

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: «Удосконалення конструкції пневмосепаратора для розділення
фракцій рушанки насіння соняшнику»

КРМ.133ГМмд_22.43.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_22
МАРЦЕНЮК Олександр

Керівник: докт. техн. наук, професор
КОСТЕНКО Олена

Рецензент: к.т.н., доцент
ГОРБЕНКО Олександр

Полтава – 2024 року

ВСТУП

Актуальність роботи. Олійножирова промисловість є найважливішою галуззю харчової промисловості. Підвищенню якості готової продукції приділяється велика увага, чого не можливо досягти без дослідження і вдосконалення процесів, що протікають в процесі переробки олійної сировини.

Одним з процесів, що вимагають вдосконалення, є процес обрушення насіння, тобто руйнування плодової оболонки насіння соняшнику для подальшого відділення і отримання ядрової фракції, яка підлягає подальшій переробці.

На більшості підприємств підготовка насіння соняшнику до віджиму олії відбувається за типовою схемою рушально-віяльного цеху (РВЦ).

В рушально-віяльному агрегаті, який включає бичеву насіннерушку і насінневіяльну машину Р1-МС-2Т, що має розсів і п'ятиканальну аспіраційну камеру, де частинки лушпиння відокремлюють похилим повітряним потоком з отриманням ядра, недоруша, перевію і лушпиння відбувається обрушення насіння і поділ рушанки.

Насінневіяльні машини використовуються на ділянці контролю перевію і лушпиння. Рециклічний потік перевію в РВЦ складає десь 20% від продуктивності переробного підприємства, а лушпиння – 15-17%.

В аспіраційній камері насінневіяльної машини на етапі поділу рушанки похилим повітряним потоком відбувається основна втрата олії з лушпинням за рахунок виносу частинок ядра в лушпиння, що досягає 1% і більше при нормативних втратах не більше 0,4%.

Розробка ресурсозберігаючих технічних рішень з удосконалення існуючих технологічних засобів та створення пневмосепаратора високоефективного, які здатні забезпечити зниження виносу ядра в лушпиння і виключити зі схеми РВЦ операцій контролю фракцій перевію і лушпиння, що ґрунтуються на дослідженнях аеродинамічних властивостей частинок рушанки насіння, процесу їх поділу вертикальним повітряним потоком є актуальним завданням.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення ефективності процесу поділу фракційної рушанки насіння соняшнику шляхом удосконалення конструкції пневмосепаратора.

Завдання досліджень:

- розробити конструктивно-технологічну схему пневмосепаратора для поділу рушанки;
- визначити оптимальні конструктивні параметри і режими роботи пневмосепаратора для поділу рушанки;
- розрахувати економічну ефективність розробки.

Об'єкт розробки – процес пневмосепарування рушанки насіння соняшнику.

Предмет дослідження – вплив основних конструктивно-технологічних параметрів на ефективність відділення лушпиння із фракцій рушанки повітряним потоком.

Наукова новизна дослідження. Удосконалення насінневіяльної машини з використанням модернізованого пневмосепаратора, що дозволяє виключити утворення фракції перевію і відповідно виключити ділянки контролю перевію і лушпиння зі схеми РВЦ.

Новизна теоретичного дослідження. Експериментально визначено, що на ефективність відділення лушпиння із фракцій рушанки повітряним потоком мають вплив основні конструктивно-технологічних параметрів

Публікації:

1. Марценюк О.О., Костенко О.М., Дрожчана О.У. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми подрібнювача стеблових кормів з робочим органом молотково-сегментного типу. Матеріали III Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції *Актуальні напрями та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва* (м. Полтава 28 листопада 2024р.). Полтава: РВВ ПДАУ, 2024. С.....

2. Марценюк О.О., Костенко О.М., Дрожчана О.У. Визначення швидкості переміщення корму в камері подрібнення. Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції *Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування* (м. Полтава 10-11 грудня 2024 р.). Полтава: РВВ ПДАУ, 2024. С.....

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Обладнання для поділу рушанки насіння соняшнику, контролю перевию і лушпиння

Для поділу рушанки насіння соняшнику для отримання ядрової фракції найбільш широко використовуються насінневіяльні машини, що складаються з двох незалежних вузлів: розсіву та аспіраційної камери. Розсів розділяє рушанку на фракції за лінійними розмірами за допомогою плоских решіт. В аспіраційній камері фракції рушанки, отримані в результаті просіювання, розділяються за рахунок різних аеродинамічних властивостей в похилому повітряному потоці повітря. Перші конструкції насінневіяльних машин були обладнані розсівами зі зворотно-поступальним рухом плоских решіт і аспіраційними камерами, в яких поділ рушанки здійснювався за рахунок нагнітання повітряного потоку. Пізніше конструкція насінневіяльної машини значно змінилася. Так аспіраційна камера насінневіяльної машини 20-х років минулого століття мала дві осаджувальні камери (конуси) [9]. Потім в 30-х роках була створена конструкція аспіраційної камери яка мала три осаджувальні камери (конуси) [15].

На сьогоднішній день насінневіяльна машина Р1-МС-2Т або насінневіяльна машина НВХ – аналог попередньої (ВАТ «Хорольський механічний завод») є найдосконалішою конструкцією і використовується на багатьох олійних підприємствах. В основу цих конструкцій покладено дослідження В.М. Прищепи та В.А. Маслікова.

Насінневіяльна машина Р1-МС-2Т (рис.А.1) [6,12,22] складається з розсіву (1) та аспіраційної камери (2). Розсів складається з прямокутного корпусу з трьома ярусами плоских решіт. Верхній ярус складається з решіт діаметрами 7 і 6 мм відповідно, середній ярус складається з решіт діаметрами 5 і 4,5 мм, а нижній ярус – з решіт діаметром 3 мм. Розсів в верхній частині забезпечений попереднім розсівом (3), який дозволяє попередньо видокремити з рушанки олійний пил – дрібні частинки ядра. Корпус за рахунок обертання балансирів

здійснює кругові рухи. У розсвіві на плоских решетах рушанка ділиться на шість фракцій. П'ять фракцій рухаються в аспіраційну камеру, а одна (олійний пил – проходження частинок крізь решето $\varnothing 3$ мм) потрапляє у транспортер ядра, не надходячи в аспіраційну камеру. Аспіраційна камера являє собою прямокутний короб, розділений на п'ять каналів, пристрій живлення розташований у верхній його частині. Нижче пристрою живлення в кожному каналі змонтовані похилі полиці. В середині аспіраційної камери знаходиться три конуси. Фракції рушанки з розсвіва направляються через пристрій живлення на похилі полиці, по яких прямують вниз і обдуваються потоком повітря в горизонтальній площині. Легкі частинки лушпиння попадають в аспіраційну камеру, де осідають, накопичуються в конусах і відводяться у транспортери відповідні. Очищена фракція ядра висипається на транспортер ядра.

В аспіраційній камері завдяки поділу рушанки похилим повітряним потоком отримується три фракції: ядрова, лушпиння (в лушпиння виноситься ядро до 1,1%) та перевійна. Для контролю лушпиння і перевію необхідне додаткове обладнання, що ускладнює технологічну схему. А також при утворюється рециклічний потік перевію при його контролі, що призводить до втрати олії з лушпинням по причині її оболійнювання.

На ряду з насінневіяльними машинами підприємства користуються сепараторами марки А1-БІС-100 (рис. А.2) [6,12]. Будова сепаратора А1-БІС-100 – решітний кузов (1), що має два основних вузли, в якому поділяється насіння за лінійними розмірами на плоских решетах, які здійснюють кругові поступальні рухи, та пневмосепаруючий канал (2), в якому відкалібрована рушанка поділяється завдяки різниці аеродинамічних властивостей в вертикальному потоці повітря. Будова пневмосепаруючого каналу – приймальний пристрій і корпус. Приймальний пристрій являє собою прямокутний короб, у якому в нижній його частини встановлений вібралоток, який інерційним вібратором приводиться в коливальний рух. Корпус представляє собою вертикальний прямокутний канал, по боках оглядові вікна та жалюзі для повітря. Рухома стінка, що встановлена всередині корпусу утворює з передньою стінкою корпусу

пневмосепаруючий канал. Змінюючи положення рухомої стінки, дросельною заслінкою за допомогою штурвалів регулюється швидкість повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі. Приймальний пристрій з вібрлотком дає можливість розподіляти матеріал рівномірно по всьому перетину каналу і розшарувувати зернову суміш, при цьому відбувається зміщення легких домішок в верхню частину потоку, а важких в нижню частину потоку.

Сепаратори не забезпечують при переробці рушанки насіння необхідної якості поділу. Ядра виносяться в лушпиння до 1,2%. Це відбувається тому, що на решетах виділяються три фракції, які значних відмінностей по аеродинамічним властивостям не мають. По цій причині в технологічних схемах РВЦ, передбачається двохстадійна система очищення при застосуванні сепараторів даних конструкцій, що веде до значних втрат олії при переробці рушанки.

1.2 Пневмосепаруюче обладнання для розділення зернових сумішей в вертикальному потоці повітря

Повітряні сепаратори за способом використання повітря можна розділити на дві групи: із замкнутим повітряним циклом і з розімкненим повітряним циклом [12].

Основним недоліком повітряних сепараторів із замкнутим повітряним циклом є те, що процес пневмосепарування в них здійснюється циркулюючим повітряним потоком, який насичується дрібнодисперсними частинками аеровідокремлюваних домішок через деякий час роботи, завдяки чому знижується ефективність розділення сипучих матеріалів. Перевага таких сепараторів в тому, що на повітрообмін у виробничому приміщенні не впливає циркулююче повітря.

Найбільш повне відділення домішок забезпечують повітряні сепаратори з розімкненим циклом повітря в цьому їх перевага. Але з іншого боку

використання розімкнутого циклу повітря здійснює вплив на повітрообмін в приміщенні. Такі сепаратори широко застосовуються в олійній промисловості.

За напрямком руху робочого повітряного потоку виділяють такі групи машин, як з вертикальним, похилим і горизонтальним повітряним потоком. При співставленні цих машин вчені стверджують, що найбільш ефективно використання вертикального повітряного потоку [7,10, 24].

Деякі основні конструкції повітряних сепараторів використовуються на підприємствах галузі, розглянемо нижче.

Аспіраційна колонка РЗ-БАБ (рис. А.3) [6,12] – повітряний сепаратор з розімкненим повітряним циклом, застосовується для очищення зерна від легких домішок (аеровиносних). В пневмосепаруючому каналі регулюється швидкість повітряного потоку зміною положення рухомої стінки, за допомогою штурвалів і дросельної заслінки, що встановлена пневмосепаруючого каналу у верхній його частині. Використання Приймальний пристрій з вібрлотком дає можливість розподілити рівномірно матеріал по всьому перетину каналу та розшарувати зернову суміш, при цьому відбувається зміщення легких домішок в верхню частину потоку, а важких в нижню. Ця конструкція не забезпечує високої ефективності очищення зерна (десь 65-75%). Але добре зарекомендувала при використанні на очищенні зерна від бур'яних домішок.

Повітряний сепаратор А1-БДЗ (замкнений цикл повітря) (рис. А.4) [6, 12] застосовується для розділення продуктів лушення круп'яних культур і очищення зерна від легких домішок (аеровиносних) в елеваторах у зерноочисних відділеннях, у підприємствах борошно-круп'яної і комбікормової промисловості.

Будова аспірації А1-БДЗ – корпус розділений внутрішніми перегородками на три основних вузла: приймальна камера (11), пневмосепаруючий канал (10) і осаджувальна камера (4). Приймальна камера у вигляді вертикального прямокутного каналу, в якому для рівномірного розподілу насіння по перетину приймальної камери у верхній частині встановлено дільник (12), пластина направляюча (14), зміною положення якої регулюється режим

введення насіння в пневмосепаруючий канал. Нижня частина пневмосепаруючого каналу має випускний патрубок (9) для відводу очищеного насіння із аспірації. У верхній частині осаджувальної камери є діаметральний вентилятор (2), який забезпечує подачу очищеного повітря через рециркуляційний канал (5) в пневмосепаруючий канал з осаджувальної камери, в нижній частині осаджувальної камери встановлений шнек (7) для відводу осаду.

Повітряний режим в осаджувальній камері регулюється за допомогою поворотного клапана. Привід діаметрального вентилятора і шнека здійснюється електродвигуном, кліноповсими передачами і контрприводом.

При поділі рушанки насіння, що містить 12-16% олійного пилю (дрібні частинки рушанки – прохід через решето $\varnothing 3$ мм) в сепараторі А1-БДЗ [6,12], яку складно виділити з потоку повітря, циркулюючий повітряний потік насичуватиметься дрібними частинками рушанки, це призведе до підвищення втрат олії з лушпинням, ефективність сепарування значно знизиться.

Розглянемо технічні рішення стосовно модернізації пневмосепаруючого устаткування, які поділимо на 2 групи. Перша група – удосконалення конструкцій пневмосепаруючого каналу, а друга – удосконалення приймально-розподільчого пристрою.

Пневмосепаруюче устаткування 1 групи можна поділити на 2 підгрупи по місцю підведення зернового матеріалу – в нижню частину аспіраційного каналу або верхню, а також третю підгрупу – зміна робочого перетину пневмоканалу.

Наприклад 1 група – аспіраційний пристрій призначений для розділу аероиносних домішок від горішків кедрових (рис. 1.1) [10].

На дні пневмосепаруючого каналу дві похилих ділянки, одна повітропроникна (1), а інша суцільна для відведення горішків.

Рисунок 1.1 – Аспіраційний пристрій (група 1, підгрупа 1)

Друга підгрупа – пневматичний сортувальник (рис.1.2а), у вертикальному пневмоканалі периметру встановлені ярусами похилі пересипні пластини (1); класифікатор пневматичний (рис.1.2б), який забезпечений по осі пристроєм для підведення зернового матеріалу, який має розділові елементи та кільцеві розділові елементи з V-подібним профілем (1); гравітаційний пневмокласифікатор (рис.1.2в), в корпусі якого розміщені набори з плоских (1) і двосхилих перфорованих полиць однакової ширини (2), полиці кожного набору встановлені на одному рівні. Ширина плоских і двосхилих полиць становить третину ширини шахти, набори плоских і двосхилих полиць, чергуються по висоті шахти та виконані двох виді: верхній розташований по осі симетрії шахти представляє собою двоскатну полицю, що з'єднана з чотирма плоскими полицями, закріпленими на стінках шахти, а нижній – пари плоских і двосхилих полиць, що з'єднані між собою і закріплені на стінках шахти [10].

а

б

в

Рисунок 1.2 – Технічні рішення по удосконаленню пневмосепаруючого каналу (група 1, підгрупа 2)

Третя підгрупа – пневмосепаруючий канал для очищення та сортування зерна (рис. 1.3а) [10]. Стінка з протилежного боку завантажувального пристосування виконана у вигляді трикутного вигину, вершина якого направлена всередину пневмоканалу (1), утворює конфузорну і дифузорну зони каналу. Конфузорна зона знаходиться на рівні завантажувального пристосування, це дозволяє знизити втрати повноцінного зерна, яке потрапляє у відходи з легкими домішками, а також підвищується повнота виділення легких домішок. У пневмосепаруючому каналі (рис.1.3б) [10] аналогічно виконано місцеве звуження (1). Похила поверхня дифузорної зони виконана у вигляді решета (2), яка виключає повторне надходження дрібних домішок, які направляються по похилій поверхні дифузорної зони в конфузорну зону каналу.

а

б

Рисунок 1.3 – Технічні рішення, направлені на зміни робочого перетину пневмоканалу (група 1, підгрупа 3)

Розвантажувальне пристосування, що розташоване під решетом (2), здійснює відведення дрібних домішок поза каналом окремо від очищеного матеріалу. В результаті досягається підвищення якості очищення матеріалу.

Технічні рішення другої групи можна поділити на 3 підгрупи: стаціонарний приймально-розподільчий пристрій для рівномірного розподілу матеріалу, механічні приймально-розподільчі пристрої та приймально-розподільчі пристрої з решітною поверхнею для видалення дрібних частинок перед аспіраційним каналом.

Перша підгрупи – пневматичний сепаратор (рис.1.4а) [10, 12], на похилій поверхні завантажувального бункера (1) встановлені ступінчасті лотки (2), вони чергуються в шаховому порядку, це дозволяє досягти раціонального розшарування зернового матеріалу перед введенням в пневмосепаруючий канал і це дозволяє підвищити ефективність аеросепарування. У пневматичному сепараторі (рис. 1.4б) [17] встановлені один над одним увігнуті скатні лотки (1), що забезпечують рівномірний розподіл зернової суміші в пневмосепаруючому каналі.

а

б

Рисунок 1.4 – Стаціонарні приймально-розподільчі пристрої для рівномірного розподілу матеріалу (група 2, підгрупа 1)

Друга підгрупа – пневмосепаратор (рис. 1.5а) [10,12], приймально-розподільчий пристрій забезпечений обертовим живильником (1) з поверхнею у вигляді решета однополостного гіперболоїда обертання. У живильника центральна частина порожниста, а всередині на валу встановлені активатори (2), і це дозволяє підвищити якість сепарації завдяки попередньому виділенню

Рисунок 1.6 – Аеросепаратор з приймально-розподільним пристроєм з решітною поверхнею для видалення дрібних частинок перед аспіраційним каналом (група 2, підгрупа 3)

а також є вертикальна шиберна заслінка, яка суміжно встановлена з вертикальним аспіраційним каналом. Це дозволяє виключити забивання отворів решета лушпинням. Швидкість надходження в аспіраційний канал частинок матеріалу зменшується. Знижується підсмоктування повітря, що надходить в аспіраційний канал з матеріалом. В цілому це сприяє підвищенню ефективності відділення лушпиння з перевию.

Отже, аналіз існуючих конструкцій пневмосепаруючого обладнання свідчить про доцільність використання приймально-розподільчої камери з решітною поверхнею, що знижує винос ядра в лушпиння.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Дослідження аеродинамічних властивостей зернової сировини

Численні дослідження, розпочаті з 30-х років минулого століття, присвячені вивченню аеродинамічних характеристик зернової сировини, в тому числі і олійного насіння залишаються і зараз в центрі уваги розробників пневмосепаруючого обладнання.

Слід зазначити, що безперервна селекційна робота веде не тільки до поліпшення сортових особливостей, але і до зміни фізико-механічних властивостей насіння, в тому числі і соняшникового. Так, наприклад, насіння старих сортів соняшнику мали олійність 40-45% і між ядром і плодовою оболонкою був повітряний зазор. Нові сорти соняшнику – гібридні мають олійність 50% і більше, відрізняються фізико-механічними властивостями, в тому числі лінійними розмірами, а також відсутністю повітряного зазору, так як ядро і плодова оболонка практично зрослися, що істотно ускладнює їх технологічну переробку [1,10].

Тому, при переробці насіння соняшнику сучасних сортів на етапі поділу рушанки доводиться мати справу з частинками різної величини за розмірами і формою, а також зі зміщеним центром ваги, що істотно впливає на їх аеродинамічні характеристики. У зв'язку з цим необхідні достовірні дані по аеродинамічних властивостях компонентів рушанки насіння соняшнику сучасних сортів, що необхідні при розробці пневмосепаруючого обладнання.

Відмінності аеродинамічних властивостей частинок компонентів, що розділяються, визначають ефективність процесу пневмосепарування сипучих сумішей [7,10].

У зв'язку з тим, що поняття про швидкість руху засноване на досить повному поясненні аналізу сил, що діють на частинку в вертикальному повітряному потоці, і можливості прямого її вимірювання, то, на думку багатьох

вчених, коефіцієнт парусності найбільш повно характеризує аеродинамічні властивості, ніж коефіцієнт опору.

Існує кілька способів визначення аеродинамічних характеристик зернової сировини [10]: в вертикальній циліндричній трубці при підвішуванні частинки на нитці; в вертикальній циліндричній трубці при вільному падінні частинки; в вертикальній конічній трубці і на пневмокласифікаторі.

Деменьтьєв М.Н. отримав коефіцієнти опору зерен при продувці їх в аеродинамічній трубці, які використовував для розрахунку швидкості руху частинок v за такою формулою:

$$v = \sqrt{\frac{l \cdot \gamma_M}{k_c \cdot \rho_B}}, \quad (2.1)$$

де l – характерний розмір частинки, м;

γ_M – об'ємна вага матеріалу частинки, н/м³;

k_c – коефіцієнт опору частинки;

ρ_B – щільність повітря, кг/м³.

Аеродинамічні характеристики зерен пшениці і гороху експериментально визначені Безручкіним І.П. [5, 6] на стендовій установці з вертикальною циліндричною трубою і з вертикальною конічною трубою. В результаті встановлено, що значення коефіцієнтів опору, отримані на цих пристроях, близькі між собою.

Для визначення швидкості руху зернівок і засмічених домішок використовувався вертикальний повітряний канал прямокутного перетину розмірами 0,20x0,15 м. В результаті обробки експериментальних даних отримана залежність для розрахунку коефіцієнта опору k_c насіння пшениці, ячменю, сої та гречки [2,10]:

$$k_c = a + b \cdot Re + c \cdot Re^2, \quad (2.2)$$

де a , b і c – константи (для насіння сої: $a=0,46$; $b=-1,15 \cdot 10^6$; $c=1,07 \cdot 10^{-10}$);

Re – критерій Рейнольдса;

$$Re = \frac{\rho_B \cdot V_B \cdot d_e}{\mu}, \quad (2.3)$$

де μ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, кг/м·с;

d_e – еквівалентний діаметр частинки, м;

V_B – швидкість повітря, м/с.

Ямпіловим С.С. отримані емпіричні рівняння для розрахунку швидкості руху соломинок з одним вузлом в залежності від їх довжини і маси відповідно [2,7]:

$$v_L = 5,582 + 0,103 \cdot L, \quad (2.4)$$

$$v_M = 5,651 + 0,046 \cdot M, \quad (2.5)$$

де L – довжина соломинки, мм;

M – індивідуальна маса соломинок, мг.

Відомі залежності для розрахунку швидкості руху не дозволяють прогнозувати можливість поділу багатокomпонентних сумішей, але є важливими при розробці пневмосепаруючих пристроїв для очищення зернової сировини.

2.2 Дослідження швидкості руху частинок рушанки насіння соняшнику

Дослідженні швидкості руху частинок рушанки насіння соняшнику проводили на стендовій установці (ри.3.1).

На рисунку 2.1 представлені варіаційні криві розподілу швидкостей руху насіння соняшнику і недоруша. Як видно, значення швидкостей руху насіння соняшнику суміші змінюються в інтервалі 5,3-8,6 м/с, а для її недоруша – в інтервалі 5,6-8,1 м/с.

При визначенні швидкості руху лушпиння і ядра були використані зразки лушпиння, відібрані в кількості близько 2,5 кг з транспортера для відведення його з виробництва, і зразки ядрової фракції взяті з відповідних розділів аспіраційної камери насінневіяльної машини Р1-МС-2Т. Потім отримані зразки фракціонували на решетах з діаметрами отворів 3, 4, 5, 6, 7 мм і отримали п'ять фракцій лушпиння і три фракції ядра з характеристиками: схід з решета / прохід через решето з отворами діаметром (\emptyset), мм; лушпиння: перша – 3/4, друга – 4/5,

Рисунок 2.1 – Варіаційні криві швидкостей руху насіння соняшнику

третя – 5/6, четверта – 6/4, п'ята – 7/8; ядерна фракція: перша – 3/4, друга – 4/5, третя – 5/6. Після цього визначали швидкість руху частинок лушпиння за нижчевикладеною методикою.

v , м/с

Отримані варіаційні криві розподілу швидкостей руху частинок лушпиння різних фракцій представлені на рисунку 2.2. В результаті математичної обробки експериментальних даних швидкостей руху п'яти фракцій лушпиння була отримана залежність середньої швидкості руху частинок від її фракційного складу, яка описується ступінчастою функцією [3,7,10]:

Рисунок 2.2 – Варіаційні криві швидкості руху фракцій луш v , м/с

$$v_{sum} = \begin{cases} 2,13 \text{ при } d_{cep} > 5 \\ 3,29 \text{ при } 5 \leq d_{cep} \leq 7, \\ 3,67 \text{ при } d_{cep} > 7 \end{cases}, \quad (2.6)$$

де $d_{\text{сер}}$ – середній діаметр частинок лушпиння, який визначали як середньоарифметичну величину двох граничних розмірів – діаметри отворів решета для проходової та сходової фракцій.

Для вибору рівняння (2.6) найкращим критерієм є залежність (3.7), яка найбільш адекватно описує результати експерименту. Чим менше значення S , тим краще вибране рівняння описує експериментальні дані.

$$S = \sqrt{\frac{(v_{\text{виг } t} - v_{\text{виг } dt})^2}{n}}, \quad (2.7)$$

де $v_{\text{виг } t}$ – визначається за формулою (2.6);

$v_{\text{виг } dt}$ – значення швидкостей руху вибирали з таблиці 2.1;

n – кількість дослідів.

У таблиці 2.1 представлені значення експериментальних даних середніх швидкостей руху для еталонних частинок відповідних фракцій лушпиння виробничої суміші насіння соняшнику.

Таблиця 2.1 – Узагальнені експериментальні дані по швидкостях руху фракцій лушпиння насіння соняшнику

Середній діаметр частинок фракції, $d_{\text{сер}}$, мм	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Середня швидкість руху ($v_{\text{сер}}$), м/с	2,11	2,15	3,22	3,35	3,67
Середньоквадратичне відхилення, σ	0,208	0,270	0,490	0,464	0,330
Середня відносна похибка, %	9,87	12,56	14,63	14,41	8,99

Отримані результати швидкостей руху ядрових фракцій представлені на рисунку 2.3.

Рисунок 2.3 – Варіаційні криві швидкостей руху ядрової фракції

Як видно, варіаційні криві швидкостей руху утворюють сімейство кривих параболічної функції, а швидкість руху коливається в інтервалі 5,0-9,8 м/с. В результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння для розрахунку середньої швидкості руху частинок ядрових фракцій в залежності від їх середнього діаметра, яке описується параболічною функцією [10]:

$$v = -0,145d_{\text{сеп}}^2 + 2,09d_{\text{сеп}} + 0,561. \quad (2.8)$$

Для розрахунку середньоквадратичних відхилень швидкості руху частинок ядрових фракцій отримана наступна залежність:

$$\sigma = -0,045d_{\text{сеп}}^2 + 0,496d_{\text{сеп}} - 0,366. \quad (2.9)$$

У таблиці 2.2 представлені значення експериментальних даних середніх швидкостей руху для еталонних частинок відповідних ядрових фракцій виробничої суміші насіння соняшнику.

Таблиця 2.2 – Узагальнені експериментальні дані швидкостей руху частинок ядрової фракції насіння соняшнику

Середній діаметр частинок фракції, $d_{\text{ср}}$, мм	3,5	4,5	5,5
Середня швидкість руху ($v_{\text{дсеп}}$), м/с	6,10	7,03	7,67
Середньоквадратичне відхилення, σ	0,819	0,955	1,001
Середня відносна похибка, %	13,42	13,58	13,05

Експериментально було визначено швидкість руху частинок січки (подрібненого насіння соняшнику – ядро зрослося з лушпинням). Відбиралися вибірки частинок січки з трьох ядрових фракцій: схід решета $\varnothing 3$ мм і прохід через решето $\varnothing 4$ мм, схід решета $\varnothing 4$ мм і прохід через решето $\varnothing 5$ мм, схід решета $\varnothing 5$ мм і прохід через решето $\varnothing 6$ мм. В результаті визначення швидкості руху на стендовій установці (рис. 3.1) і за раніше описаною методикою було встановлено, що швидкість руху частинок січки відрізняється від швидкості руху ядра в межах помилки експерименту.

Розглянемо варіаційні криві швидкості руху компонентів рушанки – ядра, лушпиння, недоруша, олійного пилу на одному графіку (рис. 2.4).

Рисунок 2.4 – Варіаційні криві розподілу швидкостей руху: 1, 2, 3, 4, 5 відповідно фракції частинок лушпиння з $d_{\text{сер}}$: $\varnothing 3,5$; $\varnothing 4,5$; $\varnothing 5,5$; $\varnothing 6,5$ та $\varnothing 7,5$ мм; 6 – олійний пил; 7, 8, 9 – відповідно фракції частинок ядра з $d_{\text{сер}}$: $\varnothing 3,5$; $\varnothing 4,5$ та $\varnothing 5,5$ мм; 10 – недоруш; 11 – насіння соняшнику, виробнича суміш

Аналіз зміни характеру варіаційних кривих розподілу швидкості руху компонентів рушанки показує наступне. По-перше, зі збільшенням середнього діаметру частинок лушпиння від 3,5 до 7,5 мм їх швидкість руху збільшується від 1,8 до 4,5 м/с.

Варіаційні криві п'яти фракцій лушпиння перекривають один одного в різній ступені і зміщені щодо осі абсцис не рівномірно. По-друге, можна виділити дві групи варіаційних кривих розподілу швидкостей руху частинок лушпиння. Варіаційна крива розподілу швидкості руху фракції 1 майже повністю перекриває варіаційну криву розподілу фракції 2 в інтервалі швидкостей руху 1,8-3,0 м/с.

У другій групі варіаційні криві розподілу швидкостей руху фракцій 3-5 згруповані в інтервалі 2,5-4,5 м/с.

Практичний інтерес представляє варіаційна крива 6 розподілу швидкості руху олійного пилу (прохід через решето $\varnothing 3$ мм, схід з решета $\varnothing 2$ мм), яка займає проміжне положення між варіаційними кривими фракцій лушпиння і недоруша. З рисунку 3.5 видно, що з одного боку варіаційну криву розподілу швидкості руху 5 (лушпиння з $d_{\text{сер}}=7,5$ мм) частково перекриває варіаційна крива 6. З іншого боку крива 6 частково перекриває варіаційну криву фракції недоруша

10. Слід зазначити, що варіаційна крива 10 розподілу швидкості руху недоруша повністю перекривається варіаційною кривою 11 швидкості руху насіння соняшнику і знаходяться відповідно в інтервалі зміни швидкостей руху 5,5-8,1 м/с і 5,4-8,6 м/с. При цьому зміна швидкості руху частинок ядрової фракції коливається від 5,0 до 9,8 м/с. Тому в вертикальному повітряному потоці насіння соняшнику і недоруша від частинок ядрової фракції відокремити повністю не представляється можливим.

Таким чином, порівняння варіаційних кривих швидкостей руху (рис.2.4) у вертикальному повітряному потоці показує, що можна теоретично відокремити частинки лушпиння від частинок ядра, але тільки в тому випадку, якщо буде попередньо видалений весь олійний пил з рушанки.

Проведений порівняльний аналіз характеру зміни варіаційних кривих розподілу швидкості руху частинок рушанки показує, що для того щоб обґрунтувати вибір робочих параметрів пневмосепарування в вертикальному повітряному потоці, згідно поставлених завдань дослідження, недостатньо знати характер зміни швидкостей руху частинок рушанки. Важливо також знати реальний компонентний і фракційний склад рушанки, одержуваної в кожному розділі розсівання насінневіяльної машини Р1-МС-2Т при її роботі в виробничих умовах.

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика дослідження аеродинамічних властивостей зернової сировини

Можливість і оцінка ступеня поділу зернових сумішей за рахунок їх різних аеродинамічних характеристик може проводитися на підставі аналізу варіаційних кривих розподілу зміни аеродинамічних властивостей, які можна отримати і за допомогою пневмокласифікатора, використовуваного для цих цілей в зернопереробній промисловості. В пневмокласифікаторі здійснюють послідовне продування навіски зернового матеріалу, збільшуючи швидкість повітряного потоку через рівні інтервали. Потім визначають маси вихідної навіски і віднесеної повітряним потоком на кожному етапі експерименту і за отриманими даними будують варіаційні криві розподілу швидкості руху об'єкта дослідження.

Значення швидкості руху насіння соняшнику сучасних і старих сортів коливаються в досить широких інтервалах за даними різних авторів [2,7]. Наприклад, для насіння старих сортів $v = 3,0-9,76$ м/с, для сучасних сортів $v = 7,3-8,4$ м/с, $v_{cp} = 6,4$ м/с, $v = 6,0-9,0$ м/с. Останні дослідження показали, що в залежності від товщини насіння соняшнику 3,16-4,14 мм інтервал швидкості руху v склав 7,16-7,78 м/с.

У виробництві рослинної олії при обрушенні насіння соняшнику виходить рушанка, яка представляє собою суміш частинок різної величини, що складається з цілого насіння, їх морфологічних частин (січки, недоруша) і окремих компонентів (лушпиння, олійного пилу). Тому значення їх аеродинамічних характеристик коливаються в широких інтервалах і залежать від сорту насіння, зони і умов вирощування і фізико-механічних властивостей окремих компонентів та способу обрушення насіння [14].

Експериментальними дослідженнями встановлені інтервали значень швидкостей руху для соняшникового насіння старих сортів і компонентів

рушанки – ядра, лушпиння, недоруша, січки й олійного пилу. Отримані дані дозволили зробити висновок про те, що поділ рушанки в вертикальному повітряному потоці без попереднього його сортування по фракціях недоцільно [14], так як у відведене лушпиння буде нестися неприпустима кількість дрібних частинок ядра – цільового компонента, понад нормативних вимог (не більше 0,4%), що призведе до підвищених втрат олії з лушпинням.

Порівняльний аналіз методів вивчення аеродинамічних характеристик і наявних даних за швидкостями руху соняшникового насіння і компонентів рушанки показує наступне. По-перше, швидкість руху частинок з достатньою точністю для інженерних розрахунків можна визначити у вертикальній циліндричній трубі, що продувається повітрям. По-друге, відсутні експериментальні дані по швидкостях руху компонентів рушанки насіння соняшнику сучасних сортів.

3.2 Методика дослідження швидкості руху частинок рушанки насіння соняшнику

Для дослідження швидкості руху насіння соняшнику і частинок рушанки була створена стендова установка (рис. 3.1). Стендова установка складається з вентилятора 1, циклону 3, скляної труби 5, сіточок 6, повітропроводів 7, заслінок 8 і термоанемометра 9. Вертикальна скляна труба 5 довжиною $L = 1$ м і внутрішнім діаметром $d = 57$ мм закріплена в верхньому і нижньому фланці. Вентилятор 1, циклон 3 і скляна труба 5 з'єднані між собою повітропроводами 7 в замкнутий контур. У повітропроводах 7 встановлені завантажувальний патрубок 4 і патрубок 2 для відводу повітря. На нижньому фланцевому з'єднанні скляної труби 5 і за відведенням повітропроводу 7 встановлені сіточки 6, для вирівнювання швидкості потоку повітря.

Рисунок 3.1 – Схема стендової установки для визначення швидкості руху частинок рушанки

Регулювали швидкість потоку повітря за допомогою двох поворотних заслінок 8, встановлених до сіточок 6 перед скляною трубою 5 і в патрубку 2 для відведення повітря з контуру. Швидкість потоку повітря і його температуру фіксували термоанемометром 9 відповідно з точністю 0,1 м/с і 0,1°C. Зонд термоанемометра поміщали в центр повітропровідної труби і жорстко закріплювали за допомогою гумового ущільнення. Так як частинки рушанки, в тому числі і вільного лушпиння, мають складну форму і зміщений центр ваги, вони рухаються в діапазоні зміни швидкості повітряного потоку. А.С.Кеммер запропонував за швидкість руху приймати таку граничну швидкість повітря в трубі, при найменшому підвищенні якої частка несеться потоком повітря.

На вертикальній скляній циліндричній трубі виділили відмітками ділянку по висоті 250 мм (робоча ділянка), в якій частинки мають стійкий коливальний рух вгору і вниз, під час продування повітряним потоком. При цьому в разі незначної зміни швидкості повітря частинка або несеться з цієї зони, або падає вниз, а за швидкість руху приймалася швидкість повітряного потоку, яка фіксувалася термоанемометром 9, коли частинка знаходилася в коливальному русі на робочій ділянці.

Об'єктами дослідження були компоненти рушанки і рушанка насіння соняшнику виробничої суміші вологістю 6,8-7,0%.

Методика проведення експерименту визначення середньої швидкості руху частинок була наступна. Сім'янку через патрубок 4 поміщали на сіточку 6 всередині скляної труби 5. Після герметизації патрубка 4 включали вентилятор 1 і за допомогою заслінки 8 регулювали швидкість повітряного потоку таким чином, щоб частинка рухалася в робочій зоні скляної труби 5. Після завершення експерименту, регулюючи положення заслінки 8, збільшували швидкість повітряного потоку, який ніс частинку в циклон 3. Середню швидкість руху для кожної частинки розраховували з п'яти повторних вимірювань при сталому їх коливальному русі на робочій ділянці скляної труби 5. Відносна помилка середнього вимірювання швидкості руху всіх об'єктів дослідження не перевищувала $\pm 6,9\%$ [17].

3.3 Методика дослідження поділу рушанки насіння соняшнику в аеросепараторі

На деяких олійних підприємствах для контролю перевію використовується аеросепаратор МКА-400. Відповідно до поставлених завдань вдосконалення конструкції аеросепаратора МКА-400 спрямоване на його використання замість аспіраційної камери насінневияльної машини Р1-МС-2Т, вимагає вивчення впливу конструктивно-технологічних параметрів на ефективність пневмосепарування відкаліброваних фракцій рушанки, одержуваних після розсіву насінневійки.

На ефективність роботи аеросепаратора впливають наступні основні фактори [6,10]:

- величина питомого навантаження по рушанці;
- швидкість повітряного потоку;
- рівномірність повітряного потоку в аспіраційном каналі;
- початкова швидкість частинок рушанки, що надходять в вертикальний

аспіраційний канал.

Для визначення інтервалу значень питомого навантаження по рушанці в приймальній камері аеросепаратора необхідно визначити на працюючій машині Р1-МС-2Т навантаження по рушанці в кожному розділі п'ятиканальної аспіраційної камери і фракційний склад одержуваних фракцій рушанки після розсіву. Так як з розсіву насінневіяльної машини Р1-МС-2Т виходять шість фракцій, які надсилаються відповідно до п'ятиканальної аспіраційної камери і шоста фракція олійного пилу (прохід частинок через решето $\varnothing 3$ мм) безпосередньо відводиться в транспортер ядрової фракції, то проби необхідно відбирати в кожному розділі (каналі).

Для вимірювання величин повітряного потоку і перепаду тиску необхідно передбачити можливість установки відповідних приладів.

Початкова швидкість частинок рушанки, що надходять в вертикальний аспіраційний канал буде залежати від кута нахилу приймальної камери, від початкової швидкості надходження і коефіцієнта тертя частинок по її решітній поверхні і питомого навантаження.

3.4 Методика визначення основних технологічних параметрів роботи насінневіяльної машини Р1-МС-2Т

Визначення основних технологічних параметрів роботи насінневіяльної машини Р1-МС-2Т, таких як навантаження по рушанці для розділів п'ятиканальної аспіраційної камери, фракційного і компонентного складу кожної фракції здійснювали при переробці виробничої суміші соняшникового насіння вологістю 6,8-7,0%, засміченістю 2,0-2,13%, олійністю насіння 48-50%, лущинчастю 26-28%, ботанічною олійністю лущиння 2,5-2,7% [7].

Для визначення навантаження по розділах розсіву насінневіяльної машини вихідний потік відкаліброваної рушанки з відповідного каналу повністю перекривали пластиковим мішком і відбирали проби.

Тривалість відбору проб рушанки фіксували секундоміром з точністю 0,1с. Відібрані проби рушанки зважували на вагах з точністю до 1 г. Проводили по п'ять повторних замірів на кожному розділі розсіву насінневіяльної машини. В результаті була визначена загальна продуктивність насінневіяльної машини, яка склала 76,4 т на добу по насінню соняшнику (паспортна продуктивність 80 т за добу).

На рисунку 3.6 представлена гістограма розподілу навантаження по рушанці в кожному розділі розсіву насінневіяльної машини.

Навантаження по рушанці, кг/год.

Олійний пил

Номер розділу насінневійки P1-МС-2Т

Рисунок 3.6 – Гістограма розподілу навантаження (кг/год.) по рушанці в кожному розділі аспіраційної камери насінневіяльної машини P1-МС-2Т

Як видно, навантаження по рушанці розподілене не рівномірно і найбільш навантаженим є перший розділ, в який надходить ціляк і недоруш, що становить 32,6% від продуктивності насінневіяльної машини. У позавітровий розділ відводиться олійний пил – всі частинки рушанки, які пройшли через решето діаметром 3 мм в попередньому розсіві та нижньому ярусі решіт розсіву. Кількість олійного пилу склало 28,2% від продуктивності насінневіяльної машини. Таким чином, при обрушенні на бичовах рушках виробничої суміші насіння соняшнику сучасних сортів вміст як недоруша, так і олійного пилу помітно більший, ніж представлено в паспортній характеристиці бичової

насіннерушки НРХ і відповідно становить для ціляка і недоруша 18-20%, а для олійного пилу 12-16% [14,7]. Згідно з отриманими результатами, рекомендується при проектуванні нових і реконструкції існуючих рушально-віяльних цехів на ділянці контролю недоруша приймати кількість рушально-віяльних агрегатів, яка буде відповідати фактичному навантаженню по фракції ціляка і недоруша, тобто близько 35% від продуктивності РВЦ.

У таблиці 3.3 представлені значення питомого навантаження по рушанці в каналах аспіраційної камери насінневіяльної машини Р1-МС-2Т та розраховане питома навантаження по рушанці для аеросепараторів, якщо їх використовувати для поділу рушанки замість існуючої аспіраційної камери.

Таблиця 3.3 – Питоме навантаження по рушанці насіння соняшнику, q , кг/(см·ч) фактичне для аспіраційної камери і розрахована для аеросепаратора

Найменування обладнання	Номер розділу аспіраційної				
	I	II	III	IV	V
Аспіраційна камера насінневіяльної машини Р1-МС-2Т (ширина каналу аспіраційного каналу 260 мм)	34,7	14,7	13,3	4,8	9,0
Аеросепаратор (ширина пневмосепаруючого каналу 400 мм)	22,6	9,6	8,6	3,1	5,8

Таким чином, представлені результати в таблиці 3.3 дозволяють обґрунтувати значення питомого навантаження при проведенні експериментальних досліджень роботи аеросепаратора в стендових умовах для кожної фракції рушанки.

Важливим є інформація про розподіл навантаження по вільному лушпинню в кожному розділі розсіву насінневіяльної машини, так як цей показник визначає реальний склад модельної суміші рушанки для вивчення процесу пневмосепарування в стендових умовах.

На рисунку 3.7 представлено розподіл навантаження по вільному лушпинню, яке міститься в потоці рушанки, що надходить до відповідного каналу п'ятиканальної аспіраційної камери насінневіяльної машини Р1-МС-2Т.

Вміст вільного лушпиння,
кг/год.

Номер розділу насінневійки Р1-МС-2Т

Рисунок 3.7 – Гістограма розподілу навантаження (кг/год.) по вільному лушпинню в кожному розділі аспіраційної камери насінневіяльної машини Р1-МС-2Т

Як видно, навантаження по вмісту вільного лушпиння в кожному каналі нерівномірне. В першому каналі (потік недоруша і ціляка) навантаження по вільному лушпинню становить 57,2% від загального навантаження по вільному лушпинню в рушанці, що надходить в насінневіяльну машину. Слід зазначити, що в наступних розділах від другого до четвертого розділу навантаження по вільному лушпинню зменшується від 16,1 до 6,9%, а в п'ятому розділі питома навантаження по лушпинню зростає до 9,1% від загального навантаження по вільному лушпинню в рушанці (рис. 3.7). Очевидно, така нерівномірність навантаження пов'язана з особливістю багаторазового удару насінини в бичовій насіннерушці, що обумовлює відповідний фракційний склад лушпиння, який відрізняється від фракційного складу лушпиння, одержуваного в рушанці при одноразовому обрушенні в відцентровій рушці [24,2].

Для визначення фракційного складу з проб рушанки, що відбираються при визначенні навантаження по розділах насінневіяльної машини Р1-МС-2Т, виділені навіски масою 100 г [10]. З отриманих навісок відібрані наступні

фракції: недоруш (ціле, необрушене відкаліброване насіння соняшнику), січка недоруша (частково обрушене насіння соняшнику), вільне лушпиння (вільна плодова оболонка), ядерна фракція (суміш цілого і дробленого ядра), а також сміттєві домішки. В результаті отримано процентний вміст фракцій в рушанці для кожного розділу (I-IV) насінневіяльної машини P1-МС-2Т (рис. Б.1). Як видно, вміст вільного лушпиння змінюється від 13,6 до 27,6% від навантаження відповідного розділу насінневіяльної машини, при цьому вміст засмічених домішок не перевищує 2,2% від навантаження відповідного розділу.

Таким чином, загальна кількість аеровиносних частинок (вільне лушпиння та сміттєві домішки), яку необхідно відокремити в пневмосепаруючому пристрої, змінюється в діапазоні від 14,7 до 29,1% від навантаження відповідного розділу. Вміст недоруша в розділах I-III змінюється від 7 до 15,5% і січки недоруша в розділах II-V змінюється від 3 до 12,2% від навантаження по кожному розділу, що призводить до збільшення загальної лушпинчатості, так як тільки рушанка з першого розділу направляється на повторне обрушення.

Для характеристики кожної фракції розділів насінневіяльної машини P1-МС-2Т визначався компонентний склад кожної фракції рушанки методом решітного аналізу [10]. Отримані результати у вигляді полігонів розподілу в залежності від діаметра решіт, на яких їх фракціонували, представлені на [рисунках Б.2-Б.5](#).

З [рисунку Б.2](#) видно, що в кожному потоці рушанки, що надходить у відповідний розділ п'ятиканальної аспіраційної камери, в складі ядрової фракції вміст олійного пилу (прохід через решето $\varnothing 3$ мм) змінювався від 0,2% в першому каналі (недоруш) до 53,3% в п'ятому каналі.

Таким чином, розсів насінневіяльної машини не забезпечує повного відділення олійного пилу. Як видно з [рисунку Б.3](#), в потоці недоруша, який надходить до першого розділу (недоруш), у вільному лушпинні майже 90% складають частинки лушпиння сходових фракцій з решета $\varnothing 4$, $\varnothing 5$ і $\varnothing 6$ мм приблизно в однаковому співвідношенні. У другому і в третьому розділах (ядерна фракція) більше 50% міститься частинок лушпиння сходової фракції з

решета $\varnothing 4$ мм. Різко змінюється фракційне співвідношення частинок лушпиння в четвертому і п'ятому розділах, де частинок лушпиння прохідової фракції через решето $\varnothing 3$ мм становить відповідно 53% і 62%. З **рисунку Б.4** видно, що у вмісті січки недоруша в другому і третьому розділах переважають частинки сходових фракцій з решета $\varnothing 4$ і $\varnothing 5$ мм, в четвертому і п'ятому розділах (ядерна фракція) переважають частинки сходової фракції решета $\varnothing 4$ мм і прохідової фракції з решета $\varnothing 3$ мм. Так як по швидкості руху частинки недоруша і ядра практично не мають відмінностей, то їх переважна частина буде потрапляти в відведену ядрову фракцію. З **рисунка Б.5** видно, що недорух (ціле насіння) є в другому і в третьому розділах, який потрапляє в ядрову фракцію.

Таким чином, порівняльний аналіз за вмістом фракційних частинок ядра і лушпиння, січки недоруша і ціляка дозволяє зробити висновок, що в кожен розділ п'ятиканальної аспіраційної камери надходить потік частинок різної величини цих компонентів, що необхідно враховувати при подальших дослідженнях пневмосепарування кожної фракції рушанки. Крім цього слід зазначити, що розсів насінневіяльної машини не забезпечує повного відділення дрібних частинок ядра від інших фракцій. Цим пояснюється високий винос ядра в лушпиння, який в цілому досягає до 1,1% після аспіраційної камери насінневіяльної машини Р1-МС-2Т. Отримані результати дозволили обґрунтувати компонентний і фракційний склад модельних зразків рушанки.

Висновок. Розглянуті методики дослідження процесу пневмосепарування у вдосконаленому аеросепараторі в стендових умовах, за якими проводилися експериментальні дослідження.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Визначення поля швидкостей повітряного потоку у вертикальному пневмосепаруючому каналі аеросепаратора МКА-400

Рівномірність повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі є одним з основних факторів, що впливають на ефективність пневмосепарування [5, 10]. Експериментальне визначення поля швидкостей повітряного потоку у вертикальному пневмосепаруючому каналі аеросепаратора МКА-400 для контролю перевію, проводили на стендовій установці, схема якої представлена на рисунку 4.1.

Рисунок 4.1 – Схема стендової установки для визначення аеродинамічної характеристики аеросепаратора

Установка складається з аеросепаратора МКА-400 (1), вентилятора (2), з'єднуючих повітропроводів (3) з заслінкою (4). Швидкість потоку повітря і величини повного опору аеросепаратора визначали за допомогою диференціального електронного мікроманометра ДМЦ-10 (5).

Аеросепаратор МКА-400 (рис.4.2) являє собою зварену металеву конструкцію, яка складається з вертикального аспіраційного каналу (6) і приймального пристрою (1) приймального пристрою (1) встановлено решето (2), в верхній частині якого розташований відбійний лист (11) з оцинкованого заліза. Нижня кромка решета (2) відігнута і являє собою горизонтальну відбортовану кромку (3). Верхня частина приймального пристрою (1) забезпечена завантажувальним патрубком (4), а нижня частина з'єднана на шарнірі (5) з вертикальним аспіраційним каналом (6), який забезпечений у верхній частини патрубком (9) для відводу лушпиння з потоком повітря, а в нижній частині перегородкою (7). Перегородка (7) розділяє аспіраційний канал (6) на два прямокутних патрубка (8) для відводу ядрової фракції, забезпечених заслінками (10) і (13). Рухома заслінка (12) призначена для регулювання повітря, що підсмоктується з матеріалом, який надходить через приймальний пристрій (1) в вертикальний аспіраційний канал (6).

Рисунок 4.2 – Схема аеросепаратора

При дослідженні поля швидкостей повітряного потоку у вертикальному пневмосепаруючому каналі аеросепаратора МКА-400 була встановлена нерівномірність зміни швидкостей повітряного потоку, які показані у вигляді нерівномірних профілів полів швидкостей по ширині і довжині пневмосепаруючого каналу на [рисунку В.1](#), з якого видно, що якщо

нерівномірність повітряного потоку в перетинах 1, 2, 4, 5 змінюється незначно, то при зміні довжини горизонтальної ділянки решета від 0 до 30 мм, що виступає в вертикальному пневмосепаруючому каналі, в перерізі 3 нерівномірність повітряного потоку помітно змінюється. Для випадку, коли горизонтальна ділянка решета знаходиться в приймальному пристрої (крива 3) нерівномірність повітряного потоку на 48% менше ніж, коли горизонтальна ділянка решета виступає на 30 мм в пневмосепаруючому каналі (крива 1).

Помітна нерівномірність повітряного потоку по перетинах 1-5 (рис. В.2) у визначальній мірі обумовлена умовами введення повітряного потоку в його нижню частину і положенням робочих заслінок, а також становищем відбортованого решета в горизонтальній площині, за яким надходить рушанка в вертикальний пневмосепаруючий канал. В результаті випробуванні аеросепаратора МКА-400 на рушанці встановлено, що при робочому мінімальному куті нахилу приймального пристрою в 55° рушанка рухається прискорено і при потраплянні в пневмосепаруючий канал частинки лушпиння вдаряються об протилежну стінку і падають вниз.

Таким чином, конструкція аеросепаратора МКА-400 при роботі на рушанці не дозволяє здійснювати ефективне відділення лушпиння. В конструкцію аеросепаратора МКА-400 були внесені наступні технічні зміни. По-перше, з метою зменшення нерівномірності поля швидкостей повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі горизонтальну ділянку довжиною 30 мм перемонтували в приймальний пристрій. Так само в подальшому при роботі аеросепаратора на рушанці положення робочої заслінки в приймальному пристрої встановлювали з мінімально допустимим зазором. По-друге, фіксатор на шарнірі (5) (рис. 4.2) переробили таким чином, щоб мінімальний кут приймального пристрою склав 20° .

4.2 Визначення аеродинамічної характеристики удосконаленої конструкції аеросепаратора

Для розрахунку пневмотранспортної системи, в тому числі повітродувної машини, яка забезпечує роботу повітряного сепаратора, необхідні достовірні дані і по його аеродинамічній характеристиці. Аеродинамічною характеристикою сепаратора є залежність між повним опором і кількістю повітря, що протікає через нього [10].

Величину повного опору повітряного сепаратора визначають як суму місцевих опорів всіх фасонних деталей, встановлених в ньому. Така методика визначення величини повного опору не зручна для практичного застосування і не дозволяє отримати достовірних результатів, так як неможливо врахувати зміну швидкості повітряного потоку внаслідок витоків або підсосів в системі і вплив нерівномірності повітряного потоку в кожній фасонній деталі. Тому для більш зручного і точного визначення повних втрат тиску в повітряних сепараторах рекомендується використовувати наступну емпіричну залежність

$$\Delta H_M = \varepsilon \cdot Q_c^n, \quad (4.1)$$

де ε – коефіцієнт опору повітряного сепаратора, що залежить від його конструкції;

Q – обсяг повітря, що протікає через повітряний сепаратор, м³/с [11]:.

Залежність (4.1) справедлива для повітряних сепараторів з постійними конструктивними параметрами. Як відомо, коефіцієнт опору повітряного сепаратора залежить від його конструктивних особливостей.

Експериментальне вивчення аеродинамічної характеристики вдосконаленого аеросепаратора проводили на стендовій установці згідно методики (рис. 4.2).

Отримані результати представлені на рисунку 4.3. Як видно залежність втрати повного тиску в аеросепараторі МКА-400 від витрати повітря, що протікає через нього, є сімейством параболічних кривих описуваних залежністю (4.1) при показнику ступеня $n = 2$.

-

Рисунок 4.3 – Залежність величини втрати повного тиску вдосконаленого аеросепаратора від витрати повітря при робочій площі перетину патрубку для відводу матеріалу: а – 150 см², б – 225 см², в – 300 см² і робочій площі перетину патрубку приймального пристрою: 1 – 28 см², 2 – 68 см², 3 – 108 см²

В результаті обробки експериментальних даних методом найменших квадратів [17] отримана емпірична залежність для розрахунку коефіцієнта опору вдосконаленого аеросепаратора (рис.4.4):

Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнта опору аеросепаратора від площі робочого перерізу патрубків приймального пристрою при площі робочого перерізу патрубків для відводу матеріалу: 1–150 см², 2 – 225 см², 3 – 300 см²

$$\varepsilon = 10700 - 70 \cdot S_1 - 26,7 \cdot S_2 + 0,19 \cdot S_1 \cdot S_2, \quad (4.2)$$

де ε – коефіцієнт опору аеросепаратора;

S_1 – площі робочого перерізу патрубків приймального пристрою, см²;

S_2 – площі робочого перерізу патрубків для відводу матеріалу, см².

Втрати повного тиску в аеросепараторі, при роботі на чистому повітрі можна визначити за емпіричною залежністю:

$$\Delta H_M = (10700 - 70 \cdot S_1 - 26,7 \cdot S_2 + 0,19 \cdot S_1 \cdot S_2) \cdot Q^2, \quad (4.3)$$

де ΔH_M – величина повних втрат в аеросепараторі, Па;

Q – витрата повітря, м³/с.

Вивчено вплив питомого навантаження по рушанці на величину втрат повного тиску в аеросепараторі (рис. В.3) і отримано рівняння для його розрахунку:

$$\Delta H = \Delta H_M + 6,576 \cdot q, \quad (4.4)$$

де $q = 4,9-24,4$ – питоме навантаження по рушанці, кг/(год·см).

Розбіжності розрахованих значень ΔH за рівнянням (4.4) і експериментальних даних коливаються в інтервалі 0,4-15,5%. Рівняння (4.4) рекомендується використовувати при розрахунку пневмотранспортної системи аеросепараторів в рушально-віяльному відділенні олійних підприємств.

4.3 Дослідження сепарування фракцій рушанки насіння соняшнику в удосконаленому аеросепараторі

Експериментальні дослідження сепарування фракцій рушанки насіння соняшнику проводилися на стендовій установці (рис. 4.5), яка складається з завантажувального бункера (1), вдосконаленого аеросепаратора (2), осаджувальної камери (4), бункера (5) для частинок лушпиння і вентилятора (7). Аеросепаратор (2) з'єднаний з осаджувальною камерою (4) і вентилятором (7) повітропроводами. У повітряпроводі на виході з аеросепаратора (2) встановлено диференційний мікроманометр ДМЦ-10 з пневмометричною трубкою Піто (3) для визначення швидкості повітряного потоку і величини втрати тиску. Перед вентилятором (7) встановлена заслінка (6) для регулювання витрати повітря. В металевому корпусі аеросепаратора (2) з боку вивантаження матеріалу (насіння, ядра) була вирізана вертикальна ділянка металевого корпусу розмірами 350x800 мм, замість якого встановлено оргскло товщиною 3мм (2.1) і з торця встановлено оглядове вікно (2.2). Таке рішення дозволило за допомогою швидкісної відеозйомки фіксувати характер руху частинок лушпиння в вертикальному повітряному потоці в пневмосепаруючому каналі аеросепаратора (2) з двох точок.

У приймальному пристрої аеросепаратора (2.3) встановлена з оргскла верхня кришка (2.4). Як у вертикальному каналі, так і в приймальному пристрої аеросепаратора (2) були встановлені лінійки (стрічка рулетки) для визначення шляху, пройденого частинкою при русі її по похилій поверхні приймального пристрою і в повітряному потоці в вертикальному каналі, що дозволило

Рисунок 4.5 – Схема стендової установки для дослідження процесу пневмосепарування у вертикальному повітряному потоці

відеозйомкою фіксувати характер переміщення частинок рушанки і розрахувати їх середню швидкість руху.

Вихідний матеріал (рушанка з заданим фракційним складом) попередньо готувався з урахуванням отриманих результатів по роботі насінневіяльної машини Р1-МС-2Т. У рушанку додавали 50 частинок вільного лушпиння різних фракцій, попередньо забарвлених в оранжевий колір, пропорційно його кількісному складу. Потім включали вентилятор (4), регулюючи положення заслінки (7), виставляли задану швидкість повітряного потоку. Вихідний матеріал з завантажувального бункера (1), при встановленому положенні заслінки 1.1, безперервно подавали в верхню частину приймального пристрою аеросепаратора (2). В цей же момент включали відеокамери. Зйомку вели з торця і по довжині пневмосепаруючого каналу. Аналізу піддавалися кадри зйомки в усталений період роботи аеросепаратора (2). Після завершення кожного етапу експерименту визначали склад ядрового фракції на утримання вільного

лушпиння після аеросепаратора і винос ядра в лушпиння у відокремленій лушпинчастій фракції, яка збиралася в бункері (5).

На першому етапі дослідження для кожної фракції рушанки при заданому питомому навантаженні підбирали таку швидкість повітряного потоку, при якій досягався мінімально допустимий винос ядра в лушпиння (не більше 0,4%) і мінімальний вміст лушпиння в ядровій фракції (не більше 12,0%) [14]. Результати експериментальних досліджень представлені у таблиці 4.1 та у вигляді графічних залежностей на [рисунок В.4-В.5](#).

Таблиця 4.1 – Вміст вільного лушпиння в ядровій фракції і винос ядра в лушпиння при різних параметрах роботи аеросепаратора

Фракції рушанки	Питоме наванження, q , год, кг/(год·см)		Швидкість повітря, V , м/с	Вільне лушпиння, %	Винос ядра в лушпиння, %	Прохід через решето $\varnothing 4,5$ мм в приймальному пристрої, %
	для насіннєвіальної машини	для аеросепаратора				
I	22,6	22,1	4,5	4,2	0,3	1,8
II	9,6	8,4	4,0	5,7	0,15	2,41
III	8,6	7,6	3,4	7,2	0,22	3,13
IV	3,1	3,2	3,1	8,3	0,2	3,37
V	5,8	5,9	2,8	9,8	0,25	3,4

Як видно, зі збільшенням питомого навантаження зменшується винос ядра в лушпиння. Очевидно, така закономірність пов'язана з тим, що збільшується концентрація аеровиносних частинок і за рахунок їх стисненого руху збільшується ймовірність зіткнення з частинками ядра, що і веде до зниження їх виносу з лушпинням. Зі збільшенням питомого навантаження винос лушпиння в ядрову фракцію збільшується, очевидно, за рахунок того, що з збільшенням концентрації вільного лушпиння в потоці відбувається зіткнення між ними. Як наслідок, втрата кінетичної енергії частинок і зменшення їх швидкості руху. В результаті вони падають вниз і виводяться разом з ядровою фракцією.

Потім при раціональних параметрах питомого навантаження q і швидкості повітря V повторювали експеримент і проводили відеозйомку. За результатами обробки кадрів відеозйомки розраховували середню швидкість руху зафіксованих частинок в потоці.

На **рисунку В.6** у вигляді графічної залежності представлена зміна швидкості руху потоку частинок рушанки по похилому решету ($\alpha=30^\circ\text{C}$) в приймальній пристрої, зафіксоване відеокамерою.

Як видно, збільшення питомого навантаження по рушанці від 2,97 до 24,4 кг/(год·см) призводить до зміни швидкості потоку рушанки від 1,22 до 1,93 м/с по лінійній залежності.

З урахуванням отриманих результатів з розподілу поля швидкостей в аспіраційному каналі ділянку горизонтальної решітної поверхні в 30 мм розташували в приймальній пристрої. Як встановлено відеозйомкою, час руху частинок по ньому складає доли секунди.

Тому припускаємо, що величина швидкості руху частинок рушанки по горизонтальній ділянці практично не змінюється, а змінюється їх напрямок руху.

На **рисунку 4.6** представлені траєкторії криволінійного руху частинок лушпиння при різному питомому навантаженні в зоні надходження в пневмосепаруючий канал. Точки кожної траєкторії зафіксовані відеозйомкою з інтервалами часу 1/60 сек. Як видно, суттєве відхилення від кривої 1, розрахованої за рівнянням В.Ф.Веденьєва. Очевидно, така розбіжність пов'язана з зіткненням між частинками лушпиння і їх обертанням, що й обумовлює їх складний рух і зміну траєкторій руху.

Траєкторії руху частинок лушпиння в вертикальному пневмосепаруючому каналі аеросепаратора, зафіксовані відеозйомкою, представлені на **рисунках В.7-В.10**. Точки на кожній траєкторії показують знаходження частинок лушпиння через 1/30 секунди. Частинки лушпиння рухаються уздовж стінок каналу, при цьому їх швидкості неоднакові.

Рисунок 4.6 – Траєкторії криволінійного руху частинок лушпиння:
1 – теоретична; 2 – $q=4,9$ кг/(год·см); 3 – $q=7,6$ кг/(год·см); 4 – $q=10,8$ кг/(год·см)
5 – $q=13$ кг/(год·см)

Частинки лушпиння переміщаються від вертикалі в поперечному напрямку як від осі каналу до стінок, так і в зворотному напрямку.

Всі частинки лушпиння з поступальним рухом вгору вздовж каналу також здійснюють обертальні рухи навколо своєї як довгої, так і короткої осі, яке викликається рядом причин. Неправильна форма і неоднорідність частинок лушпиння викликають розбіжність точок прикладання сили аеродинамічного опору повітряному потоку і сили тяжіння, діючих на частинки, що призводить до появи пари сил, яка додається до окремої частинки. Крім цього на неї впливають несиметричне поле швидкостей повітря, пульсації вплив потоку, зіткнення частинок між собою і зі стінками каналу і поперечна сила Магнуса-Жуковського.

Для визначення середніх абсолютних швидкостей частинок лушпиння в вертикальному аспіраційному каналі аеросепаратора був використаний статистичний метод обробки експериментальних даних, отриманих відеозйомкою. Середню швидкість руху частинок визначали по зафіксованих точках на вертикальних ділянках, розмежованих за висотою аспіраційного каналу розмірами 5x40 см, які представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Середня швидкість руху частинок лушпиння в вертикальному повітряному потоці при різному питомому навантаженні по рушанці q , кг/(год·см)

Середня висота ділянки, H_{cp} , см	Питоме навантаження по рушанці q , кг/(год·см)			
	4,9	7,6	10,8	13
7,5	1,30	1,11	0,91	0,87
12,5	1,50	1,53	1,15	1,1
17,5	1,82	1,56	1,51	1,39
22,5	1,93	1,79	1,58	1,48

Як видно з таблиці 3.2 вертикальний рух частинок має прискорений характер. Явище обертання частинок неправильної форми в вертикальному потоці повітря встановлено і при роботі пневмотранспорту для зернової сировини [19], в якій зазначено, що поперечна сила Магнуса-Жуковського спрямована в різні боки і відповідно викликає переміщення частинок від стінки каналу до центру і назад. Аналогічна картина переміщення різної величини частинок лушпиння спостерігається у вертикальному аспіраційному каналі аеросепаратора (рис.В.7-В.10).

Отже, чим менше питоме навантаження, тим менше розходження значень середньої швидкості руху частинок лушпиння.

4.4 Технічне рішення по удосконаленню конструкції обладнання для поділу рушанки насіння соняшнику повітряним потоком

На підставі проведених досліджень для вдосконалення конструкції аспіраційної камери насінневіяльної машини Р1-МС-2Т розроблені конструкція пневмосепаратора для відділення аеровиносних частинок і удосконалена конструкція аеросепаратора. Замість аспіраційної камери запропоновано для обробки в вертикальному повітряному потоці п'яти відкаліброваних фракцій рушанки, що виходять з розсіву, використовувати розроблені конструкції пневмосепаруючих пристроїв.

Для відділення лушпиння з першого (фракція недоруша і ціляка з лушпинням – сходова фракція з решета $\varnothing 7\text{мм}$) і другого (фракція цілого і дробленого ядра з лушпинням – прохід через решето $\varnothing 7\text{мм}$ і схід з решета $\varnothing 6\text{мм}$) розділів розсіву насінневіяльної машини пропонується використовувати аеросепаратор для відділення лушпиння.

На рисунку 4.7 представлена схема аеросепаратора для відділення лушпиння, що складається з вертикального аспіраційного каналу 1 і приймального пристрою 2, в якому встановлено решето 3. Верхня частина приймального пристрою 2 забезпечена патрубком 4 для підведення вихідного матеріалу, а нижня частина з'єднана з аспіраційним вертикальним каналом 1. Між вертикальним аспіраційним каналом 1 і приймальним пристроєм 2 встановлені випускний поворотний клапан 5 і шарніри 6. Випускний поворотний клапан 5 змонтований з вертикальних пластинок, верхні кромки яких з'єднані з відповідними шарнірами 6. Нижня частина вертикального аспіраційного каналу 1 складається з осаджувальної камери 7 для відводу дрібних частинок ядра, як проходової фракції через решето 3, і осаджувальної камери 8, в яку надходять великі частинки ядрової фракції насіння соняшнику – сходова фракція через решето 3. Осаджувальні камери 7 і 8 розділені перегородкою 9. Над верхньою кромкою розділової перегородки 9 по її довжині змонтована на шарнірі 10 вертикальна регульована пластина 11 (при обертанні шарніра 10 навколо своєї

Рисунок 4.7 – Схема аеросепаратора для відокремлення лушпиння

осі змінюється положення пластини 11). Вертикальний аспіраційний канал 1 забезпечений у верхній частині патрубком 12 для відведення повітряного потоку з аероиносними частинками.

Аеросепаратор для відділення лушпиння працює наступним чином.

Вихідний матеріал, фракція недоруша і ціляка з лушпинням (перший розділ) або фракція цілого і дробленого ядра з лушпинням (другий розділ) через патрубок 4 надходить в приймальний пристрій 2. Далі матеріал потрапляє на решето 3 і рухається вниз по ньому. Дрібні частинки ядра просіваються через отвори в решеті 3 і надходять в осаджувальну камеру 7. Сходова фракція рухається з прискоренням по решету 3. У зоні з'єднання приймального пристрою 2 і вертикального аспіраційного каналу 1 відбувається зіткнення частинок сходової фракції з вертикальними пластинками випускного поворотного клапана 5. У вертикальному аспіраційному каналі 1 відбувається відділення робочим потоком повітря частинок лушпиння, які виводяться через патрубок 12. Робочий потік повітря надходить в аспіраційний канал 1 через осаджувальні камери 7 і 8. З осаджувальної камери 7 частина основного робочого потоку повітря підводиться через зазор між регульованою пластиною 11, змонтованої на шарнірі 10, і верхньою кромкою вертикальної розділової перегородки 9. У результаті створюється незалежний і регульований потік повітря, що забезпечує задану

швидкість робочого повітряного потоку у вертикальному аспіраційному каналі 1. Тому в останньому досягається найбільш ефективно відділення аероиносних частинок лушпиння потоком повітря.

Для відділення лушпиння з рушанки, одержуваної в трьох останніх (III-IV) розділах розсіву насінневіяльної машини P1-МС-2Т пропонується використовувати пневмосепаратор для відділення аероиносних частинок.

Фракцію рушанки третього розділу отримують як прохід через сито $\varnothing 6$ мм і схід решета $\varnothing 5$ розсіву насінневіяльної машини P1-МС-2Т, четвертого – як прохід через решето $\varnothing 5$ мм і схід решета $\varnothing 4,5$ і п'ятого – як прохід через решето $\varnothing 4,5$ мм і схід решета $\varnothing 3$.

На рисунку 4.8 представлена схема пневмосепаратора для відділення аероиносних частинок, який складається з наступних основних вузлів: приймального пристрою 1, вертикального аспіраційного каналу 2 і аспіраційної осаджувальної камери 3. Усередині приймального пристрою 1 встановлено решето 4, а на шарнірі 5 випускний поворотний клапан 6, що складається з вертикальних пластинок. Верхня частина приймального пристрою 1 забезпечена патрубком 7 для підведення вихідного матеріалу. У нижній частині вертикального аспіраційного каналу 2 встановлена розподільна перегородка 8, яка утворює збірну камеру 9 для збору проходових частинок через решето 4 і збірну камеру 10 для сходових частинок з решета 4.

Вертикальний аспіраційний канал 2 і аспіраційна осаджувальна камера 3 розділені рухомою перегородкою 13, нижня основа якої закріплена на шарнірі 14. Положення рухомої перегородки 13 щодо вертикальної площини регулюють за допомогою рухомої осі 15 механічного пристрою 16, як повертаючи її ліворуч на кут α_1 так і вправо – на кут α_2 . У аспіраційній осаджувальній камері 3 встановлена відбійна пластина 17, верхня кромка якої закріплена на шарнірі 18. Положення відбійної пластини 17 відносно вертикальної площини регулюють за допомогою рухомої осі 19 механічного пристрою 20, як повертаючи її ліворуч на β_1 , так і вправо – на кут β_2 .

Рисунок 4.8 – Схема пневмосепаратора для відокремлення аеровиносних частинок

Верхня частина аспіраційної осаджувальної камери 3 забезпечена патрубком 21 для відведення повітря з аеровиносними частинками (лушпиння). У нижній частині аспіраційної осаджувальної камери 3 змонтовані патрубок 22 і шлюзовий затвор 23 відповідно для відводу і вивантаження дрібних частинок ядра, виділених з повітряного потоку.

Працює пневмосепаратор для відділення аеровиносних частинок наступним чином. Відповідна фракція рушанки соняшникового насіння, попередньо відкалібрована на розсіві за лінійними розмірами, надходить через патрубок 7 приймального пристрою 1 на поверхню решета 4 і рухається вниз по ньому. Велика частина дрібних частинок даної ядрової фракції просівається через решето 4 і у вигляді проходової фракції надходить в збірну камеру 9 і далі виводиться в транспортер ядрової фракції. Потік сходової фракції з решета 4 – суміш частинок ядра і лушпиння, що залишилися, рухається вниз по його поверхні. Перед входом в вертикальний аспіраційний канал 2 відбувається зіткнення частинок сходової фракції з вертикальними пластинками випускного поворотного клапана 6, що призводить до зменшення їх швидкості руху. В результаті частинки надходять в вертикальний аспіраційний канал 2 зі

швидкістю не більше 0,3-0,5 м/с. Тому в вертикальному повітряному потоці відбувається найбільш ефективно відділення аеровиносних частинок. Великі частинки ядрової фракції під дією сили тяжіння надходять в збірну камеру 10 і далі виводяться в транспортер ядрової фракції. Аеровиносні частинки (лушпиння і дрібні частинки ядра) повітряним потоком транспортуються в верхню частину вертикального аспіраційного каналу 2. Тут відбувається різка зміна напрямку повітряного потоку, який огинає рухливу перегородку 13, встановлену в робочому положенні. Частинки ядра рухаються по інерції і вдаряються об відбійну пластину 17, втрачають швидкість і рухаються вздовж відбійної пластини 17, встановленої під відповідним кутом нахилу. При ковзанні по її поверхні за рахунок сил тертя відбувається додаткове зниження їх швидкості руху. В результаті ці частинки осідають в нижній конусній частині аспіраційної осаджувальної камери 3. Повітряний потік з аеровиносними частинками рухається в зоні між рухомою перегородкою 13 і відбійною пластиною 17. Так як площа перетину цієї зони більше площі перетину вертикального аспіраційного каналу 2, то швидкість повітряного потоку в ній зменшується. Можливість регулювання рухомої перегородки 13 і відбійної пластини 17 дозволяє встановити їх в оптимальному положенні, що забезпечує ефективно відділення частинок ядра від лушпиння для відповідної відкаліброваної фракції рушанки. Дрібні частинки ядра, що осіли в нижній частині аспіраційної осаджувальної камери 3 через патрубок 22 і шлюзовий затвор 23 виводиться в транспортер ядрової фракції. Далі повітряний потік з частинками лушпиння огинає відбійну пластину 17 і виводиться через патрубок 21 в систему відділення лушпиння від повітря. У цій зоні за рахунок збільшення її обсягу шляхом регулювання положення відбійної пластини 17 досягається зниження швидкості повітряного потоку, що забезпечує контрольне (додаткове) осадження дрібних частинок ядра в аспіраційній осаджувальній камері 3.

Зниження виносу частинок ядра з лушпинною фракцією, що виноситься з повітряним потоком, в пневмосепараторі для відділення аеровиносних частинок залежить від величини швидкості руху потоку повітря в аспіраційній

осаджувальній камері 3, в зонах між рухомою перегородкою 13 і відбійною пластиною 17 при низхідному русі потоку і східному русі потоку між відбійною пластиною 17 і стінкою корпусу аспіраційної осаджувальної камери 3. А також від аеродинамічних властивостей матеріалу, що складається з цільового продукту – частинок ядра насіння соняшнику і аеровиносних частинок – лушпиння.

У зв'язку з тим, що попередньо на розсіві рушанку насіння соняшнику (обвалені насіння – суміш ядра, лушпиння, січки, недоруша) фракціонують за лінійними розмірами на п'ять фракцій, в кожній з яких частинки ядра (січки, недоруша) і лушпиння рівновеликі, то вони мають помітні відмінності в аеродинамічних властивостях – швидкості руху. Тому для кожної фракції встановлюють положення розділової перегородки 13 і відбійної пластини 17 таким чином, щоб забезпечити максимальне відділення цільового компонента (ядра) від частинок лушпиння. Осадження частинок ядра з повітряного потоку, який несе рівновеликі частинки ядра і лушпиння, відбувається з наступних причин. Наприклад, для випадку, коли переробляють велику фракцію рушанки з великими лінійними розмірами і відповідно швидкість руху аеровиносних частинок більше, ніж швидкість руху аеровиносних частинок з меншими лінійними розмірами, то встановлюють розділову перегородку 13 вертикально, а відбійну пластину 17 повертають щодо шарніра 18, на якому вона закріплена, на деякий кут β_2 вправо, то збільшується вільний обсяг нижньої частини осаджувальної камери 3. Тому, по-перше, в цій зоні зменшується швидкість руху повітряного потоку з частинками лушпиння і ядра, які мають різну швидкість руху. Внаслідок чого частинки ядра осідають в нижній частині осаджувальної камери 3, а частинки лушпиння з повітряним потоком відводяться далі. По-друге, такий стан відбійної пластини 17 призводить до різкої зміни напрямку руху низхідного повітряного потоку, при цьому частинки лушпиння з повітряним потоком огинають нижню кромку відбійною пластини 17, а частинки ядра, мають велику масу, під дією сил інерції рухаються вниз і осідають в нижній частині осаджувальної камери 3. По-третє, відбувається зміна напрямку східного

вертикального повітряного потоку в горизонтальну площину при обтіканні верхньої кромки розділової перегородки 13. У зв'язку з цим частинки ядра, що мають велику масу, під дією сил інерції вдаряються об відбійну пластину 17, внаслідок чого втрачають швидкість і падають вниз. Для випадку, коли переробляють фракцію рушанки середніх розмірів, то розділову перегородку 13 повертають щодо шарніра 14, на якому вона закріплена, вліво на кут α_1 , відбійну пластину 17 залишають вертикально або зміщують щодо шарніра 18 на деякий кут β_1 вліво. Тоді збільшується вільний обсяг верхньої частини аспіраційної камери 3 між розділовою перегородкою 13 і відбійною пластиною 17. У цій зоні швидкість повітряного потоку зменшується, частинки ядра за інерцією ударяються об відбійні пластину 17 і падають вниз, а повітряний потік з лушпинням її огинає і надходить у нижню частину осаджувальної камери 3. У цій зоні швидкість повітряного потоку також зменшується за рахунок її збільшеного обсягу і дрібні частинки ядра осідають в нижній частині осаджувальної камери 3. При переробці дрібної фракції рушанки розділову перегородку 13 залишають у вертикальному положенні або зміщують вправо на кут α_2 , а відбійну пластину 17 розгортають вправо на кут β_2 . В цьому випадку збільшується вільний обсяг в нижній частині осаджувальної камери 3. Тому в цій зоні відбувається осадження дрібних частинок ядра. Таким чином, змінюючи комбінацію положень розділової перегородки 13 і відбійною пластини 17, підбирають для кожної фракції рушанки варіант найбільш ефективного відділення частинок ядра від лушпиння з мінімальним виносом ядра з лушпинням, що відводиться, близько 0,3%.

На рисунку 4.9 представлена структурна схема модернізованої насіннєвіяльної машини, яка включає два аеросепаратора для відділення лушпиння і три пневмосепаратора для відділення аеровиносних частинок .

Рисунок 4.9 – Структурна схема модернізованої насіннєвіяльної машини

На рисунку 4.10 представлена структурна схема РВЦ з використанням модернізованої насіннєвіяльної машини, в якій відсутні ділянки контролю перевию і лушпиння.

Рисунок 4.10 – Структурна схема РВЦ з використанням модернізованої насіннєвіяльної машини

Таким чином, питомі енерговитрати на одну тону перероблюваного насіння соняшнику в пропонованій схемі знижуються на 13,5% порівняно з типовою схемою РВЦ.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Екологічна експертиза

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах [20].

В екологічній ситуації, що склалася в Україні необхідно використовувати як мінімум 5% національного валового доходу на фінансування природоохоронних заходів. Але й цього буде недостатньо, якщо не здійснювати докорінну реконструкцію виробництва, орієнтовану на екологічно чисту, ресурсозберігаючу, маловідходну, або безвідходну технологію одержання готового продукту.

Олійножирова промисловість є одною із найскладніших галузей харчової промисловості з точки зору технології і надзвичайно небезпечною з точки зору техніки безпеки і пожежної безпеки із-за використання їдких, токсичних і вибухонебезпечних речовин, легкозаймистих рідин, високих тисків та температур в таких технологічних процесах як: екстракція олієвміщуючого насіння, гідрогенізація жирів, виробництво водню і кисню.

Вентиляційні викиди, що містять леткі продукти метаболізму сировини, вуглекислий газ, який утворюється під час дихання насіння, надходять без очищення в атмосферне повітря. Під час екстрагування олії із залишків після пресування подрібненого насіння видаляються леткі речовини (бензин, спирти, кетони, вуглеводні тощо). На всіх технологічних стадіях пара розчинника потрапляє в атмосферу. Збільшення втрати розчинника пояснюється переробкою дефектної сировини, використанням зношеного обладнання, порушенням технологічної дисципліни. Менших втрат можна досягти за переробки олійної сировини на стрічкових екстракційних установках.

У викидах ідентифіковані: бензин, акролеїн, пил насіння соняшника, шроту соняшника, аміак, насичені вуглеводні, зола сланцева, оксид вуглецю, ангідрид сірчистий, діоксид азоту, оксид заліза, марганець та його сполуки, водень фтористий, хром, діоксид кремнію, пил деревини, кислота сірчана, етанол, толуол, діетиловий ефір. Викиди забруднюючих речовин здійснюються через димові труби, вихлопи циклонів, вентиляційні труби, вихлопи вентиляторів, дихальні патрубки. Частково викиди носять неорганізований характер.

Відпрацьоване повітря з пилом після очищення в циклонах викидається в атмосферу.

Технологічне джерело шкідливих викидів – очищення повітря від насіннєвіялок, сепараторів контролю перевію, після аспірації. Вентиляційне повітря з приміщення та машин, які містять органічний пил з мінеральними домішками, піддається очищенню в циклонах.

У екстракційному цеху відбувається процес екстракції олії з макухи виробничим екстракційним гексаном. Це джерело являє собою викиди газоповітряної суміші з труби після вентилятора масляної абсорбції.

Вентиляційне повітря, яке містить пару розчинника, викидається в атмосферу в кількості. Втрати розчинника відбуваються через нещільності в апаратурі та насосах із-за порушення герметичності сальникового ущільнення та арматури. Місця найбільш небезпечні, з точки зору вмісту пари розчинника в повітрі, обладнані місцевими відсмоктувачами.

Технологічні викиди у відділенні грануляції шроту представлені двома джерелами: перше з них – труба після розвантаження циклона. Повітря вміщує шротовий пил, який частково повертається з циклона на переробку в охолоджувач та частково викидається в атмосферу, та пара розчинника; друге – це джерело, яке представляє собою викид в атмосферу повітря з парою розчинника після вентиляційної установки.

Теплотехнічні потреби виробництва забезпечуються від котельні із використанням лушпиння як палива. Продукти спалювання лушпиння проходять очистку на електрофільтрах та викидаються в атмосферу на висоті 30 м.

Останнім часом через низку причин зросли втрати олії зі шротом та лушпинням. Однією із причин, що призводить до сорбції олії лушпинням, є травмування насіння під час збирання врожаю і потім на всіх стадіях до отримання ядра, а також за неправильного зберігання, очищення і сушіння сировини. Тому особливу увагу потрібно приділити експлуатації гвинтових конвеєрів і норій та належному зберіганню сировини.

Відпрацьовані відбілювальні глини (бентоніти), які застосовують для прояснення рослинної олії, збагачені жирами. Вміст олії в них залежить від природи глини та типу фільтрів і може коливатися в межах 40-60 %. Під час продування відбілювальних глин інертними газами чи парою вміст жиру 30 % у разі використання рамних фільтрпресів, якщо використовувати дискові фільтри, можна досягнути 15 % вмісту жиру.

Стічні води складаються на 60 % з охолоджувальних вод, на 32 % – сильно забруднених, 1,5 % – санітарних та 0,5 % інших. Вміст жиру коливається в межах 200-350 мг/дм³. Для очищення висококонцентрованих стічних вод доцільно використовувати попереднє метанове бродіння із подальшим аеробним доочищенням в аеротенках. Рециркуляція активного мулу та застосування іммобілізованої мікрофлори дадуть змогу інтенсифікувати процес біотрансформації забруднень до норм ГДК для їх скидання у каналізаційну мережу.

Одним із основних напрямків екологізації підприємства є вдосконалення і «зелена» модернізація технології виробництва олії, зокрема вловлювання викидів, комплексне перероблення стічних вод і відходів та використання продуктів перероблення як вторинної сировини.

5.2 Охорона праці

В агропромисловому секторі задіяно значну кількість працівників, галузь залишається однією з найбільш травмонебезпечних.

Тому територіальний орган Державної служби України з питань праці націлює роботодавців галузі на створення здорових і безпечних умов праці працівників.

Згідно Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях у кожному структурі підрозділі умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [19].

В роботі досліджується технологічна операція пневмосепарування насіння соняшнику у технологічному процесі виробництва соняшникової олії. Розглянемо вимоги безпеки при виробництві олії [18].

Основною сировиною на підприємствах для виробництва олії є насіння соняшника. В результаті переробки соняшникового насіння отримують олію та шрот.

На підприємствах олійно-жирової промисловості, незалежно від категорії, зберігається висока імовірність вибухопожежної небезпеки.

За пожежовибухонебезпечними властивостями сировина, напівфабрикати та готова продукція, яка знаходиться у приміщеннях підприємств олійно-жирової промисловості, є горючою.

Пожежовибухонебезпечними є макухова пелюстка, соняшникова крупка та їх пил.

Для попередження вибухів і пожеж необхідно:

- обладнання і приміщення утримувати в чистоті;
- слідкувати за справністю вентиляції, заземлення, захисних кожухів рухомих вузлів машин.

Не допускається переробка насіння соняшника без очистки від металевих та інших сторонніх домішок.

Впевнившись у відсутності людей в небезпечних зонах проводять запуск. Після набирання двигуном нормальних обертів, включити завантажувальний транспортер, забезпечувати рівномірність подачі соняшника, що підлягає переробці.

Забороняється до повної зупинки двигуна машини відкривати люки, знімати захисні кожухи, проводити мащення, підтягувати різьбові з'єднання чи проводити технічне обслуговування.

При зупинці машини на ремонт чи технічне обслуговування на рубильнику чи вимикачі вивішують таблички: «Не включати – працюють люди».

При ремонті користуватися тільки справним інструментом.

Забороняється залазити в бункер та завальну яму. Завальна яма повинна бути обладнана захисною решіткою. Бункер та завальна яма повинні бути закриті та заперті на замок.

Спуски в бункер глибиною більше 2 м повинні проводитись по нарядно-допуску з використанням рятувального пояса з рятувальним канатом, при необхідності шлангового протигазу. В бригаді повинно бути не менше трьох чоловік. Під час перебування людей в бункері завантаження і розвантаження зерна соняшника, шелехи забороняється.

Очищення забивання норій, шнеків і т.ін. проводять при виключеному двигуні з допомогою спеціальних чистиків.

Забороняється залишати працюючу машину без нагляду.

Під час вигризки насіння з жаровні забороняється використовувати сторонні предмети або сунути руки в люк для вигризки.

При появі сторонніх шумів, диму, виявленні несправностей захисних огорожень негайно зупинити машину і викликати ремонтників.

Після аварійної зупинки машина повинна бути звільнена від продукту.

На випадок травмування, вжити заходи по наданню допомоги потерпілому і повідомити керівника виробничої дільниці та підприємства.

У разі нанесення травми в область живота, а також при ураженні електричним струмом, потерпілому, якщо він почував себе добре, слід звернутися в лікарню.

При загоранні машини відключити електроенергію, подати сигнал пожежної тривоги і приступити до гасіння.

По закінченню робіт послідовно зупинити подачу матеріалу в машину, вивести на холостий хід і виключити двигун.

Після зупинки очистити машину і робоче місце від залишків продукту, оглянути машину і усунути виявлені недоліки. Про серйозні несправності повідомити керівника виробничої дільниці.

Дотриманні вимог безпеки при виконанні технологічного процесу, належний контроль, навчання, інструктажі з охорони праці, справність обладнання, сучасні технології сприяють зниженню ризику виникнення нещасного випадку.

З метою підвищення безпеки праці пропонується:

1. Здійснювати контроль за виробничою дисципліною.
2. Не допускати формального проведення навчання та інструктажів з охорони праці.
3. Проводити своєчасний та якісний контроль за станом охорони праці.
4. Встановлювати захисні кожухи на обертаючих механізмах.
5. Забезпечувати небезпечні місця попереджувальними надписами та знаками.
6. Поновляти технічні засоби виробництва.
7. Застосовувати сучасні технології.
8. Виділяти більше коштів на заходи та засоби безпеки.

5.3 Економічне обґрунтування розробки

Проведемо розрахунок економічної ефективності від впровадження удосконаленої конструкції обладнання для поділу рушанки насіння соняшнику повітряним потоком, яка забезпечує зниження виносу ядра в лушпиння [4].

Розрахунок проводимо для підприємства по виробництву соняшникової олії продуктивність 500 т/добу по насінню соняшнику. Вихід

Вихід лушпиння становить 15%. Винос ядра в лушпиння становить 0,1% понад нормативний. Вихід олії з ядра складає 65%.

Визначимо кількість лушпиння:

$$Л = 500 \cdot 0,15 = 75 \text{ т/добу.}$$

Визначимо кількість ядра в лушпинні понад нормативних втрат:

$$Я = 75 \cdot 0,001 = 0,075 \text{ т/добу} = 75 \text{ кг/добу.}$$

Визначимо кількість олії, яку можна отримати з ядра, що знаходиться в лушпинні:

$$М = 75 \cdot 0,65 = 48,75 \text{ кг/добу.}$$

Визначимо кількість олії, яку можна отримати з ядра, що втрачається з лушпинням за 300 робочих днів:

$$48,75 \cdot 300 = 14\,625 \text{ кг.}$$

Розрахунковий річний економічний ефект (при середній вартості 1 кг олії 18 грн) за рахунок зниження виносу ядра в лушпиння тільки на 0,1% складе:

$$18 \cdot 14625 = 263250 \text{ грн.}$$

Питомі витрати електроенергії в РВЦ на 1 тону насіння наведені у **таблицях Г.1 та Г.2**, з яких видно, що питомі енерговитрати для запропонованого РВЦ нижче на 13,5% за рахунок того, що вивільнюється чотири насінневіяльні машини Р1-МС-2Т так як запропонована модернізована насінневіяльна машина включає два аеросепаратора для відділення лушпиння і три пневмосепаратора для відділення аеровиносних частинок, що дозволяє виключити утворення фракції перевію і ділянку контролю лушпиння

ВИСНОВКИ

На підставі результатів, виконаних досліджень, теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена ефективність вдосконаленого процесу пневмосепарування в вертикальному повітряному потоці каліброваних фракцій рушанки насіння соняшнику сучасних сортів і модернізації насінневіяльної машини Р1-МС-2Т.

1. Експериментально вивчена швидкість руху фракційних частинок рушанки насіння соняшнику: лушпиння, ядра, недоруша, січки недоруша й олійного пилу. Результати представлені у вигляді варіаційних кривих і рівнянь для розрахунку середньої швидкості руху лушпиння і ядра насіння соняшнику в залежності від їх середнього діаметра. Швидкість руху частинок лушпиння при зміні $d_{\text{ср}} = 3,5-7,5$ мм склала 1,8-4,5 м/с; частинок ядра і січки недоруша при зміні $d_{\text{ср}} = 3,5-5,5$ мм склала 5,0-9,8 м/с; олійного пилу – 4,1-6,1 м/с, недоруша – 5,4-8,6 м/с.

2. Визначено основні параметри роботи насінневіяльної машини Р1-МС-2Т. Навантаження по рушанці для розділів п'ятиканальної аспіраційної камери змінювалася від 125 до 902 кг/год., вміст вільного лушпиння коливався від 13,6 до 27,6%, а олійного пилу – від 0,2 до 53,3%. На підставі отриманих даних обґрунтовані питоме навантаження по рушанці і її склад при випробуванні аеросепаратора в стендових умовах.

3. Вивчено аеродинамічні умови роботи промислового аеросепаратора МКА-400 і на підставі отриманих результатів була вдосконалена його конструкція. Отримано рівняння для розрахунку втрат повного тиску вдосконаленого аеросепаратора в залежності від питомого навантаження по рушанці, витрати повітря, площ робочих перетинів патрубків приймального пристрою і для відводу матеріалу. Встановлено, що при збільшенні питомого навантаження по рушанці від 3,3 до 22,8 кг / (см·год) втрати тиску змінювалися від 93 до 220 Па.

4. Досліджено процес відділення лушпиння з п'яти фракцій рушанки насіння соняшнику повітряним потоком в удосконаленому аеросепараторі при $q = 3,3-22,1$ кг/(см·год), $V = 2,5-4,8$ м/с і $\alpha = 30-40$ °. Встановлений складний і стиснутий рух частинок лушпиння в вертикальному повітряному потоці, що пов'язано з зіткненням частинок між собою і зі стінками каналу, їх обертанням, нерівномірністю повітряного потоку і т.д. Визначено раціональні режими процесу для кожної фракції рушанки, що забезпечують допустимий винос ядра в лушпиння від 0,1 до 0,3% і вміст вільної лушпиння в ядровій фракції від 4,7 до 9,8%.

5. Запропонована модернізована насінневіяльна машина, яка включає два аеросепаратора для відділення лушпиння і три пневмосепаратора для відділення аеровиносних частинок, що дозволяє виключити утворення фракції перевію і ділянку контролю лушпиння. У зв'язку з цим з схеми РВЦ вивільняються чотири насінневіяльні машини Р1-МС-2Т (для РВЦ продуктивністю 500 т на добу по насінню соняшнику) і забезпечується зниження питомих енерговитрат до 13,5%.

9. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження пневмосепаратора для поділу рушанки в РВЦ продуктивністю 500 т/добу по насінню соняшнику склав 263250 грн тільки за рахунок зниження виносу ядра в лушпиння не менше ніж на 0,1%.