швидкостях повітряного потоку.

Так як для нас має цінність лише питома-важке насіння, що буде використовуватися при сівбі, то легке насіння, що має вагу меншу ніж 0,059г, не досліджуємо та не включаємо його до графіку.

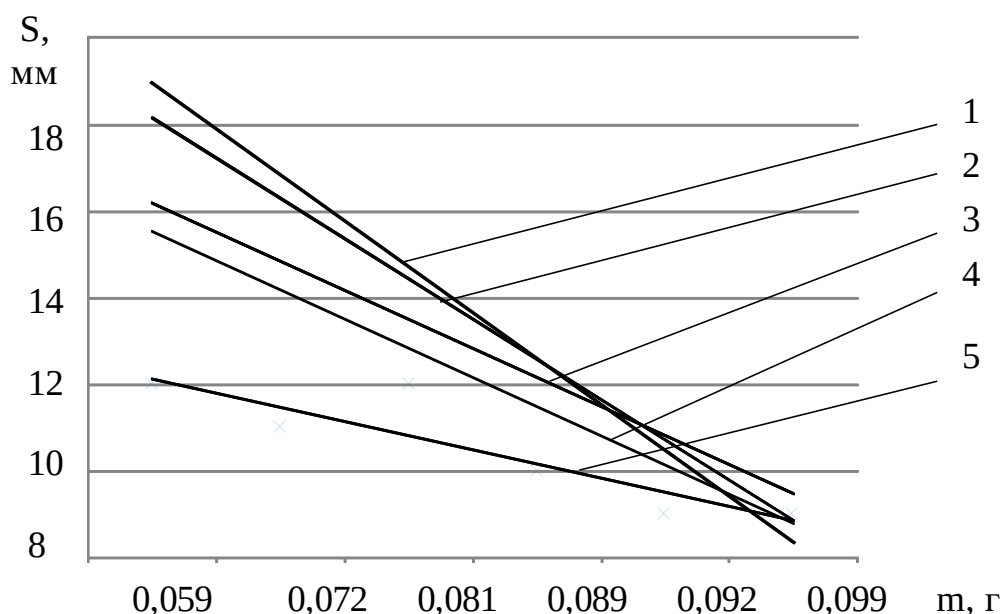


Рис. 4.1. Залежність відстані розщеплення вертикальної траєкторії насіння соняшнику від його маси при різних швидкості:
1 – $0,9V_{кр}$; 2 – $0,7V_{кр}$; 3 – $0,5V_{кр}$; 4 – $0,25V_{кр}$; 5 – $0,1V_{кр}$

Криві на графіку на рис. 4.1, як і на всіх наступних графіках, ми апроксимували методом найменших квадратів (за допомогою середовища [Microsoft Excel](#) 2010)

Як видно з графіку на рис. 4.1 при швидкості 0,7-0,9 від критичної

швидкості повітряного потоку в середині вертикального аспіраційного каналу сепаратора, легке насіння залишається в сепараторі та потрапляє до бункеру фракції I, а важкі насінини потрапляють до бункеру фракції II.

При швидкості меншій за 0,7-0,9 від критичної швидкості повітряного потоку в середині вертикального аспіраційного каналу сепаратора відбувається кращий розподіл насіння. Отже, раціональна швидкість повітряного потоку, при якій буде проходити найкраще розділення насіння соняшника складає 75 – 90 % від критичної швидкості повітряного потоку та становить 4,5-5,5 м/с.

Для узагальнення результатів побудований загальний графік, який показує залежності у різниці відстані змінення вертикальної траєкторії між легкою та важкою з десяти піддослідних насінин соняшника, що представляють всю фракцію насіння, що сепарується (рис. 4.2).

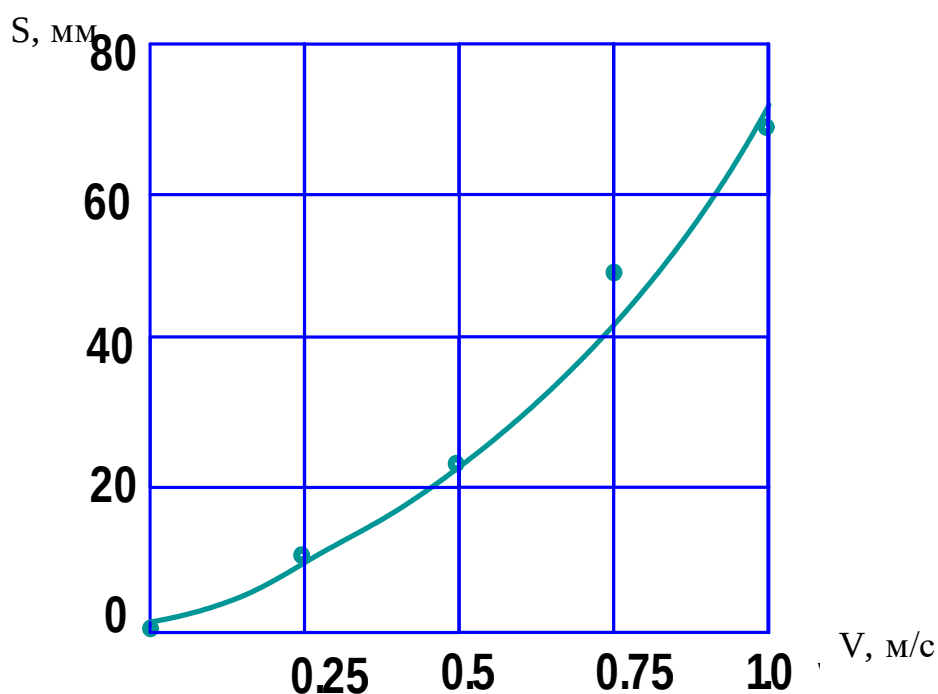


Рис. 4.2. Залежність різниці у відстані розщеплення вертикальної траєкторії насіння соняшника від швидкості повітряного потоку між важким та легким насінням $y = 28,5x^2 + 41,4x + 0,5$

Як видно з графіку на рис. 4.2, чим більше швидкість повітряного потоку, тим краще проходить розділення насіння; так як важке насіння краще змінює свою траєкторію, то воно з меншою імовірністю попаде до бункеру

некондиційної фракції.

4.1.2 Результати дослідження раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора

Для визначення раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора насіння, згідно із пунктом 3.3.2 методики, було проведено серію експериментальних досліджень.

Результати, отримані в ході проведених досліджень занесено до таблиці 4.2, в якій наведено відстані приземлення десяти насінин різної питомої ваги, які взагалі являють піддослідне насіння соняшника, що сепарується. Кожне із значень таблиці вираховувалось як середнє серед випробувань із трикратною повторністю.

Таблиця 4.2 – Середня відстань рознесення десяти насінин різної питомої ваги залежно від довжини аспіраційного каналу при раціональній швидкості повітряного потоку

Маса насінини, г	Довжина вертикального аспіраційного каналу, м							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	Відстань зміщення відносно центральної вісі вертикального аспіраційного каналу в горизонтальному напрямку, мм							
0,033	9	10	10	9	10	10	12	12
0,040	9	9	9	9	10	10	12	10
0,048	8	12	12	13	12	12	13	12
0,053	12	12	13	12	14	13	16	13
0,059	8	14	13	18	13	18	17	14
0,072	11	16	18	18	19	19	22	22
0,081	12	18	19	20	22	29	31	28
0,089	16	18	20	26	31	30	33	38
0,092	13	19	22	31	39	40	44	51
0,099	14	20	26	35	48	52	58	62

Так як при довжині аспіраційного каналу 0,1-0,4 м змінення траєкторій насіння буде незначне, тому досліджувати ці розміри не потрібно.

За результатами досліджень побудовано графік (рис. 4.3) залежності відстані змінення вертикальної траєкторії насіння по відношенню до центральної вертикальної вісі вертикального аспіраційного каналу в горизонтальному напрямку, виконані при раціональній швидкості повітряного потоку та при різних значеннях довжини цього каналу.

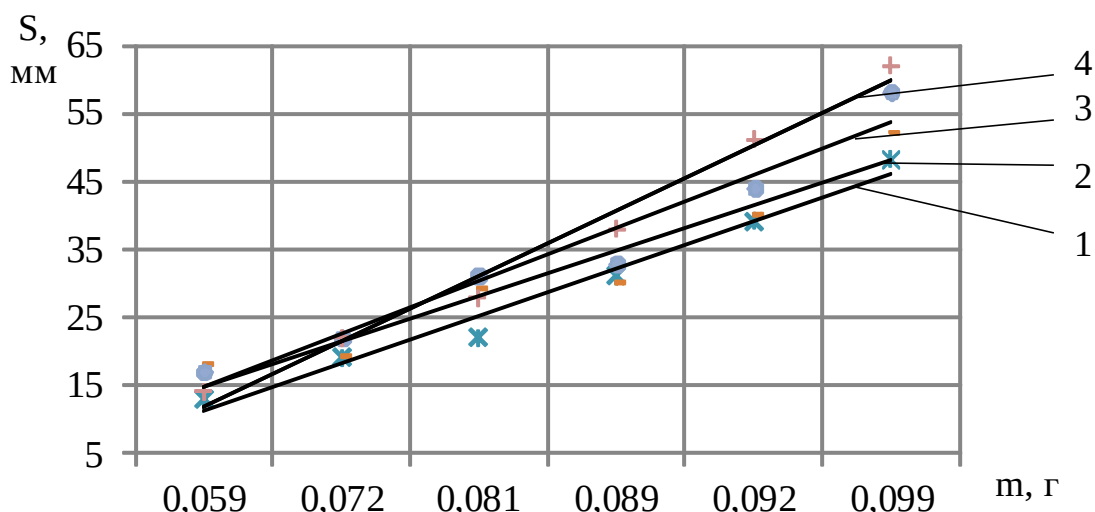


Рис. 4.3. Залежність вертикальної траєкторії насіння соняшника від його маси при швидкості 5,5 м/с і різних довжинах вертикального аспіраційного каналу:
1 – 0,5 м, 2 – 0,6 м; 3 – 0,7 м; 4 – 0,8 м

Аналіз графіка (рис. 4.3) показав, що найбільш раціональною є довжина вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора 0,7-0,8 м при швидкості повітряного потоку всередині цього аспіраційного каналу у межах 4,5-5,5 м/с, так як змінення траєкторії важких насінин відбувається значніше ніж легких. Отже, більш важкі насінини попадуть у цінну фракцію. Саме при таких значеннях довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора (корисної довжини між пристроєм введення насіння – патрубком постачання – та нижнім кінцем цього каналу) різниця у радіусах розсіяння насіння становить 18-20 мм.

Для узагальнення результатів побудовано загальний графік, що показує залежність у різниці відстані змінення вертикальної траєкторії між легкими та важкими з десяти піддослідних насінин соняшника, які представляють всю

фракцію насіння, що сепарується.

Графік, виконаний для різних значень довжини вертикального аспіраційного каналу, наведений на рисунку 4.4.

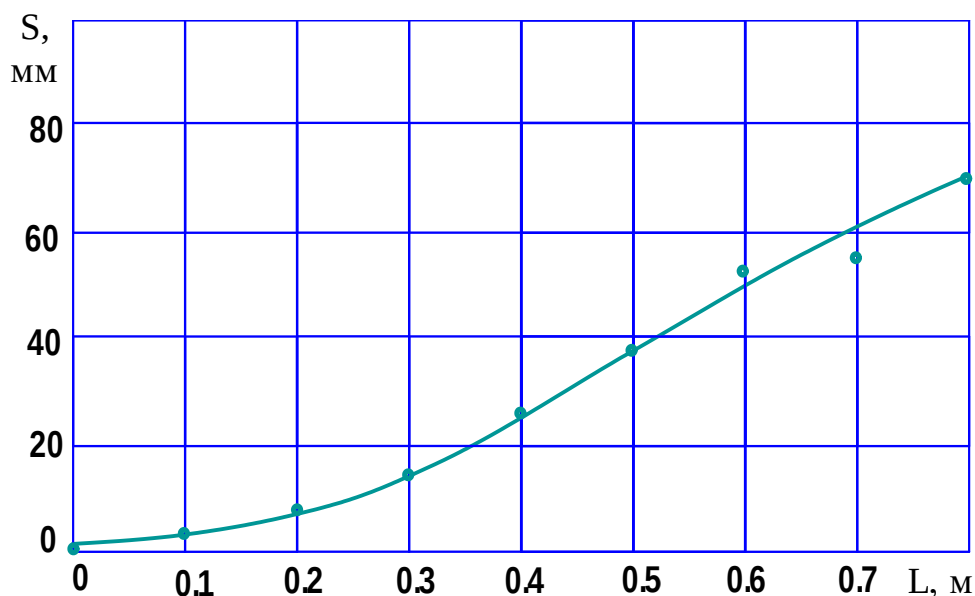


Рис. 4.4 Залежність різниці у відстані розщеплення вертикальної траєкторії насіння соняшника між важкими та легкими насінинами від довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора $y = 53,1x^2 + 52,3x - 1,4$

З графіку видно, що зі збільшенням довжини вертикального аспіраційного каналу відстань приземлення піддослідних насінин збільшується. Це відбувається тому, що при взаємодії насінини з зустрічним повітряним потоком насіння змінює свою траєкторію і чим довше воно взаємодіє з повітрям, тим краще проходить поділ насіння.

4.1.3 Результати дослідження раціонального діаметра основного аспіраційного каналу установки

Для визначення раціонального діаметра вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора насіння, згідно із пунктом 3.3.3 методики, було проведено серію експериментальних досліджень.

Результати, отримані в ході проведених досліджень занесено до табл. 4.3, в якій наведені відстані приземлення 10 насінин різної питомої ваги

по відношенню до найближчої бічної стінки вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора.

Таблиця 4.3 – Середня відстань рознесення насіння різної маси в залежності від зміщення вкидання насіння відносно центральної вісі вертикального каналу довжини аспіраційного каналу

Маса насінини, г	Відстань зміщення відносно центральної вісі вертикального каналу, мм		
	20	10	0
0,033	18	9	3
0,040	48	36	31
0,048	61	38	46
0,053	71	61	53
0,059	76	64	62
0,072	86	78	67
0,081	90	78	73
0,089	89	80	73
0,092	92	82	71
0,099	94	81	74

Послідовність із 10 піддослідних насінин в цілому представляє піддослідну фракцію насіння соняшника, що сепарується.

Кожне зі значень таблиці вираховувалось як середнє серед дослідів із трикратною повторністю.

За результатами досліджень побудовано графік (рис. 4.5), який дозволяє визначити залежність відстані від місця приземлення десяти

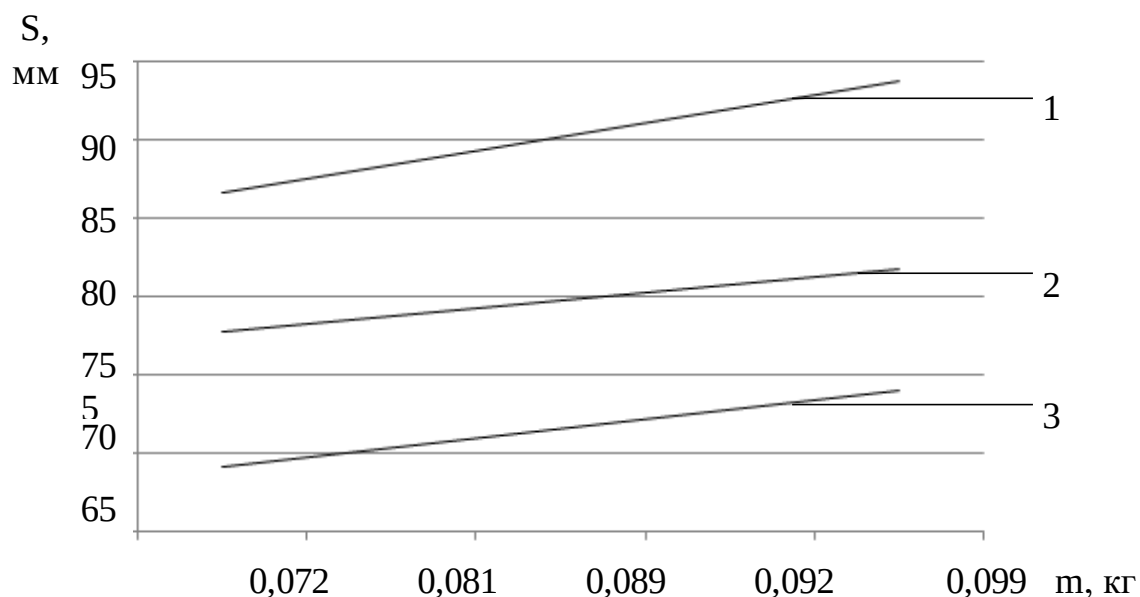


Рис. 4.5. Залежність відстані приземлення піддослідних насінин різної маси до найближчої бічної стінки вертикального аспіраційного каналу сепаратора, при зміщенні відстані вкидання насіння від центру каналу: 1 – 0 мм, 2 – 10 мм, 3 – 20 мм.

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.

Як видно з графіку (рис 4.5) змінення траєкторії насіння при зміщенні відстані вкидання насіння від центру аспіраційного каналу відбувається незначне. Рознесення важкого насіння до 95 мм говорить нам про те що, раціонально використовувати діаметр аспіраційного каналу 200 мм, так як важке насіння не буде долітати до бічної стінки аспіраційного каналу і ударятися об неї. Збільшення же діаметру аспіраційного каналу за 200 мм не раціональне та приведе до збільшення енергетичних витрат на створення повітряного потоку.

4.1.4 Результати дослідження раціонального діаметра патрубку постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу

Відповідно до методики, а саме п. 3.3.4, було проведено серію експериментальних досліджень, у ході яких вкидалися насінин різної маси точно по центральній осі в місці постачання насіння у верхній частині вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора насіння.

За отриманими даними було виготовлено циліндричний патрубок із оцинкованої сталі товщиною 0,55 мм, висотою 100мм та діаметром 70мм.

Після чого було закріплено отриману мішень для відбору насіння до фракції I на відстані 20 см від нижнього кінця аспіраційного вертикального каналу сепаратора, тобто, циліндричний імітатор горловини фракції I із оцинкованої сталі було розміщено точно в місці майбутнього штатного розташування приймача продуктів поділу фракції насіннєвого матеріалу I – 10см.

Для фракції II було виготовлено циліндричний патрубок із оцинкованої сталі товщиною 0,55 мм, висотою 10 см із зовнішнім діаметром 200 мм.

Патрубок відбору насіння до фракції II було концентрично закріплено навкруги циліндру фракції I на тій же мішені для відбору насіння із деревини.

Змінюючи в ході випробувань із трикратною повторністю відстань постачання насіння, починаючи від центрального положення, через 5мм, було проведено сепарацію піддослідних насінин різної маси, які представляють фракцію насіння, що сепарується – від важких до легких.

Результати перерозподілу насінин, що сепарується по бункерах фракції I та II наведені у таблиці 4.4.

Прийнявши діаметр вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора 0,2 м, необхідно було визначити діаметр відбору важкого насіння до насіннєвої фракції II, для чого був проведений аналіз графіку (рис. 4.6).

Відповідно до методики для гарантованого виключення із насіннєвої фракції II легкого насіння, що має низькі насіннєві властивості, ми

виключаємо відбір насіння з масою менше 50г на 1000 шт.

Таблиця 4.4 – Середня відстань (радіус) рознесення 10 насінин різної питомої ваги при раціональній швидкості повітряного потоку всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора та корисній довжині аспіраційного каналу 0,8 м

Маса насінини, г	Відстань зміщення насіння, від центрального положення, мм
0,033	28
0,040	48
0,048	51
0,053	71
0,059	76
0,072	86
0,081	90
0,089	90
0,092	92
0,099	94

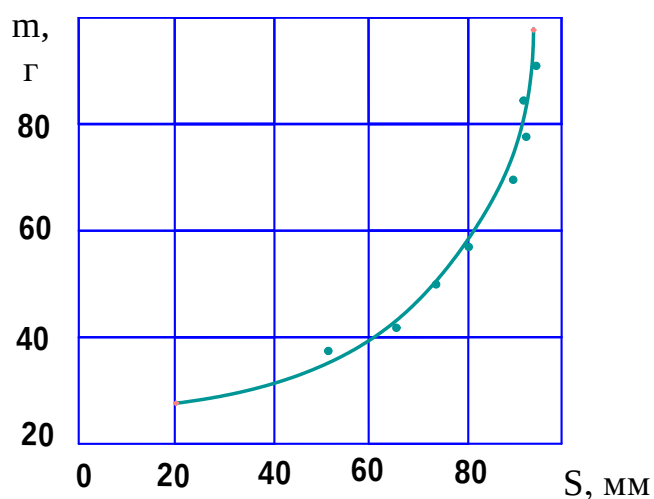


Рис. 4.6. Залежність відстані розсіювання вертикальної траєкторії від маси 1000 насінин соняшнику при: швидкості повітряного потоку 5,5 м/с, довжині аспіраційного каналу – 0,8м

$$0,0054x^2 + 0,0408x + 20,773$$

Як видно із графіку (рис. 4.6), радіус віднесення насіння (із масою 1000шт. – 50г) становить близько 34 мм, а отже, остаточно приймаємо діаметр відбору насіння для фракції I – 70мм, як найближчий із наявних стандартних діаметрів металевих повітропровідних труб.

Отже, виготовляємо імітатори фракції I діаметром 70мм та відповідно фракції II – 200мм. Відповідно до методики (п.3.3.4) були проведені дослідження перерозподілу насіння по фракціях I та II, за результатами чого було заповнено таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати перерозподілу насіння різної маси по бункерам фракцій I та II

Маса насінини, г	Відстань зміщення відносно центральної вісі вертикального каналу, мм						
	0	5	10	15	20	25	30
0,033	I	I	I	I	I	I	I
0,040	I	I	I	I	I	I	I/II
0,048	I	I	I	I	I	I	I/II
0,053	I	I	I	I	I	I/II	I/II
0,059	I	I	I	I	I	I/II	I/II
0,072	II	II	II	II	II	II	II
0,081	II	II	II	II	II	II	II
0,089	II	II	II	II	II	II	II
0,092	II	II	II	II	II	II	II
0,099	II	II	II	II	II	II	II

Так як діаметр основи подільника складає 40мм, то діаметр постачального патрубку не може бути більшим ніж 40мм, тому що частина насіння не буде попадати на подільник, тим самим значно погіршиться його поділ. Якщо ж ми оберемо діаметр постачального патрубку менший за 15мм то значно знизимо пропускну здатність насіння та зменшимо продуктивність сепаратора.

Як бачимо з таблиці 4.5 зі зміщення вкидання насіння більше ніж 20 мм легке насіння потрапляє до бункера цінної фракції. Отже можна зробити

висновок, що раціональна величина діаметра патрубку постачання насіння всередину вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора становить 30 - 40мм.

4.1.5 Результати дослідження впливу геометричного положення насіння в просторі на загальну якість поділу насіння за масою при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратору

Для визначення впливу попереднього геометричного положення насіння в просторі на величину розсіювання їх радіусу рознесення при проходженні вертикального аспіраційного каналу, проведено серію експериментальних досліджень.

У ході випробувань насіння спочатку було орієнтоване відразу в правильному положенні, тобто своєю довгою віссю вертикально, причому насінина має знаходитися в положенні найменшого аеродинамічного опору по відношенню до повітряного потоку, що підіймається знизу – вгору вертикальним аспіраційним каналом сепаратора. Після цього випробування проводилися із попереднім орієнтуванням насінини на кут 90° та 180° по відношенню до вертикального положення аеродинамічного опору та повітряного потоку.

У результаті обробки даних, були отримані графіки залежності відстані розсіювання вертикальної траєкторії від маси 1000 шт. насіння соняшника, наведені на рис. 4.7.

Аналізуючи отримані графіки встановлено, що значного впливу на загальну якість поділу насіння соняшника в процесі сепарування за рахунок їх попередньої орієнтації при випаданні із патрубка постачання насіння не відбувається.

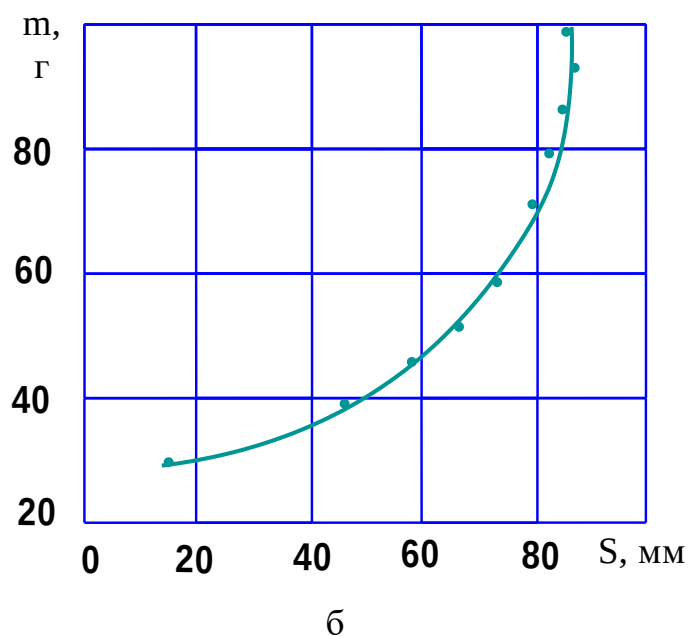
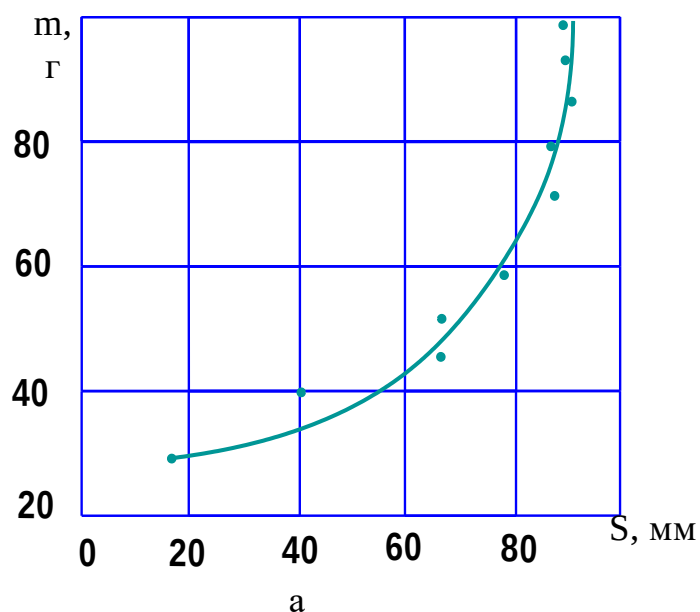


Рис. 4.7. Залежність відстані розсіювання вертикальної траєкторії від маси 1000 шт. насіння соняшнику при попередньому орієнтуванні насіння на кут 90° (а) та 180° (б) відносно положення їх найменшого опору при швидкості потоку 5,5 м/с та довжині аспіраційного каналу 0,8 м у $y = 0,013x^2 - 0,664x + 35,761$

4.1.6 Результати дослідження раціонального діаметра подільника для відбору важкого насіння

Відповідно до методики (п. 3.3.6), у ході експериментальних

досліджень було визначено залежність середньої маси 1000 насінин, що отримуються в ході сепарації у бункері фракції I, від діаметра приймача продуктів поділу цієї фракції при раціональній довжині вертикального каналу. За результатами експериментальних досліджень (таблиця 4.6), побудовані графіки залежності середньої маси насіння по фракціям від діаметра бункеру при швидкості повітряного потоку 5,5 м/с, довжині аспіраційного каналу 0,8 м та діаметрі патрубку постачання 40 мм (рис. 4.8, 4.9)

Таблиця 4.6 – Середня маса насіння в бункерах фракції I та II
в залежності від діаметра бункеру фракції I

Вага 1000 насінин у бункерах фракцій	Діаметр бункеру I фракції, мм				
	30	40	50	60	70
№ I	38,2	42,5	44,5	45,6	58,3
№ II	65,3	70,5	82,1	85,3	94,6

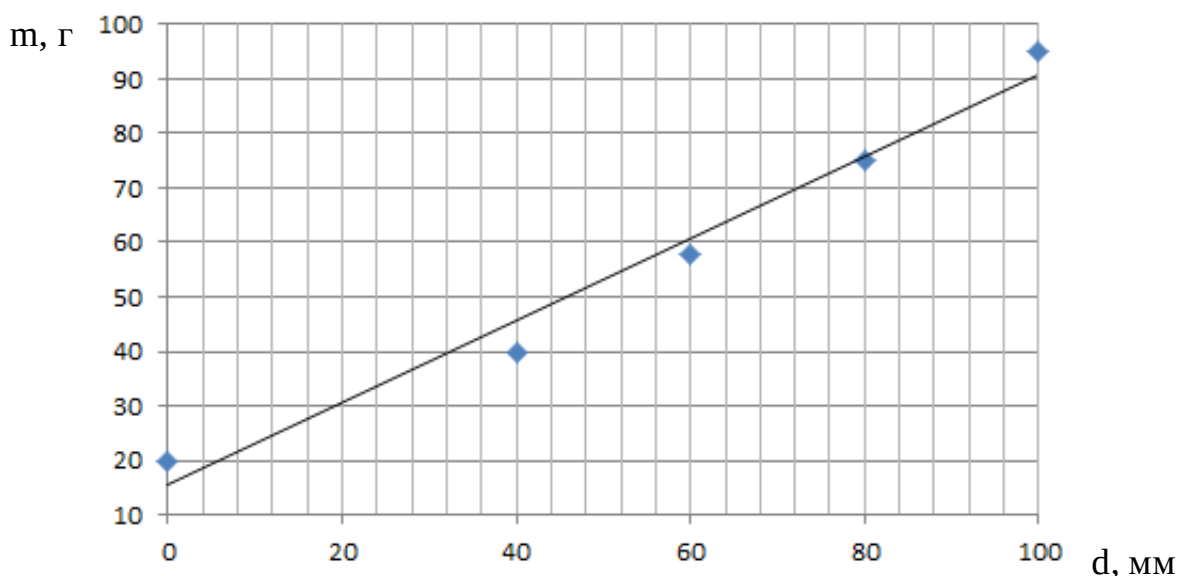


Рис. 4.8. Залежність середньої маси насіння 1000 шт., що отримується у фракції II залежно від діаметра приймача продуктів поділу фракції I $y = 0,752x + 15,486$

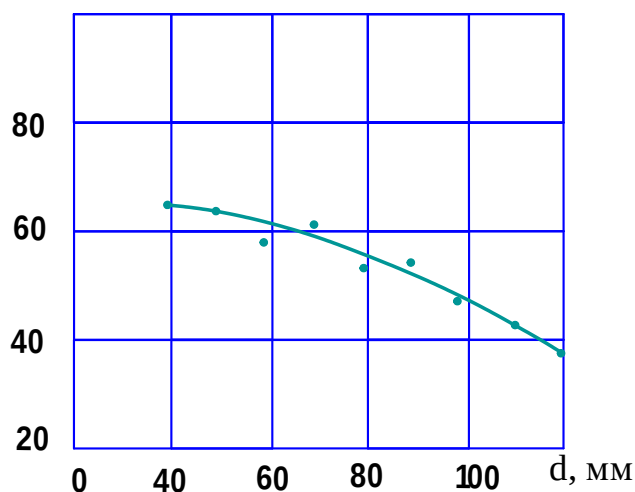


Рис. 4.9. Залежність середньої маси насіння 1000шт., що отримується у фракції I залежно від діаметра приймача продуктів поділу фракції I $y = -0,002x^2 + 0,171x + 61,285$

Аналізуючи отримані дані, встановлено, що зі збільшенням діаметра розподільника фракції I якість посівної фракції збільшується. Якщо діаметр бункеру I фракції буде меншим за 50 мм, то некондиційне насіння може потрапляти у бункер цінної фракції II, а якщо більше 60 мм, то якісне насіння буде потрапляти до бункеру фракції I. Раціональний діаметр повинен знаходитися у межах 50-60 мм.

4.1.7 Результати дослідження раціональної продуктивності запропонованого сепаратора

Експериментальні дослідження раціональної продуктивності сепаратора проводилися відповідно до методики (п. 3.3.7) наступним чином.

У ході експериментальних досліджень продуктивність постачання насіння змінювалась від 10 кг/год. до максимально можливої, що здатний пропустити патрубок постачання насіння, а саме, 100 - 120кг/г.

Масу 1000 насінин було визначено шляхом зважування після кожного з сепарувань по 200 шт. насінин з трикратною повторністю.

Регулювання продуктивності проводилося заслінкою шляхом зміни

діаметра отвору випадання насіння у нижній частині бункера, а продуктивність поміж дослідями вимірювалася шляхом фіксації часу сепарування насіння масою 10 кг.

За даними, що були отримані в ході експериментальних досліджень, побудовано графіки залежності середньої маси насіння, яке потрапляє у фракції II, в залежності від продуктивності, наведені на рисунку 4.10.

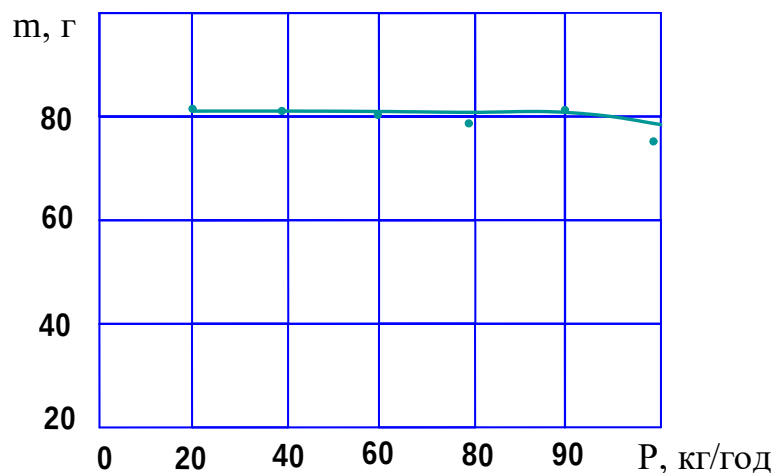


Рис. 4.10. Залежність середньої маси насіння 1000шт. , що отримується у фракції I залежно від продуктивності

$$y = -0,0003x^2 + 0,0176x + 80,326$$

При аналізі отриманих даних (рис. 4.10) встановлено, що раціональною є продуктивність сепаратора 90 кг/год., оскільки в результаті в бункері насінневої фракції I отримується маса 1000 насінин у межах агрономічних вимог, що для сортів соняшнику популяцій становить 80 -100 г.

4.2 Дослідження руху насіння методами числових експериментів

Визначення необхідної повторності експериментальних дослідів

Для визначення необхідної повторності дослідів проведемо розрахунок, користуючись критерієм Стюдента у такій послідовності.

1. У зв'язку зі складністю вимірювань попередньо приймаємо серію дослідів з повторністю $n=20$.

2. Вирахуємо середньоквадратичне відхилення, скориставшись відомою формулою.

$$\delta = \sqrt{\sum \frac{(x_i - x_{\text{ср}})^2}{n-1}} = 0,0408 \quad (4.3)$$

3. Розрахуємо середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення, використавши загальновідому формулу.

$$\delta_0 = \frac{\delta}{\sqrt{n}} = 0,0091 \quad (4.4)$$

4. Точність вимірювань

$$\Delta = \frac{\delta_0}{x_{\text{ср}}} \cdot 100\% = 1,04\% \quad (4.5)$$

5. Встановлюємо нормоване відхилення t (гарантійний коефіцієнт) $t=2,16$ при $\alpha=0,95$.

6. Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\delta}{x_{\text{ср}}} = 0,0467 \quad (4.6)$$

7. Знаходимо через $\alpha_{\text{ст}}$ – коефіцієнт Стюдента величину $\alpha_{\text{ст}}$ та значення X_d

$$\mu_{\text{ст}} = \alpha_{\text{ст}} \delta_0 = 0,008645 \quad (4.7)$$

$$x_d = x_{\text{ср}} \pm \mu_{\text{ст}} = 0,008645 \quad (4.8)$$

8. Знаходимо мінімальну повторність дослідів, що забезпечує задану точність.

$$N_{min} = \frac{v^2 t^2}{m^2} \approx 4 \quad (4.9)$$

Спосіб введення насіння в кільцевий повітряний канал і параметри руху насіння: напрямок початкової швидкості зернівки і величина швидкості її входження в повітряний потік, як можна бачити з графіків траєкторій (Додаток А) частинок з різною швидкістю витання суттєво впливають на умови сепарації. Крім того на величину відхилення траєкторії від осьової лінії каналу впливає і швидкість повітряного потоку.

Тому з метою визначення впливу вищевказаних параметрів на закономірність процесів сепарації (величини відхилення і розходження траєкторії) проведено силові експерименти на імітаційній математичній моделі, яка відтворює траєкторії руху зернин з різними аеродинамічними властивостями. У якості математичної моделі використовували систему диференціальних рівнянь (2.6) при початкових умовах: $x(0) = 0; y(0) = 0; \frac{dx(0)}{d\tau} = v_0 \cos \alpha_0; \frac{dy(0)}{d\tau} = v_0 \sin \alpha_0$.

Для встановлення раціональних співвідношень режимних і конструктивних параметрів пневмо-гравітаційного сепаратора, які забезпечують задану якість поділу насіння використано методику математичного планування експерименту [48, 49], задачею якого є одержання статистичної математичної моделі, яка адекватно визначає і дозволяє кількісно оцінити процес що досліджується.

Попередні аналітичні (дані натурних експериментів) дослідження дають змогу визначити вплив окремих факторів та встановити рівні їх вимірювання. До факторів, що мають значний вплив на процес сепарації віднесли: початкову швидкість вводу насіння в повітряний потік v_0 , кут нахилу початкового вектору швидкості α_0 і швидкість повітря в каналі v_v .

Параметричні обмеження, які являють собою рівні варіювання факторів (табл. 2.1) визначалися з факторного простору.

Для визначення взаємозв'язків вибраними факторами і відгуками (критеріями ефективності) використано трьохрівневий план другого порядку,

який містить всього 13 точок (табл. 4.10) та побудована Матриця планування трьохфакторного експерименту (табл. 4.11).

Враховуючи наявність неповної інформації про об'єкт моделювання і нелінійність аналітичної залежності для опису задачі, функції, відгуку описано рівнянням регресії другого порядку у вигляді:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} x_i x_j \quad (4.10)$$

де y – розраховане значення відгуку;

b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти регресії;

x_i, x_j – значення факторів;

k – кількість факторів.

Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії та оцінка їх адекватності виконана за методикою [49, 50].

Отримані результати дослідів оброблено на ПК з використанням прикладного пакету “Statistica 6.0”.

При побудові моделі (визначення відгуків) вважаємо, що повне розділення компонентів у суміші має місце за умови:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \geq 0, \quad (4.11)$$

де Δx – поділяюча здатність циліндричного каналу, якою є різниця між координатою мінімальної відстані x_2 виведення зернин з каналу та відповідно максимальна координата (відстань) виходу насінини “важкої” (основної) фракції у систему координат ХОУ.

Таблиця 4.10 - Рівні вимірювання факторів, що мають вплив на процес поділу насіння соняшника

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання		
				верхній	нульовий	нижній
Швидкість сходу насіння (м/с)	v_0	x_1	0,2	0,8	0,6	0,4

Кут введення насіння (град)	α	x_2	20	80	60	40
Швидкість повітря (м/с)	v_v	x_3	0,5	5,5	5	4,5

При моделюванні руху насіння у повітряному циліндричному каналі, з кільцевим перетином, дотримувались такого обмеження: траєкторія руху зернини (“легкої”) не повинна перетинати поверхню (уявну) зовнішньої стінки каналу, тобто повинна виконуватись умова $x_{2(max)} \leq R_k$, де R_k – радіус утворюючої зовнішньої поверхні каналу.

За результатами числових експериментів, скоригована даними натурних експериментів щодо визначення відхилення траєкторій падіння (руху) поодиноких насінин у вертикальному повітряному потоці отримаємо регресійну математичну модель, яка визначає залежність величин відхилення і різниці відхилень траєкторій для зерен з різними аеродинамічними властивостями.

Максимальне відхилення траєкторії руху легкої зернини в місті вивантаження ($h=0,8\text{м}$) залежно від швидкості повітря v_v (м/с), швидкості насінини при сході з розподільника V_0 (м/с) і кута її напрямку α (град) описується рівнянням:

$$y_1(v_0, \alpha, v_v) = -0,104 + 0,5v_0 + 0,016v_v + 0,002\alpha - 0,042v_0^2 + 0,014v_0\alpha - 0,000025\alpha - 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha^2 \quad (4.12)$$

Таблиця 4.11 - Матриця планування трьохфакторного експерименту

№	$x_1(V_0)$	$x_2(V_v)$	$x_3(\alpha)$	$y_1(x)$	$y_2(\Delta x)$
1	0,8	5,5	40	0,132	0,035
2	0,8	4,5	40	0,119	0,014
3	0,6	5,5	40	0,048	0,011
4	0,6	4,5	40	0,043	0,004
5	0,8	5,0	80	0,043	0,007
6	0,8	5,0	60	0,198	0,034

7	0,6	5,0	80	0,016	0,002
8	0,6	5,0	60	0,070	0,010
9	0,4	5,5	80	0,032	0,008
10	0,4	5,5	60	0,144	0,035
11	0,4	4,5	80	0,028	0,004
12	0,4	4,5	60	0,13	0,013
13	0,4	5,0	40	0,087	0,015

Залежність величини розходження (розщеплення) траєкторій у місці виходу насіння з сепаратора від впливових факторів (v_0, Q, u) описується рівнянням:

$$y_2(v_0, \alpha, v_v) = -0,0855 - 0,1v_0 + 0,003\alpha + 0,042v_v v_0 - 0,001v_0\alpha + 0,003v_v^2 - 4 \cdot 10^{-4} \cdot v_v\alpha - 5,21 \cdot 10^{-6} \alpha^2 \quad (4.13)$$

На основі отриманих рівнянь побудовані поверхні відгуків максимального відхилення траєкторії руху “легкої” зернини (та величини розщеплення траєкторій), від початкової швидкості частки v_0 , кута її напрямку α і швидкості повітря v_v .

Аналізом отриманих залежностей визначено, що максимальна розділяюча здатність 0,018м забезпечується при таких параметрах сепаратора: швидкість повітря 5,0 м/с, швидкість руху зерна на вході в повітряний канал $v_0=0,8$ м/с, кут нахилу вектора початкової швидкості зерна $\alpha=40^\circ$.

Аналізуючи графічні залежності швидкості сходу зернини із розподілюючого конуса від кута нахилу твірної і її довжини приходимо до висновку, що при куті $\alpha=40^\circ$ отримати швидкість сходу 0,4м/с не можливо.

Тому форму розподільника запропоновано використовувати у вигляді поверхні обертання твірної у формі кривої (дуги кола).

Як було показано в п. 2.1, виходячи з запропонованої методики, рекомендуються наступні параметри розподільника: $r=0,05$ м, $h=0,04$ м, $x=0,021$ м, що забезпечить величину роходження $\Delta x=0,018$

Перевірка адекватності отриманої моделі

Помилка, з якою математична модель описує досліджені дані,

характеризується розсіюванням досліджених значень Y навколо лінії регресії, тобто навколо обчислених за допомогою рівняння регресії значень $\hat{y}_i$. Це розсіювання визначається дисперсією адекватності:

$$S_{\text{адек}}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2, \quad (4.14)$$

l – кількість значимих коефіцієнтів у моделі;

$\hat{y}_i$ - теоретичні данні;

$\bar{y}_i$ - експериментальні данні;

m – кількість повторностей дослідів.

Адекватність моделі перевіряється за допомогою критерію Фішера шляхом перевірки: $H_0: \sigma_{\text{адек}}^2 = \sigma_{\text{від}}^2$

Значення критерію Фішера - Снедекора, що спостерігається розраховується за формулою: $F_{\text{сп}} = \frac{S_{\text{адек}}^2}{S_{\text{від}}^2}$

У нашому випадку $F_{\text{сп}}(y_1) = 3,84, F_{\text{сп}}(y_2) = 2,89$

По таблиці критичних точок розподілу Фішера, знаходимо $F_{\text{кр}} = (\alpha; l_1 = N - l; l_2 = N(m - 1)) = F_{\text{кр}}(0,05; 5; 39) = 4,46$

$$F_{\text{кр}}(\alpha; l_1 = N - l; l_2 = N(m - 1)). \quad (4.15)$$

де N – кількість дослідів;

l – значущих коефіцієнтів в моделі;

m – кількість повторностей дослідів

Так як $F_{\text{сп}}(y_1) < F_{\text{кр}}$, та $F_{\text{сп}}(y_2) < F_{\text{кр}}$, то немає підстав відкинути H_0 (4.12), (4.13), моделі адекватні експериментальним даним при рівні значущості $\alpha=0,05$.

4.4. Висновки по розділу

1. Рациональною продуктивність сепаратора становить 90 кг/год,

оскільки в результаті в бункері насінневої фракції I отримується маса 1000 насінин в межах агрономічних вимог для сортів соняшника популяцій.

2. Шляхом експериментів встановлено, що значного впливу зміни орієнтації насіння при випаданні з постачального патрубку на загальну якість поділу в процесі сепарування насіння не відбувається.

3. Аналізом отриманих залежностей визначено, що за умови обмеження радіуса розподільника $R \leq 0,1$ м, максимальна розділяюча здатність 0,018 м забезпечується при таких параметрах сепаратора: швидкість повітря 5,5 м/с; швидкість руху зерна на вході в повітряний канал $v_0 = 0,7-0,8$ м/с, кут нахилу вектора початкової швидкості зерна $\alpha = 40-45^\circ$.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ СОНЯШНИКА З ВЕРТИКАЛЬНИМ АСПІРАЦІЙНИМ КАНАЛОМ

5.1 Енергетична оцінка ефективності використання запропонованого сепаратора насіння

5.1.1 Розрахунок витрат енергії на виготовлення одного сепаратора насіння запропонованого типу

Енергетична оцінка ефективності є універсальною методикою, що дозволяє обґрунтувати доцільність використання нових розроблених екземплярів техніки.

Нами використана методика, запропонована Російським державним стандартом ГОСТ Р51750-2001 "Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах", що діє з 2002г.

Визначимо в першу чергу кількість енергії, що міститься в матеріалах, які йдуть на виготовлення запропонованого сепаратора насіння з вертикальним аспіраційним каналом, загальний вигляд якого наведений у розділі 3.2.

Сепаратор має продуктивність 90 кг/год., як встановлено у п. 4.3.7.

Необхідні матеріали для виготовлення рами сепаратора:

– кутник 40x40x3 $L = 2 \cdot 1,0\text{м} + 12 \cdot 1,0\text{м} + 12 \cdot 0,5\text{м} = 20,0\text{м}$;

– кутник 63x63x5 $L = 2 \cdot 0,5\text{м} + 2 \cdot 1,0\text{м} = 3,0\text{ м}$.

Необхідні матеріали для виготовлення і закріплення вертикального

аспіраційного каналу сепаратора:

- скоба роз'ємна 2шт, довжиною $L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 = 0,628$ м;
- труба пластикова діаметром 200мм; $L = 1,0$ м;
- патрубки пластикові для введення насіння в верхню зону вертикального аспіраційного каналу, діаметр 40 мм, $L = 0,8$ м;
- кругла заслінка для регулювання продуктивності осьового вентилятора, діаметром 300мм.

Необхідні матеріали для виготовлення поділювача продукції фракцій поділу:

- кут 90° діаметром 200 мм із оцинкованої сталі для відбору насіння у фракцію I;
- кут 90° діаметром 80 мм із оцинкованої сталі, для відбору насіння у фракцію II.

Необхідні матеріали для виготовлення бункеру установки:

- лист оцинкованої сталі товщиною 0.7мм розмірами 1,5х1,5 м;
- заслінка, виготовлена з сталі ст.3, розмірами 200х100 мм.

Необхідні додаткові готові вузли та пристрої для виготовлення установки:

- вентилятор ВКОМ-315;
- редуктор із двигуном змінного струму $U = 220$ В;
- автомат на $I_{ном} = 10$ А;
- тумблер ТВ-1.

Визначимо кількість електродів АНО-4 $\varnothing$ 4мм, необхідних для виготовлення похилого повітряно-сітчастого робочого органу сепаратора. Довжина зварюваних швів, виконаних електродом $\varnothing$ 4мм:

$$L_{зв}^{\varnothing 4} = 32 \cdot 0,05\text{м} + 2 \cdot 0,1\text{м} = 1,8\text{м}. \quad (5.1)$$

Кількість металу для утворення зварювального шву $\varnothing$ 4мм:

$$g_n^{\varnothing 4} = L_{зв} \cdot F^{\varnothing 4} \cdot \rho, \quad (5.2)$$

де $L_{зв}^{\varnothing 4}$ – довжина зварюваних швів установки (5.1), м;

$F^{\varnothing 4}$ – площа попеченого перерізу зварюваного шву, $F = 5,2 \text{ мм}^2$;

ρ – питома маса електродного металу, $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$.

Після підставлення у (5.1) чисельних даних, отримуємо $g_n^{\varnothing 4}$:

$$g_n^{\varnothing 4} = 1,8 \cdot 100 \cdot 0,52 \cdot 7,8 = 0,73 \text{ кг}. \quad (5.3)$$

З урахуванням втрат металу на розбризкування та випаровування:

$$g_d^{\varnothing 4} = 1,3 \cdot 0,73 = 0,948 \text{ кг}. \quad (5.4)$$

Кількість електродів для зварювання:

$$N_e^{\varnothing 4} = 948 / (7,8 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2 \cdot 45) = 22 \text{ шт.}$$

Вартість електродів АНО-21 $\varnothing 4$ складатиме:

$$C_{ел}^{\varnothing 4} = 0,948 \cdot 20 = 18,96 \text{ грн.}$$

(5.5)

Розрахуємо додаткову кількість електродів АНО-4 $\varnothing 3 \text{ мм}$, необхідних для виготовлення запропонованого сепаратора насіння із вертикальним аспіраційним каналом.

Довжина зварюваних швів, що виконуються електродами $\varnothing 3 \text{ мм}$:

$$L_{зв}^{\varnothing 3} = 2 \cdot 0,1 \text{ м} + 4 \cdot 0,05 \text{ м} + 4 \cdot 0,25 \text{ м} = 1,4 \text{ м}. \quad (5.6)$$

Кількість металу для утворення зварюваного шву $\varnothing 3 \text{ мм}$:

$$g_n^{\varnothing 3} = L_{зв}^{\varnothing 3} \cdot F^{\varnothing 3} \cdot \rho, \quad (5.7)$$

де $L_{зв}^{\varnothing 3}$ – довжина додаткових зварюваних швів (5.6), м;

$F^{\varnothing 3}$ – площа попеченого перерізу зварюваного шву
для електроду $\varnothing 3$ мм, $F = 4,8 \text{ мм}^2$;

ρ – питома маса електродного металу, $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$.

$$g_n^{\varnothing 3} = 1,4 \cdot 100 \cdot 0,48 \cdot 7,8 = 0,524 \text{ кг} \quad (5.8)$$

З урахуванням втрат металу на розбризкування та випаровування:

$$g_d^{\varnothing 3} = 1,3 \cdot 0,524 = 0,681 \text{ кг.} \quad (5.9)$$

Кількість електродів $\varnothing 3$ для зварювання:

$$N_e^{\varnothing 3} = 681 / (7,8 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 40) = 31 \text{ шт.}$$

Вартість електродів АНО-4 $\varnothing 3$ мм складатиме:

$$C_{\text{ел}}^{\varnothing 3} = 0,681 \cdot 20 = 13,62 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Загальна вартість електродів АНО-4 $\varnothing 4$ мм та $\varnothing 3$ мм, що йдуть на виготовлення сепаратора із вертикальним аспіраційним каналом становить:

$$C_{\text{ел}\xi} = C_{\text{ел}}^{\varnothing 4} + C_{\text{ел}}^{\varnothing 3} = 18,96 + 13,62 = 32,58 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

де $C_{\text{ел}}^{\varnothing 4}$ – вартість електродів $\varnothing 4$ мм, необхідних для виготовлення несучої частини сепаратора (5.5), грн.;

$C_{\text{ел}}^{\varnothing 3}$ – вартість електродів АНО-4 $\varnothing 3$ мм, необхідних для виготовлення сепаратора (5.10), грн..

Розрахуємо витрати часу на виготовлення сепаратору із вертикальним аспіраційним каналом згідно з конструкцією, наведеною на рисунку 3.1, з урахуванням відповідного розряду роботи:

– нарізка кутника рами верхньої частини сепаратора – 0,5 люд.-год.
(2 розряд);

- нарізка кутника рами нижньої частини сепаратора – 1,0 люд.-год.
 - (2 розряд);
 - зварювання несучої рами верхньої та нижньої частин сепаратора – 2 люд.-год. (3 розряд);
 - свердління отворів кріплення та підготовка до монтування вузлів сепаратора – 1.5 люд.-год. (2 розряд);
 - монтування вузлів сепаратора – 1,5 люд.-год. (2 розряд);
 - виготовлення вертикального аспіраційного каналу, вузлів його живлення та закріплення, монтування його на сепаратор – 10 люд.-год. (3 розряд);
 - виготовлення поділювачів продуктів поділу – 6 люд.-год. (2 розряд);
 - технологічне налаштування сепаратора – 0,8 люд.-год. (2 розряд).
- Знаходимо енергетичну вартість (тобто вміст енергії в матеріалах сепаратора) матеріалів сепаратора через масу:
- кутник 40x40x3; $m_{\text{кут.40}} = 20,0 \text{ м} \cdot 2,32 \text{ кг/м} = 46,4 \text{ кг};$
 - кутник 63x63x5; $m_{\text{кут.63}} = 3,0 \text{ м} \cdot 3,9 \text{ кг/м} = 11,7 \text{ кг};$
 - скоба роз'ємна (2шт); $m_{\text{скоб}} = 2 \cdot 62,8 \text{ см} \cdot 5 \text{ см} \cdot 0,2 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 = 0,979 \text{ кг};$
 - труба пластикова Ø200мм, перерахована в еквіваленті її виготовлення зі сталі: $m_{\text{тр.Ø200}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \text{ см} \cdot 100 \text{ см} \cdot 0,2 \text{ см} \cdot 2,5 \text{ г/см}^3 = 3,1 \text{ кг};$
 - патрубки пластикові для введення насіння в верхню зону вертикального аспіраційного каналу Ø 40мм, перерахована в еквіваленті його виготовлення зі сталі: $m_{\text{тр.Ø40}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \text{ см} \cdot 80 \text{ см} \cdot 0,2 \text{ см} \cdot 2,5 \text{ г/см}^3 = 0,502 \text{ кг};$
 - кругла заслінка для регулювання продуктивності осьового вентилятора Ø 300мм: $m_{\text{кон.Ø300}} = 3,14 \cdot 15 \text{ см} \cdot 15 \text{ см} \cdot 0,2 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 = 1,102 \text{ кг};$
 - кут 90° діаметром 200мм із оцинкованої сталі для відбору насіння у фракцію I: $m_{\text{фр.1}} = 2 \text{ кг};$
 - кут 90° діаметром 80мм із оцинкованої сталі, для відбору насіння у фракцію II: $m_{\text{фр.2}} = 0,8 \text{ кг};$
 - лист оцинкованої сталі товщиною 0,7мм, розмірами 0,15x0,15 м: $m_{\text{л}} = 150 \text{ см} \cdot 150 \text{ см} \cdot 0,07 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 = 12,285 \text{ кг};$

– заслінка, виготовлена із ст. 3 розмірами 200x100 мм:

$$m_3 = 20\text{см} \cdot 10\text{см} \cdot 0,2\text{см} \cdot 7,8\text{г/см}^3 = 0,312 \text{ кг};$$

– вентилятор ВКОМ-315, $m_v = 5 \text{ кг}$;

– редуктор із двигуном змінного струму на 220В, $m_{\text{двигуна}} = 2,5 \text{ кг}$;

– автомат на $I_{\text{ном}} = 10\text{А}$; $m_{\text{ав}} = 0,2 \text{ кг}$;

– тумблер ТВ-1, $m_{\text{тумбл.}} = 0,025 \text{ кг}$.

Визначимо загальну масу матеріалів установки, включаючи масу наварених на неї у процесі виготовлення електродів Ø3мм та Ø4 мм:

$$m_{\text{ус}\xi} = m_{\text{кут.40}} + m_{\text{кут.63}} + m_{\text{скоб}} + m_{\text{тр.}\varnothing 200} + m_{\text{тр.}\varnothing 40} + m_{\text{кон.}\varnothing 300} + m_{\text{фр.1}} + m_{\text{фр.2}} + \\ + m_{\text{л}} + m_3 + m_v + m_{\text{двигуна}} + m_{\text{ав.}} + m_{\text{тумбл.}} = 88,534\text{кг}. \quad (5.12)$$

Визначаємо загальну кількість енергії, що містять матеріали установки, включаючи масу наварених на неї у процесі виготовлення електродів Ø3мм та Ø4мм:

$$E_{\text{мат.ус.}} = m_{\text{ус}\xi} \cdot E_{\text{1кг.ст.}}, \quad (5.13)$$

де $m_{\text{ус}\xi}$ – загальна маса матеріалів установки та електродів (5,12), кг;

$E_{\text{1кг.ст.}}$ – вміст енергії у сталі, відповідно до ГОСТ Р 51750-2001 становить 45,5 МДж/кг.

$$E_{\text{мат}} = 88,534 \cdot 45,5 = 4028,297 \text{ МДж}.$$

Розраховуємо кількість енергії, що витрачається робітниками для виготовлення установки:

$$E_{\text{виг.1}} = T_{\text{виг.}\xi} \cdot E_{\text{1люд.-г.}}, \quad (5.14)$$

де $T_{\text{виг.}\xi}$ – загальний час, що витрачається робітниками на виготовлення однієї установки, год.

$$T_{\text{виг.}\xi} = 0,5 + 1,0 + 2,0 + 1,5 + 1,5 + 10 + 6 + 0,8 = 23,3 \text{ год}.$$

$E_{\text{1люд.-г.}}$ – вміст енергії у одній людино-годині, відповідно до ГОСТ Р51750-2001 становить 1,26 МДж / люд.

$$E_{\text{виг.установки.1}} = 23,3 \cdot 1,26 = 29,358 \text{ МДж}.$$

Розрахуємо кількість енергії, що витрачається на привід металообробних верстатів, інструменту та зварювальні роботи з виготовлення установки:

$$E_{\text{виг.2}} = T_{\text{виг.}} \cdot \xi \cdot P_{\text{сер.}} \cdot E_{1\text{кВт.-г.}}, \quad (5.15)$$

де $P_{\text{сер.}}$ – середня потужність металообробних верстатів;
приймаємо 2 кВт;

$E_{1\text{кВт.-г.}}$ – вміст енергії у одній кіловат-годині електричної енергії,
відповідно до ГОСТ Р 51750-2001 становить 8,7 МДж/кВт.

Отже: $E_{\text{виг. 2}} = 23,3 \cdot 2 \cdot 8,7 = 405,42 \text{ МДж.}$

Визначаємо загальну кількість енергії, що міститься в матеріалах установки, йде на привід станків та витрачається працівниками при її виготовленні:

$$E_{\text{виг. } \xi} = E_{\text{мат.}} + E_{\text{виг.1}} + E_{\text{виг. 2}}, \quad (5.16)$$

де $E_{\text{мат}}$ – загальна кількість енергії, що містять матеріали установки, включаючи масу наварених на неї у процесі виготовлення електродів Ø3мм та Ø4мм, МДж (5.13);

$E_{\text{виг.1}}$ – кількість енергії, що витрачається робітниками для виготовлення установки, МДж (5.14);

$E_{\text{виг.2}}$ – кількість енергії, що витрачається на привід металообробних верстатів, інструменту та зварювальні роботи з виготовлення установки, МДж (5.15).

$$E_{\text{виг.}\xi} = 4028,29 + 29,35 + 405,42 = 4463,1 \text{ МДж.}$$

5.1.2 Розрахунок витрат енергії на підготовку насіння

запропонованим сепаратором для сівби 1га поля

З літературних джерел відомо, що використання для сівби якісного, важкого насіння, отриманого в процесі сепарування, дозволяє збільшити врожайність соняшнику до 1,5-2,0 ц з гектара [98].

Спершу розраховується витрата енергії, яка витрачається на підготовку насіння соняшнику сортів популяції для сівби на площі 1 га, з нормою висіву 5-8 кг/га.

Припустимо, що вміст якісного насіння у сепарованій фракції становить 85 %, тоді загальна маса насіння, яку необхідно відсепарувати для отримання насіннєвого матеріалу для сівби 1 га поля становить:

$$m_{1.га} = 8/0,85 = 9,5 \text{ кг.} \quad (5.17)$$

Визначимо кількість енергії, що витрачається на привід сепаратора, який за час роботи здатен відсепарувати 90 кг насіння соняшнику:

$$t_{1.га} = m_{1.га} / Q_{\text{год.сеп}}, \quad (5.18)$$

де $m_{1.га}$ – загальна маса насіння, яку необхідно відсепарувати для отримання насіннєвого матеріалу для сівби 1 га поля, $m_{1.га} = 9,5 \text{ кг}$, (5.17).

$Q_{\text{год.сеп}}$ – мінімальна годинна продуктивність розробленого сепаратора, кг/год., (п. 4.3.7).

Отже, вирахуємо витрати часу на сепарування фракції насіння, для отримання насіннєвого матеріалу для сівби 1га поля:

$$t_{1.га} = 9,5 / 90 = 0,10 \text{ год.} \quad (5.19)$$

Вирахуємо витрати енергії для підготовки насіння для сівби 1га поля, склавши витрати енергії на привід сепаратора із енергією, що витрачається обслуговуючим персоналом сепаратора:

$$E_{1.га} = E_{\text{приводу.1.га}} + E_{\text{обслуг.1.га}}, \quad (5.20)$$

де $E_{\text{приводу.1.га}}$ – загальна енергія, що витрачається на привід сепаратора для підготовки насіння для сівби 1га, МДж;

$E_{\text{обслуг.1.га}}$ – загальна енергія, що витрачається на обслуговування сепаратора для підготовки насіння для сівби 1га, МДж.

Визначимо загальну енергію, що витрачається на привід сепаратора для підготовки насіння для сівби 1га:

$$E_{\text{приводу.1.га}} = P_{\text{вент}} \cdot t_{1.га} \cdot E_{1\text{кВт-г}}, \quad (5.21)$$

де $P_{\text{вент}}$ – потужність вентилятора сепаратора, 0,12 кВт;

$t_{1.га}$ – витрати часу на сепарування розглядаємої фракції насіння, для отримання насіннєвого матеріалу для сівби 1га поля (5.19), год.;

$E_{1\text{кВт-г}}$ – загальна енергія, що міститься у 1 кВт - год. електричної енергії, відповідно до ГОСТ Р 51750-2001 становить 8,7 МДж/кВт-год.

Проведемо розрахунки:

$$E_{\text{приводу.1.га}} = 0,12 \cdot 0,10 \cdot 8,7 = 0,1044 \text{ МДж} \quad (5.22)$$

Визначимо загальну енергію, що витрачається на обслуговування сепаратора працівником, що забезпечує його роботу:

$$E_{\text{обслуг.1.га}} = t_{1.га} \cdot E_{1\text{чол.-г}}, \quad (5.23)$$

де $t_{1.га}$ – витрати часу на сепарування фракції насіння для отримання насіннєвого матеріалу для сівби 1га поля (5.19), год.;

$E_{1\text{чол.-г.}}$ – загальна енергія, що витрачається людиною за 1 годину роботи за нормальних умов роботи відповідно до ГОСТ Р51750-2001 становить 1,26 МДж/люд.-год.

$$E_{\text{обслуг.1.га}} = 0,10 \cdot 1,26 = 0,1315 \text{ МДж.} \quad (5.24)$$

Вирахуємо витрати енергії для підготовки насіння для сівби 1га поля, склавши витрати енергії на привід сепаратора із енергією, що витрачається обслуговуючим персоналом сепаратора:

$$E_{1.га} = 0,1044 + 0,1315 = 0,2359 \text{ МДж.} \quad (5.25)$$

Провівши дослідження на підприємстві ми отримали збільшення врожайності на 3-5 ц/га (додаток Г, Д). Тепер визначимо енергетичну цінність отриманої в результаті сепарації та висіву важкого насіння прибавки у насіння соняшнику, скориставшись даними ГОСТ Р51750-2001:

$$E_{1.га.т} = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ МДж,} \quad (5.26)$$

де 5МДж/кг – енергетична вартість 1 кг насіння соняшнику, згідно з ГОСТ Р51750-2001.

Визначимо приріст енергії в чистому вигляді при підготовці насіннєвого матеріалу соняшника сортів популяції на розробленому сепараторі, на 1га засіяного поля:

$$E_{1.га.чистий} = E_{1.га.т} - E_{1.га} = 1000 - 0,2359 = 999,76 \text{ МДж,} \quad (5.27)$$

де $E_{1.га.т}$, $E_{1.га}$ – відповідні енергії (5.26), (5.25), МДж.

Визначимо вартість еквіваленту в дизельному пальному, що містить таку саму енергію, що й отримане нами додаткове насіння за рахунок збільшення врожайності шляхом сепарування:

$$m_{диз.} = E_{1.га.чистий} / E_{1.кг.диз.пального}, \quad (5.28)$$

де $E_{1.га.чистий}$ – приріст енергії в чистому вигляді, при підготовці насіннєвого матеріалу соняшника сортів популяції на розробленому сепараторі, на 1га засіяного поля (5.27), МДж;

$E_{1.\text{кг.диз}}$ – енергія, що міститься в 1 кг дизельного пального згідно ГОСТ Р 51750-2001, 10 Мдж.

Отримуємо:

$$m_{\text{диз.пального}} = 999,17 / 10 = 99,17 \text{ кг} \quad (5.28)$$

Отже, використання розробленого сепаратора для збільшення врожайності соняшника шляхом підготовки насіння дозволяє отримати в грошовому еквіваленті з кожного гектару поля.

$$C_{1.\text{га.екв}} = 99,17 \cdot 10 = 999 \text{ грн.}$$

Чіткість сепарації знаходимо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{л}}}{m}, \quad (5.29)$$

де $m_{\text{в}}$ – маса важких насінин;

$m_{\text{л}}$ – маса легких насінин;

m – загальна маса.

5.2 Висновки по розділу

1. Встановлено, що економічний ефект досягається за рахунок збільшення врожайності посівів соняшнику шляхом використання попередньо відсепарованого насіння з найбільш біологічно цінними якостями, яке має великий запас поживних речовин.

2. Виробничі випробування підтвердили економічну ефективність використання розробленого пневмогравітаційного сепаратора, збільшення врожайності становить 3-5 ц/га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукового завдання, що представлено у розроблених наукових положеннях сепарації насіння соняшника у вертикальному кільцевому каналі з нерівномірним повітряним потоком по висоті й нижньою зоною розділення і 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 якості та інтенсифікації є процес розділення у нижній зоні вертикального каналу з нижнім вивантаженням виділених фракцій.

2. Для визначення поділяючої здатності та розрахунків 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 насіння 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 і важких – 7-7,85 м/с, а також коефіцієнти парусності: відповідно – 0,33-0,23 і 0,20-0,16.

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 розщеплення траєкторії при $\Delta x = 0,018$ м.

5. В результаті аналізу процесу переміщення насіння вздовж поверхні розподільчого (прямолінійного) 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 вигнутої 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 змінення траєкторій при висоті 0,7 м збільшується на 20-25 %.

7. Реалізація нової конструкції пневмогравітаційного сепаратора науково обґрунтованими конструктивно-режимними параметрами дозволили

підвищити вихід повноцінного насіння (вагою 1000 шт. насінин 80-100 г) на 25-28 % при зменшені 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основные виды масличного сырья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.znaytovar.ru>
2. Очистка и калибровка семян подсолнечника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fermerland.com>
3. Алейников В.И. Послеуборочная обработка семян подсолнечника / Алейников В.И. // М.: Колос, 1979. -143с.
4. Крекот М.М. Аналіз способів регулювання швидкості повітряного потоку в сепарувальних каналах насінсочисних машин / М.М. Крекот // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2012. – Вип. 124, Т. 2. – С. 366-373.
5. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України / Є.В. Михайлов. – Мелітополь, Люкс, 2012. – 260с.
6. Классификация и комплексы машин для очистки и сортирования зерна. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kalxoz.ru/str/3zerno2.htm>
7. Окнин Б.С. Машины для послеуборочной обработки зерна / Б.С. Окнин, И.В. Горбачев, А.А. Терехин, В.М. Соловьев. – М. : Агропромиздат, 1987. - 238 с
8. Машина предварительной очистки зерна МПО-50-НС-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nz-sm.ru/>
9. Приставка триерная ПТ-600 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vselmash.ru/>
10. Барский М.Д. О механизме воздушной гравитационной классификации / М. Д. Барский, Е. А. Долганов // Изв. вузов «Горный журнал», 1969, № 1, 153-156с.
11. Бурков А.И. Зерноочистительные машины./ А.И. Бурков, Н.П. Сычугов // Конструкция, исследование, расчет и испытание. - Киров: Изд-во НШИСХ Северо-Восток, 2000. – 258с.

12. Адамчук В.В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів: автореф. дис. канд. техн. наук: 01.06.06/ В.В. Адамчук// Нац. аграр. ун-т. – К., 2006. – 40 с

13. Дідур В. А. Оптимізація параметрів пневмосепаратора для сепарації рушанки рицини / В. А. Дідур, А. Б. Чебанов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь, 2010. - Вип.10, т.8.

14. Чебанов А.Б. Обґрунтування конструктивно- технологічних параметрів пневмасепаратора рушанки рицини з пиловловлюючим пристроєм: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. тех. Наук : спец 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / А.Б. Чебанов. – Мелітополь, 2013. - 15с.

15. Абдуев М. М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / М. М.Абдуев; ХНТУСГ. – Харків, 2007. - 21с.

16. Андреевко П.П. Пути улучшения качества работы аспирационных каналов, зерноочистительных машин / П.П. Андреевко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. -1960.- №6.- 16-18с.

17. Подготовительные процессы переработки масличных семян / под ред. В. В. Белобородова. – М.: Пищевая промышленность, 1974. - 337 с.

18. Перспективні напрямки розвитку зерноочисної техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.snt-kntu.ho.ua>

19. Андриенко Г.П. Пути улучшения качества работы аспирационных каналов зерноочистительных машин / Г.П. Андриенко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства.— 1960.—№ 6.—16 — 18с.

20. Ямпиллов С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян / С.С. Ямпиллов, - Улан-Удэ.: ВСГТУ, 2003, - 115с.

21. Principles of seed science and technology. L.V. Copeland. 1976. Burgess Publishing Company, Minneapolis, MN.
22. Seed production principles and practices. M.B. McDonald and L.O. Copeland. 1997. Chapman and Hall, New York, NY.
23. Seeds handbook: biology, production, processing, and storage. B.B. Desai, P.M. Koecha, and D.K. Salunkhe. 1997. Marcel Dekker, Incorporated, New York, NY.
24. Vegetable and flower seed production. L.R. Hawthorn and L.H. Pollard. 1954. Blackiston Co., New York, NY. Out of print.
25. Горячкин В.П. Веялки и сортировки / В.П. Горячкин— М., 1908. – 48с.
26. Горячкин В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. III. - 384 с.
27. Завгородний А.И. Научные основы процессов очистки отверстий решет зерноочистительных машин: дис. докт. техн. наук : 05.05.11 / Завгородний Алексей Иванович. – Х., 2001. – 327с.
28. Завгородний А.И. Очистка решет в зерноочистительных машинах / А.И. Завгородний // - К.: УСХА, 1992. – 179с.
29. Завгородний А.И., Синяева О.В. Движения шара в воздушном потоке между вибрирующими плоскостями // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал, №3 (67). – Вінниця: ВНАУ, 2012. – С.20-27.
30. Летошнев М. М. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М. М. Летошнев. - Изд. 3-е. – М.-Л.: сельхозгиз, 1955. – 764с.
31. Гортинский В.В., Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятий / В.В. Гортинский, А.Б. Денский, М.А. Борискин // М.: Колос, 1980. - 304с.
32. Гончаров Е.С. О характере движения материальной частицы в подвижной воздушной среде / Е.С. Гончаров. // Механизация и

электрификация социалистического сельского хозяйства. - К.: Урожай, 1966.
- Вып. № 2. С.122-132

33. Гортинский В.В. Сортирование сыпучих тел при их послойном движении по ситам / В.В. Гортинский // Труды ВИМ. – 1964. – Т. 34. – С. 121-191

34. Нелюбов А. И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А. И. Нелюбов, Е. Ф. Ветров. – М.: Машиностроение, 1977. – 190 с.

35. Гладков Н. Г. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет, проектирование и эксплуатация / Н. Г. Гладков. – М.: Машгиз, 1961. – 368 с.

36. Кулагин М. С. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М. С. Кулагин [и др.] – М.: Колос, 1979. – 256 с.

37. Котов В. В. Определение скорости движения зерна в воздушном потоке / В. В. Котов // Технологии и средства механизации полеводства. – Зерноград, 2002. – С. 137-140.

38. Алферов С. А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов / С. А. Алферов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 150 с.

39. Турбин Б. Г. Сельскохозяйственные машины / Б. Г. Турбин, А. Б. Лурье, С. М. Григорьев [и др]; под ред. Б. И. Турбина. – М. – Л.: Машгиз, 1963. – 575 с.

40. Бурков А.И. Изыскание и исследование рабочего процесса замкнутой пневмосистемы семяочистительной машины: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 Бурков Александр Иванович - Киров, 1991. – 217 с. Бурков А.И. Оценка эффективности работы замкнутой пневмосистемы / А.И.

41. Васильковский О.М., Повышение эффективности воздушной очистки зерна. / О.М. Васильковский, Ф.И Петренко. // Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин. Кировоград. Вип.35., 2005.–286-288с.

42. Васильковский М.І. Обґрунтування параметрів сепарації зерна в похилому повітряному потоці / М.І. Васильковский, С.Я. Гончарова, С.М.

Лещенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград, 2007. - Вип. 37. – 132-137с.

43. Васильковський О.М. Математична модель роботи відцентрово-пневматичного сепаратора зерна / О.М. Васильковський, В.В. Гончаров, Д.І. Петренко, С.М. Лещенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ. - 2010. - Вип. 10. Т.8.- 94-104с.

44. Заика П.М. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств / П.М. Заика, Г.Е. Мазнев // - М.: Колос, 1978. - 287 с.

45. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 3, розділ 7. Очистка і сортування насіння / П.М. Заїка. -. Х.: Око, 2006. - 408 с.

46. Бакум М. В. Розділення зернових сумішей у нахиленому повітряному каналі / М. В. Бакум, М. М. Абдуєв, Ю. О. Манчинський // Праці Таврійської державної аграрної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип. 28. – С. 14–22.

47. Безручкин И.П. Исследование процессов сепарации зерна в наклонном и горизонтальном воздушном потоке/ И.П. Безручкин// Сельхозмашина. – 1936. - №3. –19-66.

48. Ермак В.П. Обоснование конструктивно-технологических параметров аэродинамического сепаратора семян тыквы / Ермак В.П., Ильченко А.А. // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський Агротехнологічний університет». Серія: Технічні науки. Вип. 153. - Сімферополь: ВД «Аріал», 2013.-с. 99-103.

49. Ермак В.П. Описание и работа воздушно-центробежного сепаратора семян тыквы / В.П. Ермак, А.А. Ильченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій тваринництва. Випуск 132. - ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2013. -

С. 178 - 184.

50. Єрмак В.П. Шляхи збільшення ефективності сепарування насінин у горизонтальному повітряному потоці / В.П. Єрмак// Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. Вип. 42 (54). - Луганськ: ЛНАУ, 2004. - С.66-72

51. Горячкин В.П. Испытания сортировок на Бутырском хуторе в 1908 году. / В.П. Горячкин // – С.-Пб., 1911. – 25с.

52. Швидя В.А. Підвищення ефективності пневмовідцентрового сепаратора та обґрунтування параметрів робочих органів: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. тех. Наук : спец 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В.А. Швидя. – Глеваха, 2012. - 18с.

53. Крекот М.М. Обґрунтування параметрів процесу і розробка пневматичного сепаратора насіння овочевих культур: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. тех. Наук : спец 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / М.М. Крекот – Харків, 2014 - 20с.

54. Безручкин И.П. Очистка зернового материала центробежно-пневматическим сепаратором: Исследование рабочих процессов и органов машин для уборки зерновых культур и послеуборочной обработки зерна / И.П. Безручкин, Е.Г. Баженов, В.В. Попов // Труды ВИСХОМ. - Москва. - 1969. - Вып. 57. - 301-320с.

55. Матвеев А.С. Сепарирование зерновой смеси вертикальным воздушным потоком / А.С. Матвеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1969. - №11. - С. 17-19.

56. Сало В.М. Перспективні напрямки розвитку зерноочисної техніки переробних підприємств / В.М. Сало, Д.І. Петренко, О.В. Нестеренко, Д.О. Гриценко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград: КНТУ, 2011. - Вип. 41. ч 2. С. 3 - 10.

57. Тищенко Л.Н. Исследование внутрислоевого движения частиц

зерновой смеси при виброцентробежном сепарировании / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень // Сб. научн. трудов. Курск. гос. техн. университета. – 2003. – С. 150-156.

58. Тищенко Л.Н. К исследованию динамики зернового потока на наклонном решете / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень // Сб. научн. трудов ХГТУСХ. – 2001. – №. 8. – Т. 1. – С. 198-205.

59. Тищенко Л.Н. К определению моментов времени воздействия очистителей на сепарирующую поверхность / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко // Сб. научн. трудов МИИСП. – 1981. – С. 68-74.

60. Тищенко Л.Н. К нелинейной двухпоточковой теории виброцентробежной сепарации зерновых смесей / Тищенко Л.Н. //Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 6(32). – С. 13-17.

61. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г.Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград, 2003.-Вип. 33. - С 53-59.

62. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С. П. Степаненко // Механізація сільськогосподарського виробництва Вісник ХНТУСГ. - Харків.: ХНТУСГ, 2008. - С. 59-65.

63. Єрмак В. П. Результати досліджень розподілення швидкості повітряного потоку в межах основної сепараційної камери та відстані встановлення головної поділяючої заслінки сепаратора / В.П. Єрмак // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія технічні науки. - Луганськ, 2006. №68/97 – С. 92-98.

64. Кюрчев С.В., Результаты исследования рациональных размеров вертикального аспирационного канала сепаратора семян сельскохозяйственных культур / С.В. Кюрчев, А.С. Колодій //

Motrol “Motorization and energetics in agriculture”, Lublin-Rzeszow, Vol.15, No2. 2013 – p. 169-175.

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

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

67. Колодій О.С., Кюрчев С.В. Методики исследования параметров сепаратора семян предложенного типа / С.В.Кюрчев, О.С. Колодій // Motrol “Motorization and energetics in agriculture”, Lublin-Rzeszow, 2013 Vol.15, No2. p. 205-213

68. Василенко П.М. Об уравнениях транспортировки частиц в сопротивляющихся средах/ П. М. Василенко. // Доклады ВАСХНИЛ М., №4, 1970. 44-46с.

69. Василенко П.М Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – Киев: ВАСХНИЛ. – 283с.

70. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л.В. Гячев = М.: Машиностроение, 1965. – 184с.

71. Ильченко А.А. Результаты экспериментальных исследований работы воздушно-центробежного приспособления для сепарации семян тыквы А.А. Ильченко // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. -Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2013. - № 51 - С. 135 - 141.

72. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: 1964. – 25 с.

73. Василенко П. М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований / П. М. Василенко.// – М., 1958. – 168 с.

74. Вентцель Е.С.. Теория вероятностей / Е.С.Вентцель М., «Наука», 1964, с. 576.

75. Турбин Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин / Б.Г Турбин. // - Л.: Машиностроение, 1968. - 160 с.

76. Барский М. Д., Штейнберг А. М., Долганов Е. А. Влияние концентрации материалов в потоке на эффективность гравитационной классификации. Изв. вузов «Химия и химическая технология», № 5, 1968, 721-724с.

77. Бушуев Н.М. Семеочистительные машины. Теория, конструкция и расчет / Н.М. Бушуев // - М: Машгиз, 1962. — 238с.

78. Василенко П. М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований / П. М.Василенко//–М., 1958.–168 с.

79. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С Вентцель. // М., «Наука», 1964, 576с.

80. Волынкин В.В. Повышение эффективности процесса отделения крупных примесей из зернового ворохаскальператором: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. Наук: спец 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»/ В.В. Волынкин. – Челябинск, 2007. - 23с.

81. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: Учебное пособие. / Э.А. Вуколов. - М.: Форум, 2008. - 464 с.

82. Гармаш Н.Т. Безрешетная сепарация мелкого зернового вороха / Н.Т. Гармаш // - К., 1955. – 96-104с.

83. Гармаш Н.Т. Теоретические основы одного из видов безрешетной сепарации мелкого зернового вороха / Н.Т. Гармаш // Сельхозмашины. - 1956. - № 12. - 4-8с.

84. Гончаров Е.С. Дослідження процесу розподілу частинок у шарі насінневої суміші / Гончаров Е.С., Грод І.М. // Механізація та електрофікація с/г. –1993. – № 77. – С. 18-23.

85. Испытания сельскохозяйственной техники. Зерноочистительные машины и агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы. Программа и методы испытаний: ОСТ 70.10.2.-83. - [дата введения 1984-06-01] - М.: Госкомсельхозтехника СССР, 1984. - 159 с.

86. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії. Сучасні проблеми землеробської механіки. - Мелітополь, 2006. - Вип. 39 - С. 161-165.

87. Калинушкин М.П. Вентиляционные установки / М. П. Калишкин.// - М.: Высшая школа, 1962. - 294 с.

88. Каменир Э.А. Исследование вероятностно-статистических методов разделения зерновых смесей в поле коронного разряда: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Э.А. Каменир – Челябинск, 1974. – 26с.

89. Каменир Э.А. Предварительная зарядка семян в электростатическом поле, как средство интенсификации процесса разделения на электрообработывающей машине: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Каменир Эльдар Андреевич. – Ч., 1978. – 213с.

90. Клячин В. В. Эффективность процесса одно-и Многостадиальной классификации минеральных суспензий / В. В. Клячин, Ю. И. Никитин // Изв. вузов «Горный журнал», 1964, № 5, С. 158-161.

91. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины/ И.Е Кожуховский // – М.: Колос, 1974. – 200с.
92. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины / И.Е. Кожуховский // - М.: Машиностроение, 1974. - 200 с.
93. Котов Б.І. До теорії розділення зерна в повітряному потоці / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград, 2009. - Вип. 39. - С 54 - 60.
94. Ксифилинов Х.А. Обоснование методов очистки семян масличных культур / Ксифилинов Х.А. // Труды ВИМ. – 1952. – Т. 17. – С. 153-235.
95. 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. - 86с.
96. Кюрчев С.В., Економічний розрахунок ефективності використання аеродинамічного сепаратора з вертикальним аспіраційним каналом/ С.В.Кюрчев, О.С. Колодій // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14. – С. 363-369.
97. Колодій О.С., Методика дослідження впливу геометричного положення насіння в просторі, при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратору / О.С. Колодій // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13.т3 – С. 124-129.
98. Лавров И.М. Исследование процесса разделения зерновых смесей воздушным потоком при наложении электрического поля: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / И.М. Лавров// – Челябинск,

1975. - 27с.

99. Лейкин Я.И. К теории процесса самосортирования сыпучих материалов на горизонтальной поверхности с круговыми поступательными колебаниями / Лейкин Я.И., Идин М.А. // Труды ВНИИЗ. – 1970. – № 69. – С. 63-76.

100. Лейкин Я.И. К теории работы центробежной вибросортировки / Лейкин Я.И. // Труды ВНИИЗ. – 1951. – № 23. – С. 99-108.

101. Леонтьев П.И. Исследование работы виброрешет при сепарации мелких семян / Леонтьев П.И. // Труды ВНИИЗ. – 1963. – № 23. – С. 99—108.

102. Лещенко С.М. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей / С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, В.В.Гончаров // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. - Вип. 18. – Луцьк: ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. - С 230-234.

103. Листопад Г.Е. Вибросепарация зерновых смесей / Листопад Г.Е. – Волгоград.: Волгоградское книжное издательство, 1963. – 118с.

104. Листопад Г.Е. Основы теории вибросепарации зерновых смесей: автореф. дис. на соискание науч. степ. докт. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Г.Е. Листопад – Саратов, 1984.-57с.

105. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов // - М: Агропромиздат, 1986. – 688с.

106. Ловчиков А.П. Зерноочистительные машины / А.П. Ловчиков, Р.А. Саляхов, Н.А. Кузнецов. // – Челябинск: ЧГАА, 2010. - 159с.

107. Любимов А.М. Влияние воздушного потока на среднюю скорость движения зерна по решетку / А.М. Любимов // Труды ЧИМЭСХ.– 1958.– № 4. – С. 291-298.

108. Мазоренко Д.И. Повышение эффективности работы виброцентробежных сепараторов на основе определения их рациональных

схем и параметров / Д.И. Мазоренко // Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 6(32). – С. 3-12.

109. Мазоренко Д.И. Пути повышения производительности виброцентробежного сепаратора с пространственным движением оси вращения решета / Д.И. Мазоренко, П.А. Миронов // Сб. научн. трудов МИИСП. – 1977. – Т. 14. – С. 102-111.

110. Малис А.Я. Машины для очистки зерна воздушным потоком / А.Я. Малис, Р.В. Демидов. // - М.: Машгиз, 1962. - 176 с.

111. Малюта С.И. Обоснование технологического процесса и параметров пневмоцентрифуги: дис. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Малюта Сергей Иванович. – К., 1989. – 181с.

112. Матвеев А.С. Сепарирование зерновой смеси вертикальным воздушным потоком / А.С. Матвеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1969. - №11. - С. 17-19.

113. Математическое моделирование технологических процессов хранения и переработки зерна / Н.В. Остапчук // - М.: Колос, 1977. - 239 с.

114. Меркулов Б.М. Передовий досвід вирощування соняшника / Меркулов Б.М. – К.: Урожай, 1965. – 46с.

115. Механизация послеуборочной обработки зерна: Учебное пособие / [Макаров П.И., Юнусов Г.С, Казанков И.И. и др.]. - Йошкар Ола; Марийский государственный университет, 2007. - 284 с.

116. Миняйло А.В. Исследование процесса сепарирования семян на плоских горизонтальных виброрешетах: дис. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Миняйло Александр Викторович. – Харьков, -1973. – 165с.

117. Мороз С.М. Аналіз багатошарового руху зерна на нерухомій похилій робочій поверхні / С.М. Мороз, М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, В.В. Гончаров // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний

міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград: КНТУ, 2011. - Вип. 41. - С. 203 - 208.

118. Микроанометр жидкостный МКВ-250-0,02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ross.com.ru/mikromanometr-mkv-250>

119. Непомнящий Е.А. Кинетика сепарирования зерновых смесей / Е.А. Непомнящий // - М.: Колос, 1982. –175с.

120. Непомнящий Е.А. Применение теории случайных процессов к определению закономерности сепарирования сыпучих смесей / Е.А. Непомнящий // Труды ВНИИЗ. – 1969. – № 42. – С. 447-456.

121. Непомнящий Е.А. Состояние статической теории сепарирования сыпучих смесей / Е.А. Непомнящий // Труды ВНИИЗ. – 1973. – № 78. – С. 8-19.

122. Непомнящий Е.А. Кинетика сепарирования зерновых смесей / Е.А. Непомнящий // – М.: Колос, 1982.- 176 с.

123. Несиков А.А. Влияние конструктивных параметров начальной подачи и рабочих элементов на эффективность работы виброцентробежного сепаратора / Несиков А.А., Тулькибаев М.А. // Труды ЧИМЭСХ. – 1978. – № 140. – С. 112-116.

124. Нилов В.П. Моделирование процесса пневмоинерционной сепарации зерносоломистого вороха / В.П. Нилов // Совершенствование уборки и послеуборочной обработки зерна: Труды ЧИМЭСХ. - 1978. - Вип. 140. – С. 100-104.

125. 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.

135. Новые идеи в планировании экспериментов/сборник/ под ред. В.В. Налимова.-М: Наука, 1969.-334с.

126. Орлов Е.А. Исследование процесса очистки зерна на решетках с круговыми поступательными колебаниями в вертикальной плоскости / Орлов

Е.А. // Труды ВНИИЗ. – 1974. – № 78. – С. 202-208.

127. Патрин В.А. Расчет траектории полета тела в воздушном потоке / В.А. Патрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства.-1971.- №10. - С. 44 - 48

128. Петренко Д.І. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна: дис... кандидата, тех. наук: 05.05.11 / Дмитро Іванович Петренко. - Кіровоград, 2011, - 157 с.

129. Петренко М.М. Основы научных исследований в сільськогосподарському машинобудуванні / М.М. Петренко. - Кіровоград: Кіровоградське державне видавництво, 1997. - 148 с.

130. Печерский Е.М. Исследование процесса виброцентробежной сепарации семян сахарной свеклы: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Е.М. Печерский – Саратов, 1967. – 24с.

131. Повх Н.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / Н.Л. Повх // - Л.: Машиностроение, 1974. - 480 с.

132. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин Л.В. Погорелый. - [изд. 2-е, доп.] –К: Тэхніка,1991.– 157 с.

133. Полуэктов Н.И. Исследование центрифугирования семенных смесей: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Н.И. Полуэктов —Саратов, 1961. – 17с.

134. Прилуцкий А.Н. Исследование процесса разделения семян пневмоцентрифугой и обоснование ее параметров: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / А.Н. Прилуцкий. –Киев, 1967. – 24с.

135. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / [Турбин Б.Г., Лурье А.Б., Григорьев СМ., и др.]; под ред. Б. Г. Турбина. - [2-

е изд.]. -Л.: Машиностроение, 1967. - 584 с.

136. Сергеев А.С. Влияние скорости перемещения сепарируемого материала по поверхности решета на процесс сепарации / А.С. Сергеев, В.М. Соловьев, А.Н. Павлихин // Труды МИИСП. –1971. – Т. 8. – С. 113-120.

137. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень // - К.: Фенікс, 2007. - 432 с.

138. Сільськогосподарські та меліоративні машини : Підручник / [Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.]; за ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2004. - 544 с.

139. Скакун СИ. Машины и оборудование для предприятий АПК: Практикум Учебное пособие / СИ. Скакун; С.С. Жогова; З.С Скакун. - Минск: БГЭУ, 2002. - 275 с.

140. Соломахова Т.С. Центробежные вентиляторы: аэродинамические схемы и характеристики / Т.С. Соломахова, К.В. Чебышева. // - М.: Машиностроение, 1980.- 176 с.

141. Стотченко В.Е. Новое в технологии возделывания подсолнечника / В.Е. Стотченко, А.Н. Краевский, А.А. Карпенко // Техн. культуры. – 1991. – №4. – С. 8-15.

142. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ / Сурмин Ю.П. - К.: МАУП, 2003.-368 с.

143. Сычугов Н.П. Воздушные системы машин послеуборочной обработки зерна і технологические схемы, теория, расчет): дисс. доктора техн. наук 05.20.01/ Сычугов Николай Павлович - Ленинград-Пушкин, 1987. - 293 с.

144. Таран А.И. Влияние направленности колебаний плоских решет на просеиваемость / А.И. Таран // Труды ВНИИЗ. – 1963. – № 42. – С. 189-202.

145. Терсков Г.Д. Оптимальная скорость воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна / Г.Д. Терсков //

Сельскохозяйственная машина. – 1936. – № 2. – С. 15-18.

146. Ткаченко О.В. 2004. Технологические свойства семян подсолнечника Труды ТГАТУ. – Мелитополь ТГАТУ,. – Вип.19, 166-175.

147. Торопов В.Р. Исследование технологического процесса планетарного решетного сепаратора зерна с целью определения его параметров и режимов работы: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук: 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / В.Р. Торопов – Омск, 1974. – 23с.

148. Царенко О.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.// - К.: Мета, 2003-448 с.

149. Цециновский В.М. Эффективность сепарирования зерновых смесей / Труды ВНИИЗ. – 1951. – № 23. – С. 5-24.

150. Яременко Н.К. Исследование работы пневматического сортировального стола / Яременко Н.К. // Труды ВИМ. – 1952. Т. 3. – С. 18-22.

151. Гладков Н.Г. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет, проектирование и эксплуатация / Н.Г. Гладков // - М: Машгиз, 1961. – 368с.

152. Еремин П. Ф. Определение скорости минеральных зерен при совместном падении / П. Ф. Еремин // – В кн.: «Вопросы теории гравитационных методов обогащения полезных ископаемых». -М., Госгортехиздат, 1969, -235с.

153. Дзязио А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А. М. Дзязио // - М., Заготиздат, - 1961, -387с.

154. Терсков Г.Д. Оптимальная скорость воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна / Г.Д. Терсков // Сельскохозяйственная машина. – 1936. – № 2. – С. 15-18.

155. Бушуев Н.М. Семеочистительные машины. Теория, конструкция и расчет / Н.М. Бушуев // - М: Машгиз, 1962. – 238с.

156. Мороз С.М. Аналіз багат шарового руху зерна на нерухомій похилій робочій поверхні / С.М. Мороз, М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, В.В. Гончаров // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград: КНТУ, 2011. - Вип. 41. - С. 203 - 208.

157. Изаков Ф.Я. Об оценке эффективности разделения сыпучих материалов / Изаков Ф.Я. // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1965. – №8. – С. 94-97.

158. Жельдухин Б.В. Теоретические основы разделения семян по удельному весу на пневматических сортировальных столах. / Б.В. Жельдухин // Земледельческая механика, 1971. – Т.13. – С. 179-189.

159. Зюмин А.Н. Исследование процесса сепарации в условиях равномерного распределенного материала на поверхности решета / А.Н. Зюмин // Труды ВИМ. – 1971. – Т. 55. – С. 146-153.

160. Нилов В.П. Моделирование процесса пневмоинерционной сепарации зерносоломистого вороха / В.П. Нилов // Совершенствование уборки и послеуборочной обработки зерна: Труды ЧИМЭСХ. - 1978. - Вип. 140.- С.100-104.

161. Зюмин А.Н. К вопросу интенсификации процесса сепарации плоскими решетками / А.Н. Зюмин // Труды ЧИМЭСХ.-Челябинск.-1972.- Вип. 69.-С.127-132.

162. Математическое моделирование технологических процессов хранения и переработки зерна / Н.В. Остапчук // - М.: Колос, 1977. - 239 с.

163. Гортинский В.В. Исследование двухслойной модели сыпучего тела в приложении к процессам сепарирования / В.В. Гортинский, Б.В. Жиганков // Труды ВНИИЗ. – 1974. – № 78. – С. 57-66.

164. Гортинский В.В. Послойное движение продуктов в плоских

ситах / В.В. Гортинский // Труды ВНИИЗ. – 1963. – № 42. – С. 19-27.

165. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ / Сурмин Ю.П. - К.: МАУП, 2003.-368 с.

166. Скакун СИ. Машины и оборудование для предприятий АПК: Практикум Учебное пособие/СИ. Скакун; С.С.Жогова; З.С Скакун.- Минск: БГЭУ, 2002. - 275 с.

167. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень // - К.: Фенікс, 2007. - 432 с.

168. Сычугов Н.П. Воздушные системы машин послеуборочной обработки зерна і технологические схемы, теория, расчет): дисс. доктора техн. наук 05.20.01/ Сычугов Николай Павлович - Ленинград-Пушкин, 1987. - 293 с.

169. Кулаков Г.Ф. Сортирование семян на виброцентрифуге / Кулаков Г.Ф. // Мукомольная элеваторная промышленность. – 1962. – № 4. – С. 23-25.

170. Е.С. Вентцель. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. М., «Наука», 1964, с. 576.

171. 202. Любимов А.М. Влияние воздушного потока на среднюю скорость движения зерна по решету / А.М. Любимов // Труды ЧИМЭСХ. – 1958. – № 4. – С. 291-298.

172. Матвеев А.С. Сепарирование зерновой смеси вертикальным воздушным потоком / А.С. Матвеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 11. – С. 17-19.

173. Лавров И.М. Исследование процесса разделения зерновых смесей воздушным потоком при наложении электрического поля: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / И.М. Лавров – Челябинск,

1975. – 27с.

174. Harmond, J.E., N.R. Brandenburg, and L.M. Klein. 1968. Mechanical seed cleaning and handling. USDA Agricultural Handbook No. 354. Washington, D.C.

175. Desai, B.B., P.M. Kotecha, D.K. Salunkhe. 1997. Seeds handbook: biology, production, processing, and storage. Marcel Dekker, Inc., New York.

176. Jorgensen, Kent R. and Richard Stevens. 2004. Seed collection, cleaning, and storage, Chap. 24. In: Stephen B. Monsen, Richard Stevens, and Nancy Shaw (compilers), Restoring Western Ranges and Wildlands. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-136. Ft. Collins, Colorado.

177. Vaughan, C.E., B.R. Gregg, and J.C. Delouche. 1968. Seed processing and handling. Seed Technology Laboratory (Mississippi State Univ.), State College, Mississippi.

178. Young, J.A. and C.G. Young. 1986. Collecting, processing, and germinating seeds of wildland plants. 3rd ed., Timber Press, Portland, Oregon.

179. Dewald, C.L., V.A. Beisel, and P.L. Sims. 1987. Concepts and principles of the Woodward chaffy seed conditioning system, p.278-282. In: G.W. Frasier and R.A. Evans (eds.), Seed and Seedbed Ecology of Rangeland Plants, USDA-ARS, Washington, D.C.

180. Андриенко Г.П. Пути улучшения качества работы аспирационных каналов зерноочистительных машин / Г.П. Андриенко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1960. – № 6. – С. 16-18.

ДОДАТОК А

В додатку А наведені поверхні відгуку дослідження руху насіння методами числових експериментів

Поверхні відгуку:

$$V_0: \Rightarrow$$

$$\Delta X(\varphi, \theta): \Rightarrow 0.085 \cdot 10^{-0.003} \cdot V_0^{1.20} \cdot 0.001 + 0.0021 \cdot \overline{\sigma}^4_{110-5} \cdot \overline{\sigma}^6_{\theta^2}$$

$$\Delta X_1: \in \text{r e a t}(\Delta X_1, 0.55, 0.58, 0.6)$$

$$V_0: \Rightarrow$$

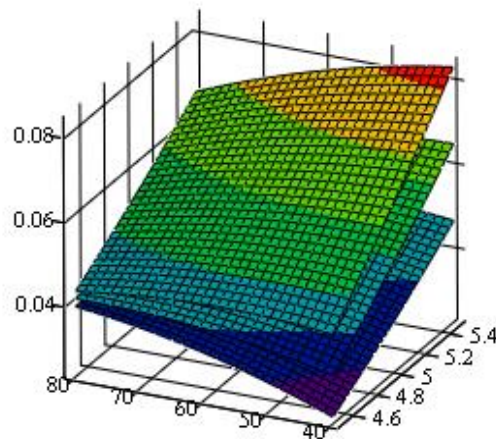
$$\Delta X(\varphi, \theta): \Rightarrow 0.085 \cdot 10^{-0.003} \cdot V_0^{1.20} \cdot 0.001 + 0.0021 \cdot \overline{\sigma}^4_{110-5} \cdot \overline{\sigma}^6_{\theta^2}$$

$$\Delta X_2: \in \text{r e a t}(\Delta X_2, 0.55, 0.58, 0.6)$$

$$V_0: \Rightarrow$$

$$\Delta X(\varphi, \theta): \Rightarrow 0.085 \cdot 10^{-0.003} \cdot V_0^{1.20} \cdot 0.001 + 0.0021 \cdot \overline{\sigma}^4_{110-5} \cdot \overline{\sigma}^6_{\theta^2}$$

$$\Delta X_3: \in \text{r e a t}(\Delta X_3, 0.55, 0.58, 0.6)$$



Поверхні відгуку:

u: 4

$$X(V_0): = 0.1 + 0.4V_0 + 0.0146.002.0V_0^2 + 20.0V_0 + (-0.0V_0 - 0.000002.520^6.0^2$$

X1: Element(X,0M,02e46,B,B)

u: 5

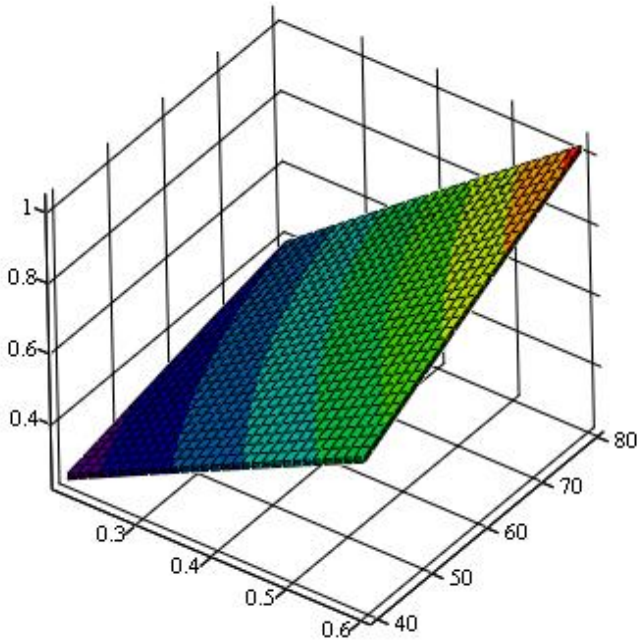
$$X(V_0): = 0.1 + 0.4V_0 + 0.0146.002.0V_0^2 + 20.0V_0 + (-0.0V_0 - 0.000002.520^6.0^2$$

X2: Element(X,0M,02e46,B,B)

u: 5

$$X(V_0): = 0.1 + 0.4V_0 + 0.0146.002.0V_0^2 + 20.0V_0 + (-0.0V_0 - 0.000002.520^6.0^2$$

X3: Element(X,0M,02e46,B,B)



X 1X 2X 3

Поверхні відгуку:

u: 4 .

X(V0): $=0.0805 \cdot V_0 + 0.0003 \cdot V_0^2 + 0.0004 \cdot V_0^3 + 0.0001 \cdot V_0^4 + 0.0001 \cdot V_0^5 + 0.0001 \cdot V_0^6 + 0.0001 \cdot V_0^7 + 0.0001 \cdot V_0^8 + 0.0001 \cdot V_0^9 + 0.0001 \cdot V_0^{10}$

X1: $\in \text{r e a t}(X_0, M_0, 2e, 4e, 6e, 8e, 10e)$

u: 5

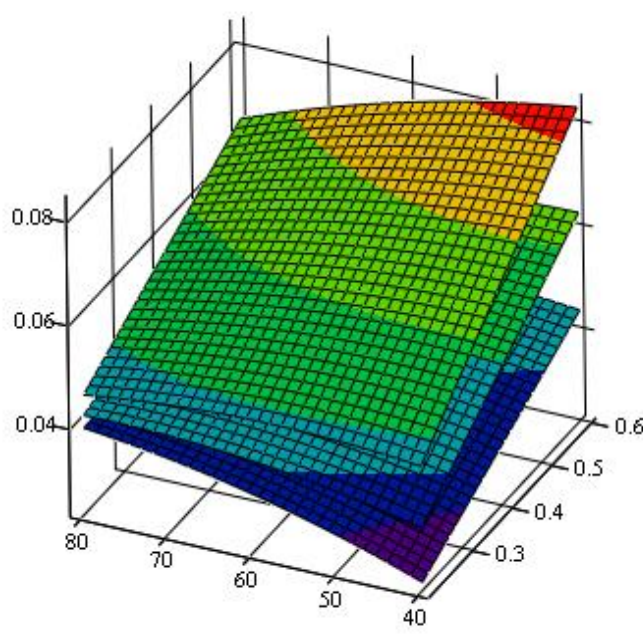
X(V0): $=0.0805 \cdot V_0 + 0.0003 \cdot V_0^2 + 0.0004 \cdot V_0^3 + 0.0001 \cdot V_0^4 + 0.0001 \cdot V_0^5 + 0.0001 \cdot V_0^6 + 0.0001 \cdot V_0^7 + 0.0001 \cdot V_0^8 + 0.0001 \cdot V_0^9 + 0.0001 \cdot V_0^{10}$

X2: $\in \text{r e a t}(X_0, M_0, 2e, 4e, 6e, 8e, 10e)$

u: 5 .

X(V0): $=0.0805 \cdot V_0 + 0.0003 \cdot V_0^2 + 0.0004 \cdot V_0^3 + 0.0001 \cdot V_0^4 + 0.0001 \cdot V_0^5 + 0.0001 \cdot V_0^6 + 0.0001 \cdot V_0^7 + 0.0001 \cdot V_0^8 + 0.0001 \cdot V_0^9 + 0.0001 \cdot V_0^{10}$

X3: $\in \text{r e a t}(X_0, M_0, 2e, 4e, 6e, 8e, 10e)$



X 1X 2X 3

ДОДАТОК Б

ЗАТВЕРДЖУЮ



Директор ТОВ «Зоря»

С.В. Головенко

» 2014р

АКТ

Впровадження результатів кандидатської дисертації

Колодій О.С.

Комісія, у складі директора ТОВ «Зоря» С.В. Головенка; головного агроному М.С. Стойкова; головного бухгалтера О.О. Бутько; к.т.н., доцента С.В. Кюрчева, к.т.н. склали дійсний акт, в тому, що результати дисертаційного дослідження на тему: «Обґрунтування конструктивно - технологічних параметрів аеродинамічного сепаратора насіння сільськогосподарських культур» представлені аспірантом, використані в діяльності ТОВ «Зоря».

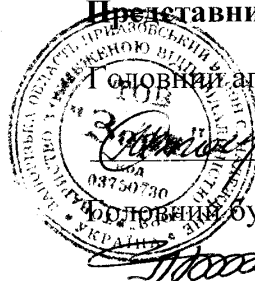
За результатами використання запропонованого аеродинамічного сепаратора насіння сільськогосподарських культур на насінні соняшнику отримано чистий дохід 10720.17грн на рік.

Представники ТДАТУ

К.т.н., доцент

С.В. Кюрчев

Представники ТОВ «Зоря»



Головний агроном ТОВ «Зоря»

М.С. Стойков

Головний бухгалтер ТОВ «Зоря»

О.О. Бутько

ДОДАТОК В



ДОДАТОК Г



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «Зоря»

С.В. Головенко

2014р.

АКТ

Виробничих випробувань результатів кандидатської дисертації

Колодія О.С.

Результатом дисертаційної роботи був розроблений пневмогравітаційний сепаратором за патентом України на корисну модель №86300 від 25.12.2013р.

Використовувався пневмогравітаційний сепаратор на насінні соняшника на полях обсягом 40 та 160га. Продуктивність сепаратора склала 90кг/год. Насіння, що сепарувалося склало обсягом 1,5т. Схожість насіння, що сепарувалося розробленим сепаратором, склала 90-95%. Збільшення врожайності склало 3-5ц/га. Конструктивно-технологічні параметри та методики розроблені в дисертаційній роботі підтвердились при випробуваннях.

Представники ТДАТУ:

Керівник НДР

 С.В. Кюрчев

Здобувач

 О.С. Колодій


Представники ТОВ «Зоря»

Головний агроном ТОВ «Зоря»

 М.С. Стойков

Головний бухгалтер ТОВ «Зоря»

 О. О. Бутко

ДОДАТОК Д

Виробничі випробування проводились в ТОВ «Зоря» Приазовського району Запорізької області. Пневмогравітаційний сепаратор використовувався для сепарації насіння соняшника. Площа засіву насіння, що відсепарувалося склало 40 та 160га. Визначена продуктивність сепаратора підтвердили дослідження та складає 90 кг/год. Насіння, що пройшло сепарацію склало 1500-2000кг. Схожість посіяного від сепарованого насіння склало 90-95% та дало збільшення врожайності на 3-5 ц/га, що складає прибуток в розмірі 2100 - 3500 грн./га.

Виробничі випробування були проведені при визначених раціональних параметрах установки: діаметр патрубку постачання 40мм, висота аспіраційного каналу 0,8м, діаметр аспіраційного каналу 200мм, діаметр розподільника для відбору легкого насіння 70мм, швидкість повітряного потоку 5-5,5м/с, радіус твірної дуги подільника 0,05м, діаметр основи подільника 0,04м

Для порівняння якості розділення запропонованого сепаратора з традиційним розділенням на дві фракції (легке насіння виносить у гору а важке падає до вниз проходячи зустрічний повітряний потік). Дослідження показали, що на 25-28% підвищується вихід повноцінного зерна.

Дослідження очистки насіння різної засміченості показали, що засміченість насіння зменшується на 30%.

Основні конструктивно-технологічні параметри, що були розраховані в 2 розділі підтвердились виробничим випробуваннями.

Виробничі випробування були проведені на експериментальній установці представленої в додатку Є.

ДОДАТОК Є



Загальний вид експериментальної установки