ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Магістр»
на тему:

Обґрунтування технологічного процесу сепарування зерна у вертикальному повітряному потоці

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТз-1-22
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Софія ПРОХВАТИЛО

Керівник: _____ Віталій КОШУЛЬКО

Рецензент: _____ Віктор ГРОЄВИЙ

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____Віталій КОШУЛЬКО
(підпис)
«26» грудня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Прохватило Софії Сергіївні

1. Тема роботи: «Обґрунтування технологічного процесу сепарування зерна у вертикальному повітряному потоці».
Керівник роботи: Кошулько Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» грудня 2023 року № 4085.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: 1 Технологічні схеми машин та обладнання для первинної обробки зерна. 2 Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Стан питання й завдання дослідження. 2 Теорія процесу пневмосепарування зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці. 3 Методика проведення експериментальних досліджень. 4 Результати експериментальних досліджень та їх виробнича перевірка. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Огляд пневматичних сепараторів. 2 Основні закономірності процесу пневмосепарування зернової суміші. 3 Мета роботи і завдання досліджень. 4 Теорія процесу пневмосепарування зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці. 5 Методика проведення експериментальних досліджень. 6 Результати експериментальних досліджень та їх виробнича перевірка. 7 Практичне впровадження отриманих результатів. 8 Кошторис витрат на проведення досліджень. 9 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім'я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	доцент КОШУЛЬКО Віталій	26.12.2023	12.02.2024
5	доцент КОШУЛЬКО Віталій	26.12.2023	12.02.2024
6	доцент КОШУЛЬКО Віталій	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання 26 грудня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	27.12-31.12.23	виконано
2	Стан питання й завдання дослідження	01.01-08.01.24	виконано
3	Теорія процесу пневмосепарування зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці	09.01-15.01.24	виконано
4	Методика проведення експериментальних досліджень	16.01-22.01.24	виконано
5	Результати експериментальних досліджень та їх виробнича перевірка	23.01-29.01.24	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	30.01-01.02.24	виконано
7	Організаційно-економічна частина	02.02-06.02.24	виконано
8	Загальні висновки та бібліографія	07.02-08.02.24	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	09.12.2024	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Софія ПРОХВАТИЛО
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій КОШУЛЬКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технологічного процесу сепарування зерна у вертикальному повітряному потоці»

Кваліфікаційна робота містить: 77 с., 15 рис., 18 табл., 50 літературних джерел посилань.

Об'єкт дослідження – процес очищення зернового матеріалу у вертикальному повітряному потоці пневмосепаратора.

Предмет дослідження – взаємозв'язок основних параметрів процесу повітряного сепарування зернової суміші.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу сепарування шляхом раціональної подачі зернової суміші у вертикальний повітряний потік.

Наявна в сільському господарстві зерноочисна техніка морально застаріла, оскільки не відповідає сучасним умовам зерновиробництва і фізично зношена на 70 – 90 %. Забезпеченість великих і середніх господарств не перевищує 35 %, а малі фермерські господарства зовсім не мають необхідної техніки.

Необхідно розробити зерноочисні максимально адаптовані до різноманітних умов сучасного сільськогосподарського виробництва, що забезпечує мінімальні витрати, але дозволяє на першому етапі обробки отримати більшу частину очищеного зерна.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Робота, сепарування, пневмосепарувальний канал, сепаратор, дослідження, зерно, виробнича перевірка, адекватність, ефективність, живильник, скатна дошка.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 СТАН ПИТАННЯ Й ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ 9
1.1 Аналіз існуючих технологічних процесів очищення зерна 9
1.2 Огляд пневматичних сепараторів 11
1.2.1 Коротка класифікація сепараторів 11
1.2.2 Огляд живильного обладнання 15
1.3 Основні закономірності процесу пневмосепарування зернової суміші 21
Висновки до розділу та завдання досліджень 28
2 ТЕОРІЯ ПРОЦЕСУ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ 30
2.1 Розробка раціональної схеми пневмосепаратора 30
2.2 Обґрунтування основних параметрів пневмосепаратора 34
Висновки до розділу 43
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 45
3.1 Загальні положення методики досліджень 45
3.2 Експериментальна установка 46
3.2.1 Опис експериментальної установки, що моделює процес сепарування 46
3.2.2 Вимірювальні обладнання, прилади й устаткування, застосовувані при дослідженнях 50
3.3 Методика експериментальних досліджень 50
3.3.1 Характеристика матеріалу, застосовуваного при дослідженнях 50
3.3.2 Визначення чіткості сепарування 50
Висновки до розділу 52
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА 53
4.1 Визначення раціональної кількості скатних лотків необхідних для рівномірної подачі зернових сумішей 53

4.2 Визначення ефективність очищення й чіткості пневмосепарування 54
4.3 Виробнича перевірка результатів 58
Висновки до розділу 59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 61
5.1 Розробка організаційно-технологічної карти 61
5.2 Утилізація відходів лінії з первинної обробки зерна ФГ «Славутич» 62
Висновки до розділу 63
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 64
6.1 Організація проведення дослідження 64
6.2 Витрати, пов’язані з проведенням дослідження 65
6.3 Розрахунок вартості дослідження 68
Висновки до розділу 69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 70
БІБЛІОГРАФІЯ 72

ВСТУП

Зернова суміш, отримана після збирання врожаю, складається з різних насінь культурних і бур'янистих рослин, а також містить домішки мінерального й органічного походження. Виділення насінь основної культури в чистому виді є однієї з найважливіших і трудомістких технологічних операцій у процесах приймання, зберігання й переробки зерна. При підготовці посівного матеріалу ступінь очищення зерна значно впливає на урожайність, а також на стабільність якості зерна при зберіганні.

Якість очищення продовольчого зерна впливає на здрібнювання й лущення, поділ проміжних продуктів цих процесів, а також визначає ефективність роботи наступних машин технологічної лінії зернопереробного підприємства.

Наявне устаткування для сепарування зернової суміші по своїх експлуатаційних якостях, не повністю відповідає зростаючим вимогам промисловості. Розробка нової технології сепарування зернової суміші й більш досконалої техніки для її здійснення зустрічає ряд труднощів: різноманіття сепарувальних матеріалів і способів сепарування; складність і різноманітність взаємодій часток сепарувальних матеріалів з повітряним потоком і з робочими органами машини; недостатній розвиток теоретичних основ сепарування й методів обґрунтування параметрів машин і режимів їх функціонування.

Неорганізоване введення зернової суміші обумовлює нерівномірність зерноповітряного потоку по площі поперечного переріза пневмоканала. У зв'язку із чим виникає необхідність вивчення конструкцій і технологічних процесів живильних пристроїв.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу сепарування шляхом раціональної подачі зернової суміші в повітряний потік.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити вплив рівномірності подачі й розподілу зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмосепарувального каналу на ефективність процесу сепарування;

- розкрити взаємозв’язки між вихідними показниками процесу пневмосепарування й конструктивно-експлуатаційними параметрами пневмосепаратора;
- удосконалити конструкцію й обґрунтувати основні параметри й режими роботи повітряного сепаратора з живильним обладнанням, що забезпечують поліпшення рівномірності подачі й розподілу зернової суміші по площі поперечного переріза пневмосепарувального каналу;
- провести економічну оцінку витрат на проведення досліджень.

Об’єкт дослідження. Процес очищення зернового матеріалу у вертикальному повітряному потоці пневмосепаратора.

Предмет дослідження. Взаємозв’язок основних параметрів процесу повітряного сепарування зернової суміші.

1 СТАН ПИТАННЯ Й ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз існуючих технологічних процесів очищення зерна

Одна з найважливіших технологічних операцій у процесах приймання, зберігання й переробки зерна – це сепарування, тобто поділ сипких матеріалів на фракції, що відрізняються властивостями часток. Ступінь очистки основної культури й точність класифікації посівного матеріалу багато в чому впливають на врожай, а також на стабільність якості зерна при зберіганні. Очищення зерна перед здрібнюванням на борошномельних заводах і перед лущенням на круп'яних визначає якість готової продукції. І, нарешті, чіткість сепарування на проміжних стадіях здрібнювання й лущення не тільки впливає на якість продукції й ступінь використання сировини, але й визначає навантаження й ефективність роботи, інших технологічних машин, а, отже, продуктивність і ттехніко-економічні показники підприємства в цілому. Досить відзначити, що недосів дрібних фракцій у крупках, що надходять на ситовійні машини, не дозволяє встановити раціональний повітряний режим, неповне виділення ядра із продуктів лущення круп'яних культур викликає збільшення кількості дробленки й перевантаження лущильних машин [36].

Сепарування зерна й продуктів його переробки можливо лише в тих випадках, коли частки компонентів вихідної суміші мають досить різні фізико-механічні властивості: розміри, форму, щільність, пружність, коефіцієнти тертя, магнітну сприйнятливість, аеродинамічні властивості, стан поверхні, абсолютна й питома вага часток та інше.

Межі зміни фізико-механічних властивостей часток установлюють після багатьох дослідів [20], за результатами яких будують кореляційні таблиці й графіки. Виходячи з отриманих даних, на підставі відмінності одного або декількох із цих властивостей, визначають ознаки, що забезпечують найбільш повний поділ зернової суміші й вибирають спосіб сепарування.

Оволодіння науковими уявленнями про сутність різних процесів

сепарування необхідно не тільки для створення нових машин, але й для визначення раціональних умов експлуатації діючих машин, скорочення строків впровадження нової техніки, удосконалення технологічних процесів зберігання й переробки зерна в цілому, для узагальнення виробничого досвіду.

В останні роки для промисловості зберігання й переробки зерна створені нові сепарувальні машини, частина з яких по обладнанню й принципу дії відрізняються від машин, що застосовувалися до цього на підприємствах [1, 2].

У процесах післязбиральної обробки зерна, що здійснюються на фермерських господарствах та елеваторах, а також при подальшій обробці зерна на млинах і крупозаводах, очищення його від домішок займає значне місце й має велике народногосподарське значення.

Видалення із зерна насінь бур'янистих рослин, обривків їх стебел, обмолочених колосків і інших домішок органічного й неорганічного походження значно підвищує товарну цінність зерна, поліпшує його насінні якості й стійкість при зберіганні.

Численні дослідження, присвячені вивченню факторів, що впливають на стійкість зерна при його зберіганні, показують, що вологість насінь бур'янів і інших органічних домішок, як правило, у два й більш рази перевершує вологість зерен основної культури свіжозібраного зерна. Життєдіяльність цих домішок також значно вище, так, інтенсивність дихання насінь бур'янистих рослин в 2,7 – 2,9 рази більше, ніж зерен пшениці, при однаковій їхній вологості [14].

Наявність бур'янів, щуплих і битих зерен і інших органічних домішок у щойно зібраній зерновій масі обумовлює інтенсивність дихання, що супроводжується теплотворенням, яке в комбінації з поганою теплопровідністю зерна приводить до його самозігрівання й псуванню. Присутність домішок у зерні, особливо сирому і вологому, погіршує сипкість зерна й ускладнює його сушіння в найпоширеніших сушарках шахтного типу. Наявність у зерні соломистых домішок нерідко є причиною загоряння зерна в сушарках.

У процесах переробки зерна в борошно й крупу очищення зерна від домішок також займає досить важливе місце, тому що з недостатньо ретельно

очищеного зерна не можна одержати борошно або крупу належної якості.

Для насіннєвого зерна, очищення його, у комбінації з наступним сортуванням зерна по якості, є основною операцією, що забезпечує одержання високоякісного насіння для посіву.

Таким чином, видалення із зернової маси домішок є однієї з найважливіших завдань у процесах післязбиральної обробки зерна й подальшої його переробки в харчові продукти.

Для очищення або сортування часток по їхнім аеродинамічним, властивостям застосовується продувка зерна потоком повітря. Застосовуючи тільки цей спосіб очищення зерна, можна вилучити 50 % і більш усіх домішок, що містяться в зерні. Машини для очищення зерна повітряним потоком звуться повітряними сепараторами [48].

У технічній літературі наведено багато даних, що стосуються опису технологічного процесу роботи та конструкції повітряних сепараторів, а також даних про аеродинамічні властивості компонентів зернових сумішей [20, 34, 36, 64, 84]. Недостатньо відомостей необхідних для вдосконалення повітряних сепараторів, і критеріїв оцінки ефективності їх роботи, не досить повно дається методика проведення аеродинамічних і технологічних випробувань цих машин.

1.2 Огляд пневматичних сепараторів

1.2.1 Коротка класифікація сепараторів

Залежно від основних ознак відмінності часток, вихідну суміш піддають впливу трієрами, пневматичному або вібропневматичному сепаруванню, сепаруванню на плоских коливних решетах або горизонтальних ситах із круговими поступальними коливаннями в горизонтальній площині, магнітному або віброударному способу сепаруванню.

На рисунку 1.1 представлена запропонована Ямпіловим С.С. класифікація сепараторів для попереднього очищення зерна. Залежно від реалізованих технологій у господарствах застосовують як стаціонарні, так і пересувні із

пневматичними, решітними робочими органами, а в ряді випадків – з комбінованими повітряноно-решітними. У стаціонарних умовах найчастіше використовують сепаратори з вертикальними прямокутними каналами і нагнітальним повітряним потоком. Але ця класифікація вважається недостатньо повною, тому що не зазначений ряд машин, що також застосовуються в сепаруванні.

Найбільш повну класифікацію процесів сепарування представив В.В. Гортинський [36], в основу якої покладені ознаки відмінності часток (форма, розміри, фізико-механічні властивості часток).

Принцип повітряного сепарування, що використовується в багатьох сепаруючих машинах, особливо в машинах для очищення зернових культур. Пояснюється це порівняльною простотою пневмосепаруючого обладнання і різними аеродинамічними ознаками домішок і зернівок. Однак ідеально розділити суміш неможливо.

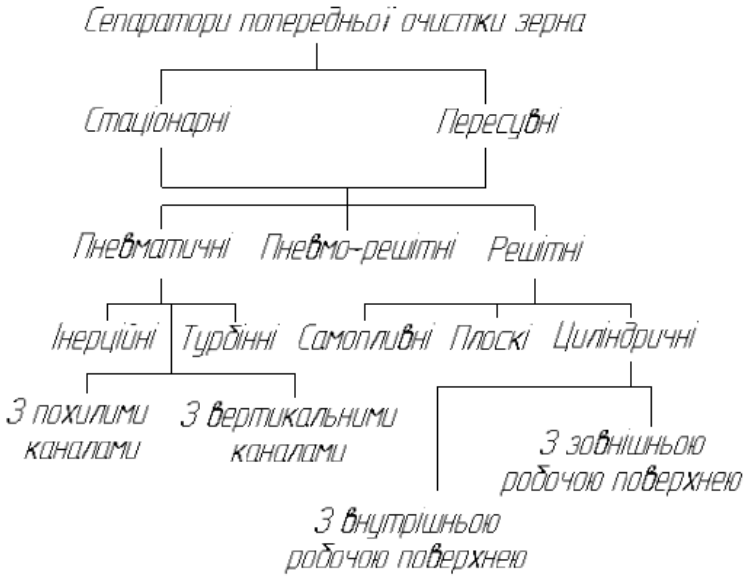

Рисунок 1.1 – Класифікація сепараторів для попередньої очистки зерна

У сучасних зерноочисних машинах застосовують кілька способів очищення зерна з використанням повітряного потоку: сепарування у вертикальному, похилому або поперечному горизонтальному повітряному потоках; з використанням поля відцентрових сил і кінетичної енергії компонентів суміші, що

сепарується; пневмосепарування продуктів лущення круп'яних культур з використанням псевдорозрідженого шару; пневмоінерційне та пневмоситове сепарування.

Поперечний горизонтальний повітряний потік зберігся головним чином там, де конструктор не зв'язаний вимогами до компактності машин, наприклад в очисних машинах, що використовуються на зернових токах.

Спосіб сепарування в похилому повітряному потоці не забезпечує високої ефективності очищення, тому що по суті він зводиться до сепарування у вузьких каналах з досить високими питомими навантаженнями.

Найбільше поширення завдяки конструктивній простоті і компактності обладнання одержав спосіб сепарування зернової суміші у вертикальному повітряному потоці. Його застосовують у сучасних зернових сепараторах, пневмосепараторах і аспіраторах вітчизняного і закордонного виробництва.

Сучасні зернопереробні підприємства в основному оснащені машинами різних модифікацій із сепаруванням у вертикальному повітряному потоці. До машин такого типу відносять повітряно-ситові ворохоочисники ЗВ-50, ЗД-10, сепаратори ЗСМ, ЗВС, пневматичні сепаратори БПС, аспіратори та аспіраційні колонки ЗПА, БАС, БКА, БДА, БВЗ і інші. Більшість передових фірм ФРН («Миаг»), Швейцарії («Бюлер»), США («Хепт Картер»), Англії («Генрі Саймон»), Італії («Окрим», «Гольфетто») і інших країн випускають машини діючі за таким самим принципом.

Повітряний сепаратор, що є машиною для обробки зернових сумішей повітряним потоком, звичайно складається з живильного обладнання, пневмосепарувального каналу, обладнання для очищення повітря після сепарування і вентилятора.

Принцип його роботи зводиться до наступного. Зерно з живильного обладнання подається у вертикальний канал, в якому воно продувається висхідним повітряним потоком. При цьому із зерна виділяються домішки, що відрізняються аеродинамічними властивостями. Повітря разом з домішками надходить у повітроочисник. Тут відбувається відділення домішок від повітря, які

видаляються з машини через шлюзовий або іншого типу затвор; очищене повітря за допомогою вентилятора направляється в атмосферу.

Широке поширення мають також комбіновані повітрячно-ситові сепаратори, у яких для очищення зерна крім повітряноносепарируючого обладнання є також сита, що служать для поділу часток зернової суміші за товщиною та шириною.

За способом надходження повітря повітряні сепаратори розділяються на машини, у яких повітря всмоктується вентилятором, у каналах і камерах цих машин тиск буде нижче атмосферного, і машини в яких повітря нагнітається вентилятором, у каналах і камерах цих машин тиск вище атмосферного.

Повітряні сепаратори мають розімкнуту або замкнену систему циркуляції повітря. Істотною перевагою повітряних сепараторов. з «замкненою» системою циркуляції повітря є те, що дрібні й легені домішки разом з повітрям циркулюють по замкненій системі повітропроводів, і, отже, кількість пилу, зваженого в повітрі, із часом не збільшується. Тому з їхнім застосуванням різко знижується повітрообмін у виробничих приміщеннях, у яких вони встановлені.

В існуючих повітряних сепараторах зустрічаються пневмосепаруючі канали трьох форм: прямокутної, циліндричної та кільцевої.

Пневмосепаруючі канали прямокутної форми дозволяють подавати зернову суміш рівномірно по ширині і відповідають вимогам раціонального компонування пневмосепаруючого обладнання у цих машинах. Але в прямокутних каналах довжиною в кілька метрів важко забезпечити рівномірну подачу зернової суміші за довжиною. Також у прямокутних каналах ряду конструкцій негерметичність у місцях надходження зерна обумовлює підсмоктування повітря і знижує ефективність очищення.

Канали циліндричної форми застосовують в основному в машинах закордонних фірм. Машини такого типу відрізняються низькою продуктивністю. У каналах циліндричної форми створюються різні умови очищення, що залежать від того, у якому місці зерно перетинає канал, що знижує загальний ефект сепарування.

Кільцевий канал утворюється двома вертикальними концентрично розташованими циліндрами: внутрішнім і зовнішнім. Нижній отвір внутрішнього циліндра закрито конічним клапаном, який утримується в закритому положенні пружиною, що діє на клапан за допомогою важеля. Верхня частина зовнішнього циліндра має трохи більший діаметр, ніж інший циліндр. розширення, що утворюється у верхній частині (колектор) сприяє рівномірному розподілу повітря по окружності каналу.

Канали кільцевої форми компактні і в них порівняно просто досягається рівномірність потоку по ширині каналу. Значно важче забезпечити в цих каналах рівномірність потоку за окружністю, тобто довжиною каналу, у зв'язку з однобічним або місцевим відсмоктувачами повітря.

У технологічних процесах пневмосепарування круп'яних культур застосовуються каскадні пневмосепаруючі канали, тому передбачається обов'язкове дворазове пневмосепарування. Їхні відмінні риси: невеликі габаритні розміри і компактність конструкції. Але за ефективністю вони не перевершують пневмосепаруючі канали інших типів.

Якість розподілу зерна в основному залежить від характеру, величини подачі і засміченості зерна. Неорганізоване введення зернової суміші в пневмоканал приводить до істотного розкиду по перетину каналу польотних траекторій, що обумовлює нерівномірність зерна за поперечним перерізом повітряного потоку. У зв'язку із чим виникає необхідність вивчення конструкцій і технологічних процесів живильного обладнання.

1.2.2 Огляд живильного обладнання

Основою поділу зернового матеріалу при повітряному сепаруванні є швидкісна спрямована тонкошарова подача зерна в повітряний потік. Це дозволяє збільшити діючу на компоненти зернового матеріалу аеродинамічну силу, підсилюючи тим самим дану ознаку поділу [9]. Тонкошарова подача дозволяє звести до мінімуму взаємодію між компонентами, що істотно підвищує ефективність роботи повітряного потоку [8].

Поділ компонентів зернової суміші при повітряному сепаруванні здійснюється під дією аеродинамічних і гравітаційних сил. Найбільш легкі компоненти виносяться по повітряному каналу, а інші осаджуються в приймачі фракцій зі зменшенням чистоти зерна по ходу технологічного процесу. Усі фракції відрізняються одна від одної кількісним і якісним складом.

Крім того, нерівномірна подача зерна в повітряний потік сприяє збільшенню взаємодії компонентів і внаслідок цього приводить до зниження якості сепарування. Розподіл навантаження за шириною визначає ступінь використання каналу і тим самим ефективність його роботи. Крім цього внаслідок нерівномірного завантаження по ширині з’являються незавантажені ділянки, а так як опір повітря на цих ділянках падає, то відбувається перерозподіл структури повітряного потоку і, як наслідок, порушується процес сепарування. Коли досягається рівномірна подача зернового матеріалу, можна підвищити якість сепарування і ефективність роботи пневматичного сепаратора [47].

Суттєво різниться класифікація живильного обладнання, запропонована С.А. Аристовим (рисунок 1.2), в основу, якої покладені їхні конструктивні ознаки [11].

Основними вимогами, що запропоновані щодо живильників, що забезпечують рівномірну подачу зернової сировини в повітряний потік є:

-конструктивне виконання і швидкісний режим його роботи повинні забезпечувати рівномірну подачу зернової сировини по ширині і глибині каналу;

-швидкісний режим живильника вибирається з урахуванням сил, що діють на зерно в зоні контакту з елементами живильника, що забезпечують мінімальне травмування зерна і раціональну траєкторію польоту з мінімальними витратами енергії;

- потужність приводу живильника повинна бути по можливості мінімальною;

- конструкція і режим роботи живильника повинні бути такими, щоб забезпечити необхідні якісні і кількісні показники роботи пневмосепаратора.

У зв’язку із цим, застосовуються вальцеві, лопатеві, стрічкові, вентиляторні

і дискові живильники, а також подача, матеріалу, що сепарується самопливом по похилій напрямній.

Стрічкові живильники із прямолінійною стрічкою не здатні забезпечити розгін компонентів до високої швидкості через аеродинамічний опір повітряного середовища, внаслідок чого швидкість руху важких компонентів відносно повітря не перевищує швидкості їх витання і виникає порціонна подача[49].

Ветиляторний живильник призначений для розгону зернових матеріалів під дією повітряного потоку, створюваного вентилятором перед їх укиданням у нерухоме повітряне середовище. Одним з основних недоліків вентиляторного живильника є низький коефіцієнт корисної дії, тому що для розгону важких компонентів необхідна значна довжина труби. А якщо ні, то компоненти будуть вилітати з живильника зі швидкістю суттєво меншою, ніж швидкість повітряного потоку в трубі.

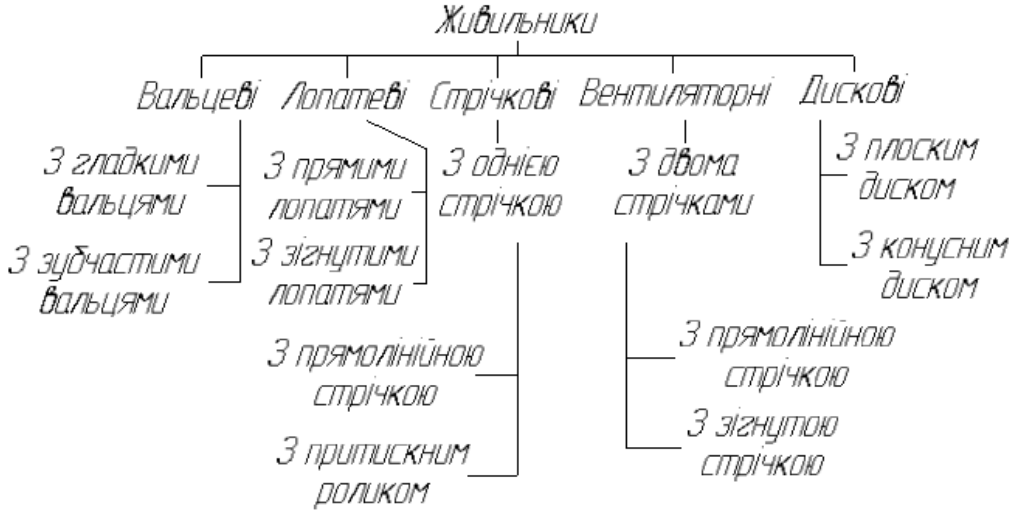

Рисунок 1.2 – Класифікація живильних пристроїв пневматичних сепараторів

Дискові живильники призначені в основному для розкидання матеріалів по колу і за принципом роботи вони не можуть бути використані для вкидання зернового матеріалу в прямокутний повітряний канал.

Вальцеві живильники являють собою два ролики, що обертаються з однаковою швидкістю в різні сторони. До переваг такого живильника можна віднести компактність і простоту конструкції. А до недоліків – у випадку

перевантаження схильність до травмування зерна і відхилення від необхідної швидкості вкидання.

У сучасних конструкціях повітряних сепараторів використовуються, як правило, живильники із прямими і вигнутими лопатями. Лопатеві живильники мають ряд істотних переваг (простота конструкції, технологічна і конструктивна надійність, невеликі габаритні розміри). Такий живильник може вкидати компоненти сировини, як в рухливий, так і в нерухливий потік. Недоліком даного типу живильника є те, що він подає зерновий матеріал порціями, а не безперервним потоком. Зерновий матеріал, викинутий з лопатевого живильника, має досить великий кут розкиду. Крім того, лопатевий живильник не здатний викидати з тим самим кутом і з однаковою швидкістю компоненти зернового матеріалу, що набагато різняться по об'ємній вазі і аеродинамічним властивостям, що обумовлює значну нерівномірність розподілу по поперечному перерізу каналу.

У роботі [30] запропонували обладнання – пневматичний сепаратор, що складається із пневмосепарувального каналу з поперечним вікном для введення сепарируемого матеріалу, у якому встановлений живильник, виконаний у вигляді рифленого валика із гніздами на зовнішній стороні, утвореними лопатями, що і обертається у вікні зверху вниз. Лопаті живильника встановлені з відхиленням від радіального напрямку убік, протилежний напрямку обертання рифленого валика. Недолік конструкції даного сепаратора полягає у виконанні лопатей у вигляді прямої і, хоча встановлені з відхиленням від радіального напрямку, сили, що діють на лопаті, зменшуються незначно, отже, відбувається зношування лопатей, і як наслідок, знижується якість сепарування.

У якості недоліку пневмосепаратору, запропонованого колективом авторів [4] живильник який виконаний у вигляді набору різних по діаметру циліндричних втулок з лопатями, виступає зростаюча епюра сил, що діють на лопать, від центру валика до кінця лопаты і внаслідок цього відбувається недостатньо рівномірний розподіл зернового матеріалу по перетину каналу, крім того збільшується зношування лопатей.

Вчений [28] запропонував пневматичний сепаратор аналогічної конструкції,

але живильник виконаний у вигляді набору однакових по розміру втулок з лопатями, повернених друг щодо друга на 90°. Втулки виконані в поперечному перерізі еліптичної форми. Замість лопатей втулки можуть на утворюючій поверхні мати жолобки. Виконання втулок у поперечному перерізі еліптичної форми приводить до нерівномірності подачі зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал і, як наслідок, зниженню ефективності сепарування.

У якості живильників можливе використання комбінованих робочих органів. Так автори [11] представили пневмосепаратор, що має живильник, поверхня якого виконана у вигляді решета, причому центральна частина живильника порожня, а всередині нього встановлені на валу активатори. Недолік даного винаходу полягає в тому, що при великій завантаженості живильника відбувається забивання решета, що приводить до зниження ефективності сепарування або навіть поломки пневмосепаратора.

У конструкції пневматичного сепаратора зернового матеріалу [1] у вікнах стінок каналу, для введення вихідної суміші та виводу отриманої фракції, змонтована опорна сітка, виконана зі зменшуваним живим перетином у напрямку до її центральної частини, а також бункер з живильником, облаштований метальником вихідної суміші. Опорна сітка чинить додатковий опір повітряному потоку. Вона вирівнює опір потоку по ширині каналу. Але такий спосіб вирівнювання не дає задовільного результату.

Можлива й самопливна подача зернового матеріалу. Так у конструкції пневмосепаратора [2] у якості живильника використовуються скатні лотки із приймальними й сходовими кромками, розташовані одна над іншою. Причому приймальні кромки лотків примикають одна до іншої, а в лотках виконані щілини, спрямовані уздовж руху матеріалу, причому щілини кожного лотка зміщені щодо щілин нище розташованого лотка. У процесі роботи існує ймовірність зношування сходових кромок лотків у результаті тертя їх об зерно, що приводить до заміни всіх лотків, а виготовлення їх вимагає великої металоємності.

Крім того, ведуться роботи з вирівнювання повітряного потоку. Так [3] представили сепаратор зернових сумішей з живильником і встановленої під ним

повітророзподільними решітками з набору пластин, причому пластини повітророзподільних решіток об’єднані в блоки, установлені східчасто по глибині пневмосепарувального каналу. При цьому пластини в кожному блоці встановлені паралельно одна інший, а блоки орієнтовані під різними кутами до поздовжньої осі пневмосепарувального каналу. У результаті поділу повітряного потоку повітророзподільними решітками утворюються так звані «мертві» зони, у яких зерно не буде зазнавати дії висхідного повітряного потоку. Отже, неочищене зерно буде попадати в збірник готової продукції.

Наступний тип пневматичних сепараторів [22] мають особливість – наявність аспіраційних каналів прямокутного або кільцевого перетинів, усередині яких ярусами встановлені відбивні козирки, що теж дозволяє ліквідувати «мертві» зони в повітряному потоці пневмоканала й збільшувати час впливу потоку повітря на насінний матеріал, завдяки яким забезпечується більш рівномірний розподіл часток по перетину каналу і, як наслідок, більш висока якість очищення насіння. Недоліками даних конструкцій є те, що при збільшенні зернового навантаження існує можливість забивання ярусів аспіраційного каналу зерновим матеріалом, що може негативно позначитися на якості сепарування.

Датська фірма «Cimbria» робить різні повітряно-решітні сепаратори. Машина Rotoclean для попереднього очищення зернових матеріалів являє собою пилонепроникну сталеву конструкцію з повним захистом усіх частин, що рухаються. Виділення грубих і легких домішок з високовологого зерна здійснюється за допомогою трьох, установлених послідовно, голчастих [48].

Особливість сепараторів Delta – висока універсальність. Рівномірність подачі зерна забезпечується подаючим валиком, який розподіляє його по всій ширині машини й направляє в пневмоканал першої продувки для виділення легких домішок. Ширина каналу регулюється, що дозволяє змінювати швидкість повітряного потоку. З нього зерно направляється на прийомне решето, сходом з якого виділяються великі домішки й виводяться з машини.

Французька фірма «Daquet» випускає турбінні пневмосепараторы DA67 продуктивністю 30 т/год і SP68 – 50 т/год. Аналогічні по конструкції сепаратори

випускають фірми «Osrim» (Італія), «Forsberg» (США), «Damas» (Данія).

Слід зазначити, що аеродинамічна схема машини SP68 більш досконала, тому що за рахунок осьового всмоктування забезпечується рівномірний розподіл повітряного потоку. Компактність і простота конструкції при високій, продуктивності й невеликій встановленій потужності – основні переваги цих пневмосепараторів [48].

Недолік розглянутих сепараторів закордонного виробництва полягає в них досить високій вартості, ускладненого технічного обслуговування й ремонту. Саме із цих причин у більшості випадків вони недоступні не тільки фермерським господарствам, але й підприємствам середньої потужності.

Для теоретичного вивчення питання про впливи якості подачі зернової сировини живильником у вертикальний повітряний канал на якість його поділу повітряним потоком доцільно проаналізувати стан існуючих теоретичних досліджень пневмосепарування зернової маси.

1.3 Основні закономірності процесу пневмосепарування зернової суміші

Проведений раніше аналіз експериментальних і теоретичних досліджень процесу пневмосепарування зернових сумішей дозволили встановити, що основними факторами, що впливають на процес повітряного сепарування є:

- аеродинамічні властивості компонентів зернової суміші (ступінь відмінності швидкостей витання зерен культури, що очищається.і домішок);
- подача й умови введення зернової суміші (величина питомого зернового навантаження, початкова швидкість часток сепарувального матеріалу, кут подачі);
- кількісні і якісні характеристики зерноповітряного потоку (величина середньої швидкості повітряного потоку, рівномірність зерноповітряного потоку в пневмосепарувальних каналах);
- форма, конструкція та геометрія каналів (ширина й висота).

Частки зернової суміші, що перебувають у пневмоканалі, переміщаються під впливом повітряного потоку в природніх умовах зернового потоку й протягом

дуже короткого проміжку часу (долі секунди): чим менше швидкості витання домішок відрізняються від швидкостей витання зерен культури, що очищається, тем нижче ефективність очищення.

Товщина шару матеріалу залежить від питомого навантаження – при її збільшенні також збільшується і, отже, погіршуються умови виділення часток домішок, що перебувають у нижніх шарах зернового потоку, від початкової швидкості часток і об'ємної ваги матеріалу.

Як випливає з аналізу літератури по даному питанню, у міру збільшення ширини каналу ефективність очищення зростає й при його деякому раціональному значенні, він досягає максимального значення. Чим більше ширина каналу, тим більш тривало впливає повітряний потік на частки зернового потоку, а це сприяє збільшенню ефективності очищення, тому що при цьому велика кількість домішок, розташованих у різних шарах зернового потоку, встигає перейти в її верхній шар і виділиться із зерна. Але при збільшенні ширини каналу й збереженні постійної величини середньої швидкості зерноповітряного потоку, збільшується вміст нормального зерна у відходах, погіршується чіткість сепарування.

Таким чином, зазначені фактори впливають на ефективність очищення: збільшення ширини каналу – позитивно, а зниження швидкості повітряного потоку, необхідне для збереження встановленої чіткості сепарування – негативно. Залежно від того, який із цих факторів як впливає, і відбувається збільшення або зменшення абсолютної величини ефективності очищення.

З досліджень [20] випливає, що зі збільшенням висоти верхньої частини каналу збільшується швидкість повітряного потоку, отже, підвищується ефективність очищення. А при способі подачі матеріалу в канал, під деяким кутом униз, усі частки рухаються спочатку по спадній напрямках своєї траєкторії, і навіть якщо вона досягає зовнішньої стінки каналу, то відбивається від неї вгору. Якщо ж частка при русі по спадній траєкторії вдаряється о зовнішню стінку, то вона буде відбита вниз, і умови її виділення значно погіршуються.

З аналізу літератури по цьому питанню випливає, що гранична швидкість

зерноповітряного потоку залежить від початкової швидкості часток сепарувального матеріалу, зернового навантаження, ширини каналу й рівномірності зерноповітряного потоку.

Рівномірність зерноповітряного потоку характеризується графічним полем швидкостей цього потоку. При порівнянні рівномірностей різних потоків або одного потоку при різних умовах використовують який-небудь об'єктивний показник рівномірності. При визначенні одного з них користувалися одним з методів варіаційної статистики, що дозволяє чисельно оцінювати ступінь рівномірності зерноповітряного потоку за коефіцієнтом варіації $Ф$ [36]:

$$Ф = \frac{\sigma}{\nu_{в.ср}} \cdot 100\%, \tag{1.1}$$

де σ – середньоквадратичне відхилення швидкостей в окремих точках від середньої швидкості зерноповітряного потоку, м/с;

$\nu_{в.ср}$ – середня швидкість зерноповітряного потоку, м/с.

Коефіцієнт варіації, є показником ступеня відхилення швидкостей потоку в окремих точках поперечного переріза каналу від середньої швидкості в цьому перетині.

На рівномірність зерноповітряного потоку також впливає його режим, що залежить від в'язкості повітря, його швидкості й розмірів повітряпідвідного каналу [36]. При відносно невеликих швидкостях зерноповітряного потоку й малих розмірах перетину каналу спостерігається параллельно-струменевий (ламінарний) потік, поле швидкостей якого являє собою параболу. Ламінарний потік відрізняється значною нерівномірністю; середня швидкість потоку дорівнює половині його максимальної швидкості. В інших випадках спостерігається вихровий (турбулентний) потік, який складається з порівняно тонкого граничного шару і ядра потоку. Турбулентний потік відрізняється більшою рівномірністю в порівнянні з ламінарним.

Істотний вплив на поле швидкостей виявляє наявність у повітропроводу

коліна або відводу, близькість фасонних частин повітропроводів, особливо, якщо вони розташовані перед перетином, у якому проводиться вимір швидкостей, конструкція вхідного отвору [42].

Вчені [42] до факторів, що впливають на рівномірність зерноповітряного потоку в пневмосепарувальних каналах, додають ще один – зерно, що рухається в каналі, яке в значній мірі змінює поле швидкостей, а саме відбувається різке зменшення швидкостей біля внутрішньої стінки, трохи менше в зовнішньої стінки, а в центральній частині каналу швидкості збільшуються.

На думку [25], чим більше зернове навантаження, тим більше різко знижуються швидкості біля стінок каналу, особливо біля внутрішньої стінки, отже, тим більша нерівномірність поля швидкостей. По мірі збільшення зернового навантаження коефіцієнт варіації поля швидкостей по ширині каналу збільшується. По довжині каналу зміна поля швидкостей носить зворотний характер. Останнє відбувається за умови, що товщина зерноповітряного потоку рівномірна по довжині каналу.

Дослідники [14, 18] відзначають, що маючи різні аеродинамічні властивості, зерна сепарувального матеріалу рухаються по різних траєкторіях, утворюючи віяроподібний потік змінний, по ширині каналу й шпаруватості. Найменшу шпаруватість (найбільшу щільність) зерновий потік має біля внутрішньої стінки каналу в момент входу. Далі в міру просування її до зовнішньої стінки каналу шпаруватість зернового потоку збільшується. Після удару об- зовнішню стінку основна маса зерна рухається вниз, утворюючи біля зовнішньої стінки щільний шар, що має при великому зерновому навантаженні товщину 20 мм.

У зв’язку з різною шпаруватістю зернового потоку опір його неоднаковий по ширині каналу: він має найменшу величину в центральній частині й збільшується в напрямку до стінок каналу. У результаті цього статичний тиск зерноповітряного потоку біля стінок перед зерновим потоком зростає, а в центральній частині падає. З’являється градієнт тиску, що має напрямок від стінок до центральної частини каналу. Відповідно змінюються й швидкості зерноповітряного потоку, який одержують максимальне значення в центральній

частині й зменшуються в напрямку до стінок каналу. Більш різке зниження швидкості відбувається в напрямку до внутрішньої стінки.

Вирівнювання поля швидкостей по довжині каналу відбувається у зв'язку з рівномірним розподілом зерна уздовж каналу. Однак живильні пристрої більшості сепараторів не забезпечують рівномірної подачі зерна по довжині каналу.

Аналіз руху частки проведений без обліку збільшення швидкості зерноповітряного потоку в міжзерновому просторі потоку сепарувального матеріалу, ударів часток одна об іншу й деяких інших факторів через складність і невивченість цих явищ. Тому в реальних умовах траєкторії часток відрізняються від побудованої, особливо в початковий момент руху.

Дослідження [36] за процесом сепарування показали, що при нерівномірному зерноповітряному потоці дійсно спостерігається випадання вже виділених із зерна часток, як біля зовнішньої, так і біля внутрішньої стінок каналу, де швидкості зерноповітряного потоку нижче середньої величини. Наявність підвищених швидкостей повітря в центральній частині каналу призводить до збільшення віднесень у віддільник домішок нормальних зерен. Отже, нерівномірність зерноповітряного потоку викликає погіршення ефективності й чіткості сепарування і є негативним явищем.

Численними експериментальними дослідженнями [29] було показано, що від умов уведення зернової суміші в канал багато в чому залежить ефективність процесу пневмосепарування, (рисунок 1.3) Як правило, механізми подачі зернової суміші в канал не передбачають регулювання швидкості введення зернівок у канал і орієнтації вектора цієї швидкості, хоча можливості цьому є. Параметри при конструюванні підпорядковуються, з одного боку, умовам рівномірної подачі зернової суміші в часі, з іншого боку – рівномірному розподілу зерна по фронту подачі.

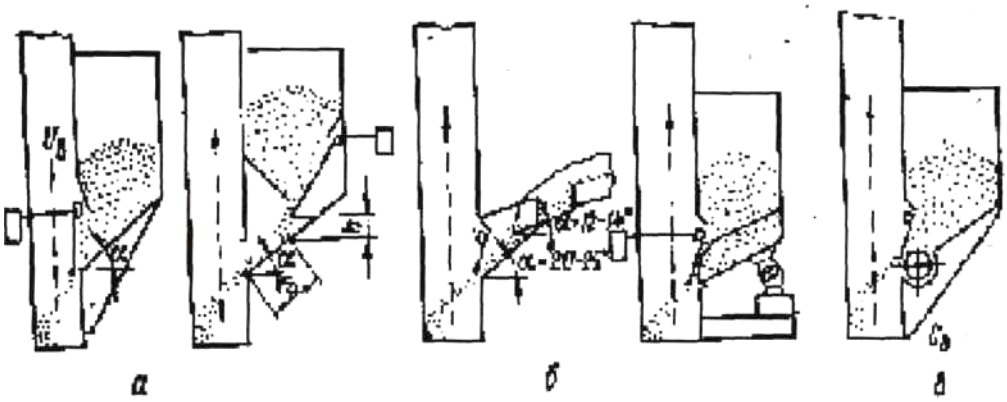

Рисунок 1.3 – Способи подачі зернової суміші в пневмосепарувальний канал
а – самопливом по похилій поверхні; б – вібруючим лотком; в – рифленим живильним валиком

Результати аналізу результатів багатьох дослідників [36] залежності ефективності очищення від початкової швидкості (рисунок 1.4) підтверджують думки про те, що раціональне значення швидкості зернівок перебуває в межах 0,3 – 0,4 м/с.

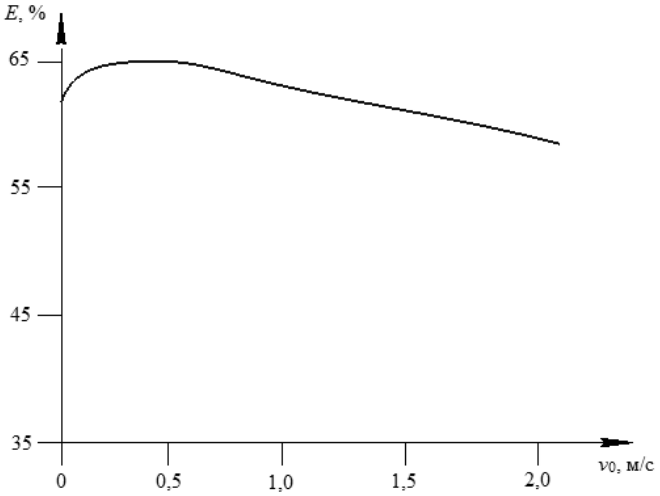

Рисунок 1.4 – Крива залежності ефективності очищення зерна від початкової швидкості введення зернової суміші в канал при різних швидкостях зерноповітряного потоку

Слід зазначити, що при конструюванні пневмосепарувального обладнання на умови введення зернової суміші в канал майже не звертають уваги. Це підтверджується більшими коливаннями значень $v_0 = 0,3 - 1,2$ м/с у різних

машинах. Як випливає з [36], початкову швидкість введення зернової суміші v_0 в пристроях, наведених на рисунку 1.3 а, визначається кутом нахилу напрямної, який вибирають близьким до кута тертя зерна о металеву скатну поверхню, тобто 25 – 35°:

$$v_0 = \sqrt{2gS\left(\sin\alpha - f\cos\alpha\right) + v_{он}^2}. \tag{1.2}$$

де S – шлях зерна по напрямній, м;

α – кут нахилу напрямної, градуси;

f – коефіцієнт тертя;

$v_{он} = \sin\alpha\sqrt{2gh}$ – початкова швидкість зернівки на похилій напрямній, м/с;

h – висота вільного падіння, м.

На рисунку 1.3, б показано обладнання з вібруючим лотком. Швидкість v_0 у таких пристроях близька або трохи менше раціонального значення. Подача зернової суміші в канал за допомогою вібруючих лотків за певних умов сприяє самосортуванню зернової суміші й уведення її в канал у вигляді двошарового потоку.

Як випливає з [36] в пристроях з живильним валком (рисунок 1.3, в) швидкість v_0 підтримують кінематичним режимом валка:

$$\frac{G}{g}\cdot w_B^2 \cdot r_B = G_3\cos\alpha, \tag{1.3}$$

де G_3 – маса зернівки, кг;

w_B – кутова швидкість коливальника, м/с;

r_B – радіус валка, м;

α – кут подачі зернівки в канал, градуси.

Виразивши кутову швидкість валка через v_0, одержимо:

$$\frac{v_0^2}{r_B} = g\cos\alpha;\ \text{і}\ v_0 = \sqrt{gr_B\cos\alpha} \approx 3{,}14\sqrt{r_B\cos\alpha}. \qquad (1.4)$$

Таким чином, літературний аналіз показав переваги й недоліки існуючих теорій сепарування, конструкцій повітряних сепараторів, на які ми будемо спиратися, щоб підтвердити робочу гіпотезу, яка при деяких допущеннях і виключеннях явних помилок плавно перетече в досліджувану теорію сепарування й, відповідно, і експериментальний повітряний сепаратор для його здійснення.

Висновки до розділу та завдання досліджень

У результаті проведеного літературного аналізу стану проблеми очищення й сортування зерна можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз існуючих досліджень процесу сепарування показує, що пневмосепаруванняе зернових сумішей відбувається з недостатньо високою якістю. Це пояснюється рядом факторів: короткочасний вплив повітря на частки оброблюваного матеріалу, різке зниження швидкості повітря в просторі біля стінок каналу, що обумовлює значну нерівномірність зерноповітряного потоку по перетину каналу й інші. Поліпшення якості сепарування досягається шляхом упорядкування подачі зернових сумішей, що супроводжується зниженням швидкості подачі, а у зв'язку із цим і продуктивності. У реальних умовах нерівномірність розподілу елементів зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмоканалу перебуває в межах 28 – 32 %. Однопотокова схема подачі зернової суміші в пневмоканал не забезпечує якісного сепарування.

2. Якість насіння найбільше повно характеризується їхньою абсолютною масою. У посівному матеріалі зернових культур утримується до 30 % легких малоцінних у біологічному відношенні насіннин, значну частину яких можна виділити повітряним потоком. Посів насіння, що було відсортоване повітряним

потоком, може дати збільшення врожайності до 20 %.

3 Конструкція живильного пристрою пневматичного сепаратора повинна забезпечувати рівномірний розподіл зернової суміші по ширині, по глибині й за часом у пневмосепарувальному каналі. При цьому травмування зерна й витрата енергії повинна бути мінімальним.

Аналіз стану теоретичних і експериментальних пошуків в області процесу сепарування сировини дозволив визначити наукову мету, що полягає в підвищенні ефективності процесу сепарування зернової суміші шляхом удосконалювання його технологічного процесу й повітряного сепаратора для його здійснення, що забезпечують поліпшення якості сепарування й збільшення продуктивності. Поставлена мета дозволяє сформулювати завдання дослідження.

Завдання досліджень:

1 Дослідити вплив рівномірності подачі й розподілу зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмосепарувального каналу на ефективність процесу сепарування;

2 Розкрити взаємозв’язки між вихідними показниками процесу пневмосепарування й конструктивно-експлуатаційними параметрами пневмосепаратора;

3 Удосконалити конструкцію й обґрунтувати основні параметри й режими роботи повітряного сепаратора з живильним обладнанням, що забезпечують поліпшення рівномірності подачі й розподілу зернової суміші по площі поперечного переріза пневмосепарувального каналу.

4. Провести економічну оцінку витрат на проведення досліджень.

2 ТЕОРІЯ ПРОЦЕСУ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ

2.1 Розробка раціональної схеми пневмосепаратора

Пневмосепарування зернових сумішей являє собою процес впливу повітряного потоку на матеріал, що вводиться в нього.

Ефективність роботи пневмосепарувальних систем зерноочисних машин вимагає знання сутності механіки процесу поділу зернової суміші повітряним потоком, тобто знання закономірностей руху часток (зернівок) у пневмоканалі. Складність зазначеного процесу пояснюється багатьма причинами: надходження зернової суміші в канал багатошаровим потоком, зіткнення зернівок між собою й зі стінками каналу, нерівномірний розподіл зернівок по площі поперечного перерізу пневмоканалу, зміна швидкості зерноповітряного потоку, відмінність геометричних, фізико-механічних властивостей і початкових умов для окремих зернівок. Тому при теоретичному дослідженні процесу, поділу зернової суміші повітряним потоком доводиться приймати ряд допущень і розглядати рух ізольованої зернівки. Теорія, заснована на вивченні руху ізольованої зернівки, не може дати повної уяви про дійсну картину явищ, що відбуваються в каналі, проте, вона відбиває основну сутність процесу пневмосепарування й дозволяє в першому наближенні оцінити вплив окремих факторів на цей процес. До того ж, удосконалюючи технологію сепарування, ми повинні, в остаточному підсумку, створити умови рівномірного розподілу, при якому умови взаємного зіткнення зводилися б до мінімуму або їх зовсім не було.

Слід зазначити, що завдання руху навіть одиночного тіла в повітряному середовищі є важким завданням аеромеханіки. У цей час не існує теорії, згідно якої можна було б точно розрахувати рух тіла довільної форми в повітряному потоці. Проблема вивчення суттєво ускладнюється ще однією обставиною – при

більших значеннях числа Рейнольдса рух стає турбулентним. Для опису турбулентних рухів не існує повної системи рівнянь і тому в кожному конкретному завданні в окремих випадках робляться додаткові припущення, засновані на експериментах.

У більшості робіт, присвячених теорії пневмосепарування зернових сумішей, зернівки розглядаються як матеріальні кульки [8]. Такий підхід не враховує вплив форми зернівок на рух у каналі. Для зернівок, що суттєво відрізняються від форми кулі, сили аеродинамічної взаємодії з повітряним потоком і ударна взаємодія зі стінками каналу викликають дію крутного моменту, зернівка змінює свою орієнтацію в повітряному потоці, що приводить до зміни міделевого перетину й величини аеродинамічного опору.

Експериментальні дослідження [5] показали, що більшість зернівок рухається у вертикальній площині, одночасно обертаючись навколо своєї осі, перпендикулярної площини руху. Обертання зернівок навколо найменшої центральної осі інерції відбувається тому, що центральний еліпсоїд інерції гіроскопа є витягнутим еліпсоїдом обертання й момент сил опору обертанню пропорційний його кутовій швидкості, отже вісь симетрії гіроскопа прагне стати перпендикулярно вектору кутової швидкості. Тому в першому наближенні можна обмежитися розглядом плоского руху зернівки.

Пневматичне сепарування являє собою фізичний процес поділу невеликого числа часток важкого й легкого компонентів вертикальним-повітряним потоком. Рух частки в повітряному потоці залежить від швидкості надходження v_0, швидкості повітряного потоку v, кута надходження α, еродинамічних властивостей частки.

Зіставлення результатів вищенаведеного аналізу з існуючими параметрами вертикальних повітряних каналів і режимами пневмосепарування дозволяє говорити про те, що переважна кількість повітровідокремлюваних часток досягає зовнішньої стінки каналу.

У реальних умовах через нерівномірність зерноповітряного потоку в каналі й наявності «мертвих зон» в просторі біля стін, частки, що досяглися зовнішньої

стінки каналу, у значній кількості сходять уздовж неї вниз.

Виключити схід часток уздовж стінок можна шляхом збільшення ширини каналу. Однак це веде до значного підвищення витрати повітря й збільшує енерговитрати.

Інший шлях – примусове введення часток у центральну частину каналу, де швидкість повітряного потоку найбільш вирівняна, причому траєкторія руху часток зерна повинна бути такою, щоб забезпечувалося тривале, перебування основної маси зерна саме в центральній частині каналу.

В існуючих каналах зерноочисних машин повітря. впливає на частки сепарувального матеріалу, головним чином, у момент руху зернового потоку від внутрішньої стінки каналу до зовнішньої. З неї у верхню зону каналу несеться основна частина легких домішок і деяка кількість зерен. У верхній зоні каналу з легкої фракції зернівки виділяються й надходять униз, а легкі частки рухаються нагору й потрапляють в осадову камеру. Зерновий потік зі значною кількістю чатинок, що невідокремилися повітряним потоком, досягнувши зовнішньої стінки каналу, сходить уздовж неї вниз, практично не піддаючись впливу повітря в нижній зоні. Подальше поліпшення якості сепарування зерна існуючими типами повітряних сепараторів ускладнено. Це пояснюється наступними причинами:

- швидкості повітря по перетину каналу розподілені нерівномірно, а в просторі біля стінок, швидкість повітря близька до нуля;
- оброблюваний матеріал зазнає впливу повітряного потоку протягом малого проміжку часу;
- спостерігається взаємодія сепарувальних часток у вигляді ефекту, що екранує;
- існує потокове переміщення матеріалу вниз, а потік повітря нагору по каналу й нерівномірний розподіл матеріалу по його перетину.

Для підвищення ефективності поділу зернових сумішей необхідно ефективно використовувати всі зони сепарування. Значні зусилля дослідників були спрямовані на створення умов для рівномірного розподілу сепарувального матеріалу по перетинах каналу й забезпечення рівнозначних умов сепарування по

всій його ширині, шляхом установки спеціалізованих скатних лотків або лопатевих живильників з різними робочими органами.

Для збільшення продуктивності при якісному сепаруванні, а це досягається тільки при рівномірному розподілі зернової суміші по всій площі поперечного перерізу пневмоканалу, пропонується використання живильних пристроїв у вигляді системи, що складається із пневмосепарувального каналу з поперечним вікном для введення сепарувального матеріалу, у якому встановлені скатні лотки із приймачами та сходовими кромками, розташованими один на одним. Лотки виконані прямолінійними дотичними до елементарної ділянки брахистохрони різної довжини. Тому що брахистохрона являє собою криву найшвидшого спуску, по якій рухається тіло з мінімальним опором середовища, можна зробити висновок про раціональність вибору кутів установки скатних лотків, що дозволяють рівномірно подавати матеріал, що сепарується по всіх елементарних ділянках. При цьому, якщо пневмосепарируючий канал умовно розділити на елементарні ділянки (рисунок 2.1), матеріал, що сепарується надходить зі скатних лотків, відповідно під кутом їх нахилу, рівномірно на відповідні ділянки. У цьому випадку рівномірність розподілу, сировини що очищується забезпечується подачею вихідної сировини у вигляді окремих потоків з різними швидкостями рівномірно по кожному перетину в різні ділянки пневмосепарувального каналу відповідно до кута нахилу скатного лотка. У такому виді матеріал ефективно продувається висхідним вертикальним повітряним потоком, що несуть , що сепарують легкі домішки за межі.

Однак для забезпечення цього процесу необхідно забезпечити рівномірний розподіл зернової суміші в кожний вертикальний відсік живильника, що можна здійснити установкою розподільника над вертикальними відсіками. Установкою в кожному відсіку розподільника можна добитися рівномірного розподілу зернової суміші по ширині повітряного каналу. Ці положення є гіпотезою про напрямок удосконалювання технології сепарування і конструкції сепаратора для її здійснення. Наступним етапом досліджень є перетворення гіпотези в теорію, що забезпечує коректне обґрунтування раціональної схеми сепаратора і основних

його параметрів.

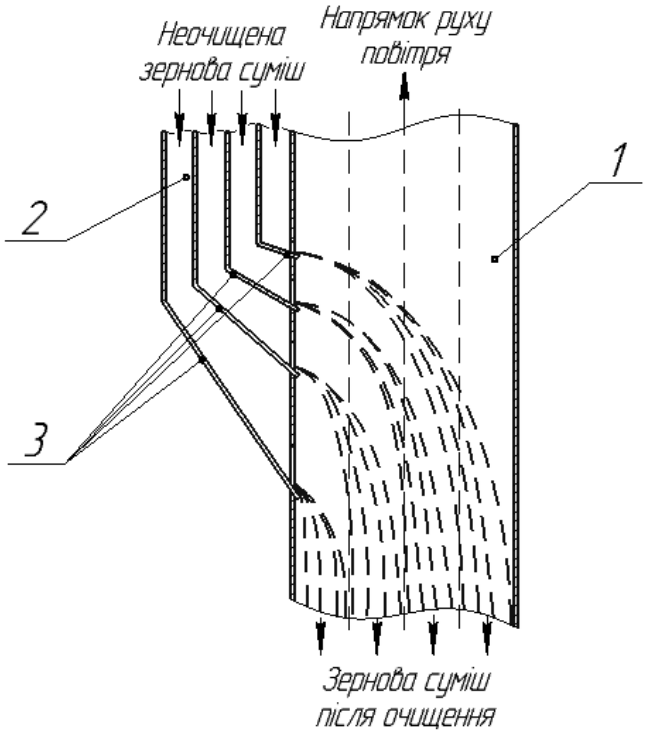

Рисунок 2.1 – Схема рівномірного розподілу зернової суміші по площі поперечного перетину пневмоканалу

1 – сепарувальний канал; 2 – живильний пристрій; 3 – скатні лотки.

2.2 Обґрунтування основних параметрів пневмосепаратора

Основною перевагою живильних пристроїв повітряних сепараторів з використанням енергії вільного падіння зернової суміші є простота конструкції, надійність у роботі і невелика металоємність. Однак вони не одержали широкого поширення внаслідок невідповідності за деякими якісними показниками їх роботи, основним з яких є невисока рівномірність розподілу зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмоканала, що обмежує підвищення ефективності повітряного сепарування.

У зв’язку із цим, виникає необхідність знаходження нового напрямку удосконалення живильних обладнань повітряних сепараторів для рівномірного

розподілу зернової суміші по площі поперечного переріза пневмоканалу.

Задача про брахистохрону була вперше поставлена в 1696 році І. Бернуллі для випадку руху важкої крапки з нульовою початковою швидкістю без обліку сил опору руху в наступному формулюванні. Через крапки А і В, що лежать на різній висоті над рівнем землі, провести криву лінію, при русі по якій під дією сили тяжіння матеріальна крапка пройде з А в В за найкоротший час. Вирішували це завдання Лейбніц, Ньютон, Лопиталь і І. Бернуллі. Розв'язок, даний І. Бернуллі, слугував початком розвитку варіаційного обчислення нового розділу математики, присвяченого знаходженню мінімумів функціоналів.

Розподіл зернівок можна вважати задовільним, якщо в кожній елементарній ділянці поперечного перерізу пневмоканалу буде перебувати однакова їхня кількість.

Випливаючи з теорії рівномірності розподілу професора Коврикова І.Т. у загальному виді цільова функції має вигляд:

$$E = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} U_{ij} K_{ij} \to \max, \qquad (2.1)$$

де U_{ij} – додатковий ефект від поліпшення рівномірності розподілу значень дальності польоту, елементів зернової суміші,що подається *i*-м елементом робочого органа, що подає на j -м ділянці;

K_{ij} – коефіцієнт ефективності впливу кожного i -го елемента на кожній j -й ділянці перетину каналу.

Приймаючи кожний елемент зернової суміші за матеріальну крапку та зневажаючи опором повітря [44] на ділянці в межах пневмоканалу ($v \cong 1,5-1,7$ м/с, допускаються при цьому помилки 0,6 – 0,7 %), диференціальні рівняння їх руху запишуться у вигляді:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = 0;$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -mg; \tag{2.2}$$

де m – маса елемента зернової суміші (рисунок 2.2).

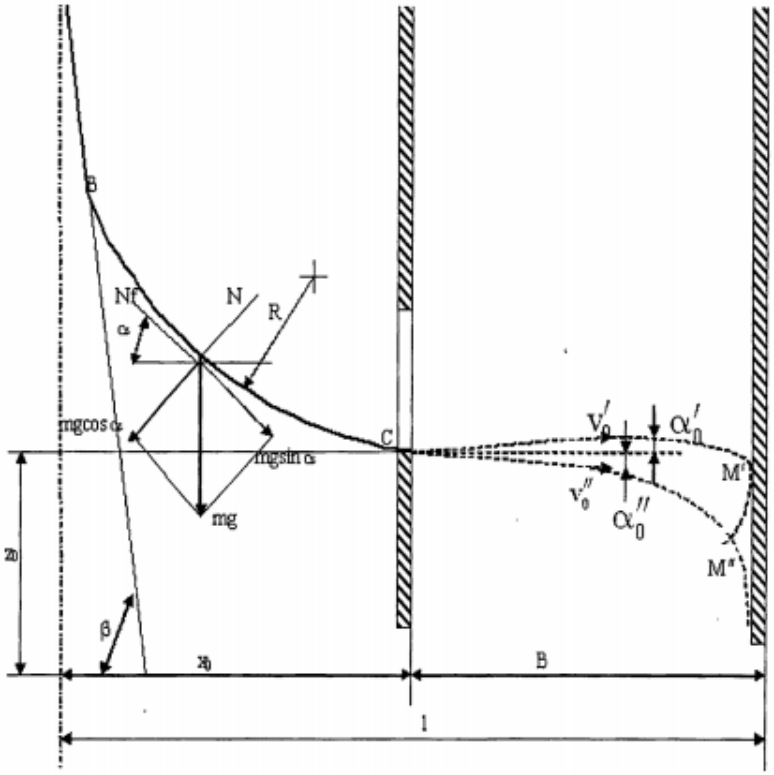

Рисунок 2.2 – Схема до обґрунтування раціональної форми скатного лотка

$ABCM'$ – траєкторія руху зернівки з ударом об протилежну стінку пневмоканалу, а також об умовні стінки, що є граничними площинами між елементарними ділянками пневмоканалу;

$ABCM''$ – траєкторія руху зернівки без передачі імпульсу силє

Після подвійного інтегрування рівнянь (2.11) при початкових умовах руху і, виключивши з рівняння параметр *t*, одержимо рівняння траєкторії елемента зернової суміші після сходу з обладнання, що подає (живильника):

$$z_{mp1} = tg\alpha_0\left(x_j - x_0\right) - \frac{g\left(x_j - x_0\right)^2}{2v_0^2\cos^2\alpha_0} + z_0, \tag{2.3}$$

де v_0 – початкова швидкість руху елементів суміші після сходу, м/с;

α_0 – кут початкової швидкості v_0 до горизонту, градуси;

z_0 – відстань по висоті між кромкою та крайкою доторкання з вертикальною стінкою каналу, м;

x_0 – радіус основи розподільника в місці сходу з нього зернівки, м.

Абсциса крапки перетину траєкторії польоту із площиною розглянутого перетину каналу є дальністю польоту елемента зернової суміші в межах повітряного каналу, яка визначиться з (2.3), прийнявши $z_0 = 0$:

$$I = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gz_0}{g} + x_0. \qquad (2.4)$$

Відповідно, с врахуванням (2.4), умова задовільного розподілу елементів зернової суміші по площі розглянутого перетину повітряного каналу сепаратора запишеться у вигляді:

$$x_0 + \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gz_0}{g} \geq x_j, \qquad (2.5)$$

де x_j – відстань до елементарної j-ї ділянки поперечного переріза повітряного каналу.

Дальність польоту буде досягати максимального значення у випадку якщо зернівки не будуть битися про протилежну стінку пневмоканалу або елементарної j-ї ділянки поперечного переріза повітряного каналу або у випадку косого удару без повідомлення імпульсу сил.

Отже, політ зерна без удару в пневмоканалі буде за умови, якщо (рисунок 2.3)

$$\left(x_j - x_0\right) tg\alpha_0 - \frac{g\left(x_j - x_0\right)^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} + z_0 \le x_j. \tag{2.6}$$

Аналіз виразів (2.3 – 2.6) з використанням відомих залежностей $v = f\left(u_0\right)$ і $\alpha_0 = f\left(\beta\right),$ що мають місце при пружному косому ударі [26], показав, що дальність польоту зернівок у пневмоканалі після сходу зі скатного лотка живильника залежить від швидкості польоту зерна перед ударом о протилежну стінку пневмоканала, кута нахилу скатного лотка, а також параметрів пневмоканала та ін.

Повітряний потік вплине на подаваний потік зерна в пневмоканалі. Беручи до уваги силу, з якої повітряне середовище діє на частку, рівняння траєкторії руху частки, дальність польоту елемента зернової суміші, умова розподілу елементів зернової суміші й політ зерна без удару в пневмоканалі запишуться у вигляді:

$$z_{mp^2} = \left(x_j - x_0\right) tg\alpha_0 - \frac{g\left(x_j - x_0\right)^2}{2v_0^2 \cos^2 a_0} - \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2} + z_0; \tag{2.7}$$

$$I = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gz_0}{g} - \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2} + x_0; \tag{2.8}$$

$$x_0 + \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gz_0}{g} - \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2} \ge x_j; \tag{2.9}$$

$$\left(x_j - x_0\right) tg\alpha_0 - \frac{g\left(x_j - x_0\right)^2}{2v_0^2 \cos^2 a_0} - \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2} + z_0 \le x_j, \tag{2.10}$$

де $k_c > 0 -$ коефіцієнт аеродинамічного опору;

S_M – площа перетину зернівки;

w – відносна швидкість зернівки;

ρ – параметр подовження зернівки.

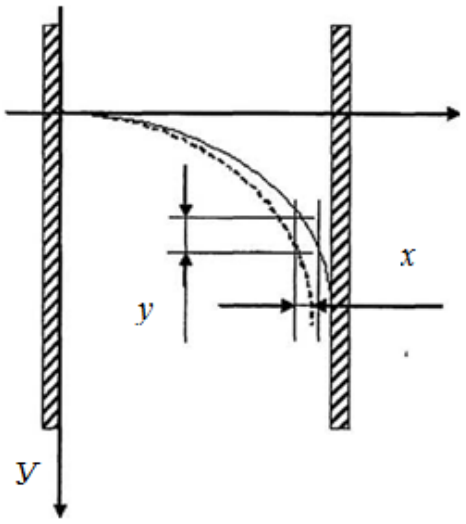

Рисунок 2.4 – Схема зміни траєкторії польоту елемента зерновоздушной суміші під впливом висхідного потоку (відповідно до виразами (2.7 – 2.10)

Як бачимо, з (2.7 – 2.10) і рисунка 2.4, потік впливає на траєкторію кожної зернівкі, в однаковій мірі відхиляючи від теоретичної траєкторії.

Слід зауважити, що висота траєкторії і дальність польоту в одних і тих же умовах коливається в значних межах (коефіцієнт варіації в окремих дослідах досягає величини 20 – 25 %. Це пояснюється непостійністю миделевого перетину в процесі польоту зернівок, а також положення їх під час удару об протилежну стінку пневмоканалу.

Збільшуючи кут подачі і не допускаючи удару об протилежну стінку каналу, можна знизити найбільшу висоту траєкторії польоту до потрібних, що визначаються відстанню до протилежної стінки пневмоканала, розмірів.

У більшій мірі будуть відповідати цим вимогам живильники, що перетворюють напрямок руху зернової суміші з вертикального в напрямок подачі в пневмоканал, не на принципі відбиття, а на принципі ковзання зернівок по криволінійній поверхні, що виводить їх на потрібний напрямок.

Теоретичний розв'язок цього завдання з використанням принципів варіаційного обчислення виконане в [26] представлено у вигляді брахістохрони.

Зернівки, що надходять на скатний лоток за межами крапки, В (рисунок 2.2), попадають у режим косого пружного удару, у результаті чого не спостерігається ковзання по поверхні скатного лотка, що призводить до більших відхилень фактичних параметрів від розрахункових. Отже, головною умовою є подача в режимі ковзання по поверхні.

Одним з основних факторів, що визначають дальність польоту зернівок, а тому й параметри живильного обладнання і пневмоканалу є величина видалення протилежної стінки або вертикальної межі елементарної ділянки поперечного перерізу повітряного каналу x_j, (в подальшому під «протилежною стінкою» розуміється, як фізична стінка, так і умовні вертикальні площини, що розділяють елементарні ділянки пневмоканалу).

Дальність польоту зернівок буде мати максимальне значення, коли траєкторія польоту їх буде торкатися в точці М «протилежної- стінки» каналу (без повідомлення імпульсу сил). Ця умова описується рівнянням (2.10).

Крім того, внаслідок торкання траєкторії польоту зерна о «протилежну стінку» повітряного каналу похідна функція польоту зернівок повинна бути рівною кутовому коефіцієнту прямої протилежної стінки:

$$\frac{dz_{mp}}{dx} = \frac{dz_{cm}}{dx}, \tag{2.11}$$

або

$$\left(x_j - x_0\right) tg\alpha_0 - \frac{g\left(x_j - x_0\right)^2}{2v_0^2 \cos^2 a_0} - \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2} + z_0 = x_j. \tag{2.12}$$

Аналіз умови (2.12) показує, що ліва частина його зменшується зі

збільшенням x , права ж залишається постійної. Отже, збільшення $\frac{dz_{mp}}{dx}$ при значеннях x більших, ніж абсциса точки торкання завжди більше й збільшення $\frac{dz_{cm}}{dx}$ лінії стінки. Ця обставина обумовлює вірогідність висновку про те, що функція z_{mp} досягає нульового значення при x меншому x^2, при якому функція z_{cm} досягає також нуля. Із цього випливає, що рівномірний розподіл зерна по всій площі поперечного переріза буде забезпечено в тому випадку, коли $dz_{mp} = dz_{cm} = 0$ при $x = x_j$.

Таким чином, об'єктивність теоретичного аналізу при обґрунтуванні оптимальних основних параметрів живильників повітряних сепараторів буде забезпечена, у випадку спільного розв'язку системи рівнянь (2.11) і (2.12).

Після спрощення приймаємо:

$$\left(x_j - x_0\right) = x;\ \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} = a;\ z_0 - \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2} = z_0;\ tg\alpha_0 = b;\ x_j = k.$$

Рівняння (2.1) і (2.10) прийме вигляд:

$$\begin{cases} z_{mp} = ax^2 + bx + z_0; \\ z_{cm} = k. \end{cases} \tag{2.13}$$

Умова польоту з торканням о протилежну стінку пневмоканала без передачі імпульсу сил запишеться:

$$\begin{cases} z_{mp} = z_{cm}; \\ z'_{mp} = z'_{cm}; \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2ax + b = 0 \\ ax^2 + bx + z_0 = k. \end{cases} \tag{2.14}$$

Після розв'язку (2.14) і деяких перетворень

$$a = -\frac{b}{2x},\ b = \frac{2k - z_0}{x}. \tag{2.15}$$

Необхідна дальність польоту буде забезпечена за умови, коли M(k;0):

$$a = -\frac{b}{2x},\ \ b = \frac{2\left(k - z_0\right)}{x}. \tag{2.16}$$

З умов (2.16) визначиться початкова швидкість польоту зернівок після сходу зі скатного лотка, необхідна для забезпечення заданої дальності польоту (відповідно до ширини пневмоканала).

$$v_0 = \sqrt{\frac{g\left(x_j - x_0\right)}{\cos^2 \alpha_0 \cdot tg\alpha_0}}. \tag{2.17}$$

З умов (2.16) визначиться кут α_0 початквої швидкості польоту зернівок, що забезпечує задану дальність польоту зернівок у пневмоканале:

$$\alpha_0 = arctg \frac{2\left(x_j - x_0 + \frac{k_c S_M w^2}{g\rho^2}\right)}{\left(x_j - x_0\right)}. \tag{2.18}$$

Рівняння оптимальної траєкторії польоту зернівок при подачі їх криволінійними скатними лотками в пневмосепарувальному каналі з врахуванням (2.16) запишеться у вигляді:

$$z = \frac{\left(x_j - x_0\right)\left(-b\right)}{2x_j} + \frac{2\left(x_j - x_0\right)\left(x_j - x_0\right)}{x_j} + Z_0. \tag{2.19}$$

Використовуючи вирази (2.17), (2.18) і (2.19) при проектуванні повітряних сепараторів можна визначити початкову величину й напрямок швидкості польоту, при яких буде забезпечено рівномірне заповнення всієї площі поперечного перерізу пневмоканала.

Регулювання параметрів x_j , x_0 , z_0 обмежене, тому, що можливості збільшення дальності польоту l за рахунок цих параметрів практично відсутні.

Кут α_0 має значну межу регулювання, не виявляючи негативного впливу на інші показники роботи повітряного сепаратора. Тому отримане рівняння (2.19) має велике значення при вдосконалюванні живильних пристроїв і обґрунтуванні параметрів каналів, пневмосепараторів.

Таким чином, на. основі висновків теоретичних досліджень був запропонований живильник повітряного сепаратора, що забезпечує, рівномірний розподіл зернової суміші по площі, поперечного перерізу.

Висновки до розділу

Розроблена математична модель (рівняння 2.6 – 2.9) процесу сепарування у вертикальному повітряному потоці, що дозволяє описати процес взаємодії зернової суміші з повітряним потоком.

Аналіз отриманої моделі й розв’язок рівнянь відносно досліджуваних параметрів обумовлює визначення раціональних значень останніх.

Для реалізації математичної моделі сепаруванні зернової суміші, був розроблений комбінований живильник, що складається з вертикальних відсіків, розподільників і скатних лотків, які являють собою поверхні виконані по’ брахістохроні; що забезпечує рівномірний розподіл зернової суміші по площі поперечного переріза повітряного каналу сепаратора.

За допомогою розкритих взаємозв’язків між якісними й експлуатаційними параметрами процесу пневмосепарування встановлено, що рівномірний розподіл

зерновий- суміші по площі поперечного перерізу вертикального каналу при однопотоковій подачі можливо тільки в невеликому його інтервалі. Для розширення цього інтервалу необхідно змінювати умови подачі зернової суміші, згідно яких зернова суміш повинна подаватися під кутом. При цьому рівні елементарні площі подачі зернівок відповідають рівним, між собою елементарним, площам поперечного перерізу пневмоканала.

Для забезпечення необхідної рівномірності зерноповітряного потоку встановлено, що ширина пневмоканалів повинна бути розділена на 4 елементарних ділянки, раціональний розмір яких перебуває в межах 30 – 60 мм (залежно від моделі сепаратора й перетину його пневмоканала). Для забезпечення рівномірності подачі зернової суміші в пневмоканал скатні лотки повинні бути встановлені під кутом $\alpha_1 = 35^\circ$ для нижнього лотка, що подає в першу елементарну ділянку, під. кутом $\alpha_2 = 40^\circ$– у другу ділянку, під кутом $\alpha_3 = 50^\circ$ – у третю ділянку, під кутом $\alpha_4 = 70^\circ$– у четверту ділянку.

Для перевірки математичної моделі на адекватність необхідно експериментальне визначення таких характеристик, як продуктивність, ефективність і чіткість сепарування, швидкість зерноповітряного потоку, кут, початкова швидкість і величина подачі.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальні положення методики досліджень

Головними завданнями експериментальних досліджень є:

- визначення невідомих величин, що входять у математичну модель;
- перевірка адекватності математичної моделі реальному процесу сепарування.

Програма, досліджень передбачає проведення експериментів, які були реалізовані в кілька етапів:

- розробка експериментальної установки для дослідження процесу пневмосепарування зернової сировини;
- визначення раціональних умов необхідних для рівномірної; подачі зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал;
- розробка програми проведення експериментів;
- проведення експериментів, обробка й аналіз результатів.

Методи одержання деяких величин моделі включає висновок, аналітичних залежностей для; їх визначення й алгоритм послідовності їх визначення. Методи експериментального знаходження параметрів дозволяють одержати вихідні дані для визначення адекватності математичної моделі реальному процесу пневмосепарування.

Програма проведення експериментів забезпечила уявлення і співставлення досліджуваних параметрів: і певних на цій основі величин моделі.

Аналіз результатів експериментальних досліджень включає статистичну оцінку якісних показників роботи системи, вірогідності отриманих результатів і відповідності математичної моделі з результатами експериментів.

3.2 Експериментальна установка

3.2.1 Опис експериментальної установки, що моделює процес сепарування

Експериментальна установка, являє собою пневмосепаратор, у вигляді пневмосепарувального каналу з поперечним вікном для введення сепарувального матеріалу, на рівні якого встановлено експериментальний живильний пристрій з регульованими елементами (кут, довжина, положення та ін). Відповідно до рисунка 3.2, пневмосепаратор складається зі станини 1, вентилятора 2, електродвигуна 8, циклону 5 обладнання, живильної установки 7. Установка працює в усмоктувальному режимі.

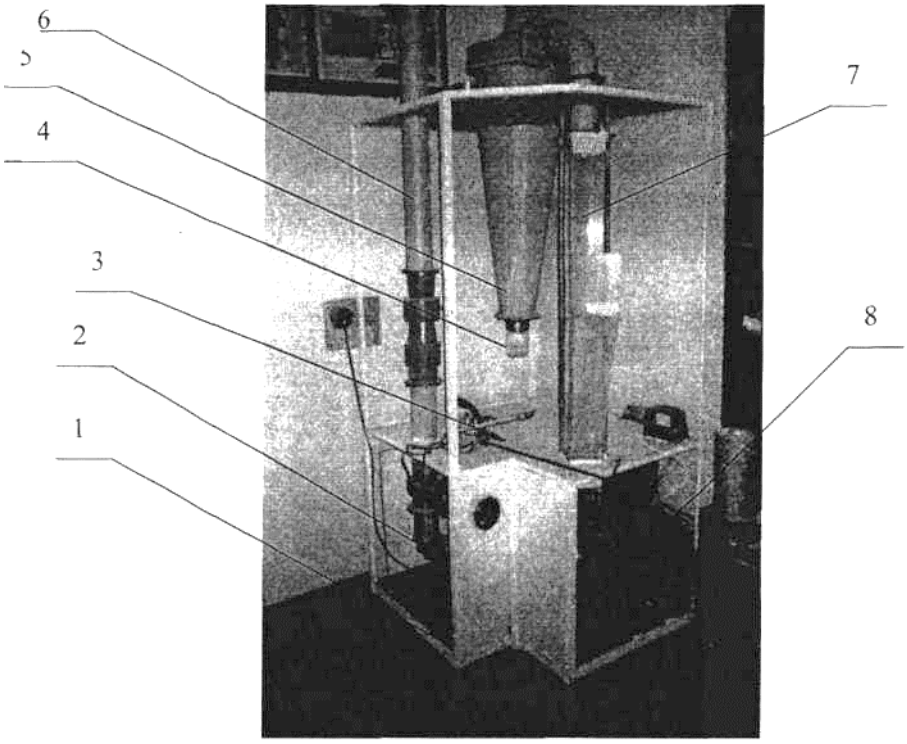

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальноїустановки

1 – станина; 2 – вентилятор; 3 – мікроманометр; 4 – склянка; 5 – циклон;

6 – повітропровід; 7 – живильний пристрій; 8 – електродвигун.

Станина 1 являє собою зварену конструкцію із вставками з дерева. Привід її здійснюється електродвигуном 8, який за допомогою клиноремінної передачі надає руху вентилятору 2. Електродвигун 8 кріпиться до платформи, за

допомогою якої здійснюють натяг ременя передачі. Для спостереження за процесом пневмосепарування у вертикальному повітряному потоці частина повітропроводу виконана з органічного скла. Повітря разом з віднесеними частками по повітропроводу надходить у циклон 5, де відбувається виділення домішок і нагромадження їх у склянці 4.

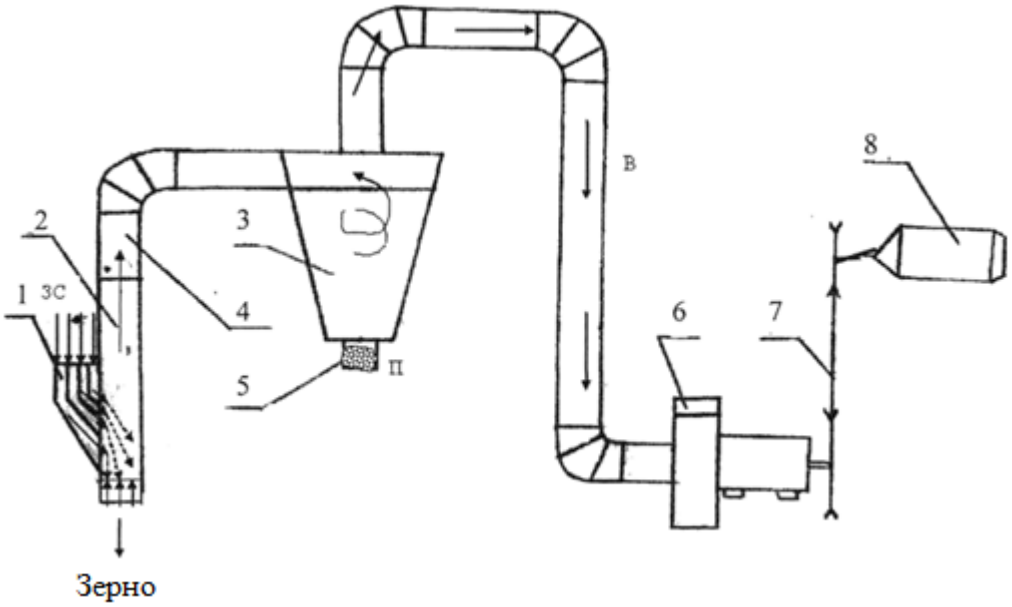

Рисунок 3.2 – Схема лабораторної установки

1 – живильний пристрій; 2 – прямокутний канал з оргскла; 3 – циклон; 4 – повітропровід; 5 – склянка; 6 – вентилятор; 7 – передача клиноремінна; 8 – електродвигун.

Експериментальна установка працює в такий спосіб. Суміш зерна й домішок надходить із бункера в живильник, що представляє собою комбінацію двох різних пристосувань: розподільника з вертикальними відсіками (первинний живильник) і розташовані одна на іншою скатні лотки з розподільниками зернової суміші по ширині скатних лотків (вторинний живильник) (рисунок 3.3).

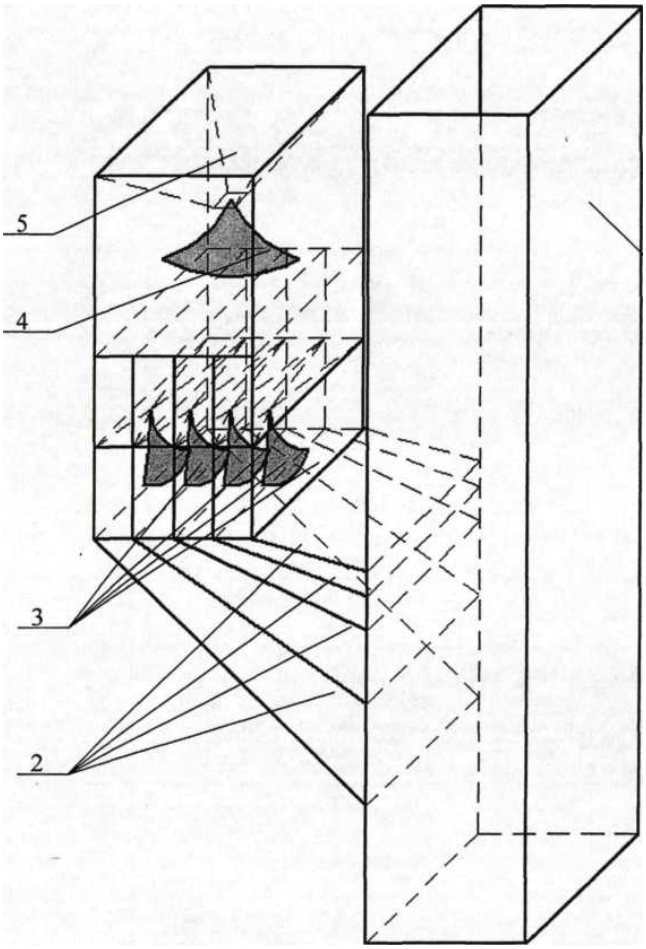

Рисунок 3.3 – Схема пневмоканала сепаратора із установленими у вертикальних відсіках розподільниками

1 – прямокутний пневмосепарувальний канал; 2 – скатні лотки;

3, 4 – розподільники вертикальних відсіків; 5 – бункер.

Первинний живильник складається з: розподільника розташованого над вертикальними відсіками паралельно їх поздовжнім осям і також усередині кожного з вертикальних відсіків установлений розподільник, вісь розподілу якого збігається з поперечними осями вертикальних відсіків. Зернова суміш, потрапивши на поверхню розподільників, буде спрямована рівномірно по всіх вертикальних відсіках живильника пневмосепаратора, що обумовить рівномірний розподіл зернового матеріалу по площі поперечного перерізу пневмоканала.

Зернова суміш, рівномірно розподілена по ширині скатних лотків, подається на приймальну ділянку скатних лотків і під дією сили ваги переміщається по їхній поверхні до вертикального пневмосепарувального каналу, де зазнає впливу

потоку повітря. При цьому легкі домішки піднімаються вгору й віддаляються за межі пневмосепарувального каналу у відходи, а очищений матеріал відводиться через нижній кінець, вертикального пневмосепарувального каналу. Рівномірність розподілу сировини, що очищається забезпечується тим, що сепарувальний матеріал надходить у пневмосепарувальний канал по скатних лотках установленими в поперечному вікні під різними кутами, що обумовлює його подачу з різними швидкостями (рисунок 3.3) і забезпечує подачу сепарувального матеріалу в різні ділянки пневмосепарувального каналу, відповідно до кута нахилу скатного лотка, рівномірно заповнюючи поперечний переріз каналу. Причому, якщо пневмосепарувальний канал умовно розділити на елементарні ділянки, сепарувальний матеріал надходить зі скатних лотків відповідно до кута їх нахилу на ці ділянки рівномірно.

Довжина скатних лотків визначалася по графічній залежності

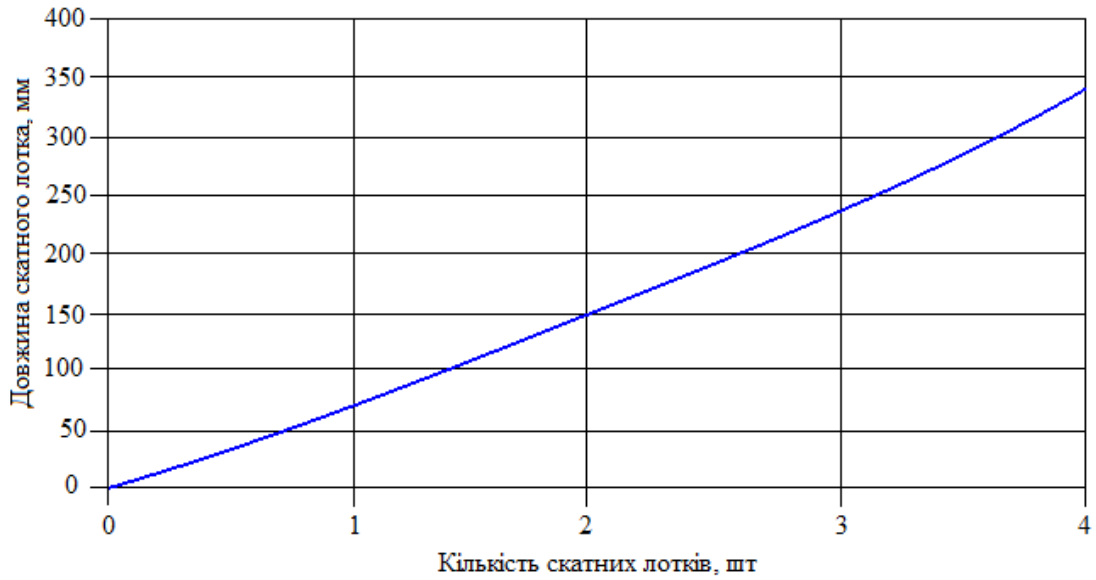

Рисунок 3.4 – Залежність довжини скатних лотків від їх кількості

При цьому ширина скатних лотків дорівнює ширині пневмоканала сепаратора.

Дана конструкція дозволяє досліджувати процес пневмосепарування зернової сировини при різних швидкостях повітряного потоку.

3.2.2 Вимірювальні обладнання, прилади й устаткування, застосовувані при дослідженнях

При проведенні лабораторних досліджень використовували: бункер із засувкою; пневмометрична трубка із гнучкими шлангами; металева лінійка; рулетка або метр; шнур; набір сит з отворами діаметром 4, 3, 2, 1 мм; розсів-аналізатор РА-5М; електронні ваги.

3.3 Методика експериментальних досліджень

3.3.1 Характеристика матеріалу, застосовуваного при дослідженнях

Для дослідження використовувалися пшениця, ячмінь, просо різної вологості й засміченості.

При відборі середнього зразка сировини або готової продукції для проведення випробувань використовували методику ГОСТ 13586.3-83 «Зерно. Правила приймання й методи відбору проб». Вологість зернової сировини й продуктів переробки визначали за ДСТУ 13586:5-93 «Зерно. Методи визначення вологості». Засміченість зерна за ДСТУ 30483-97 «Зерно. Методи визначення загального й фракційного вмісту бур’янистої й зернової домішок».

3.3.2 Визначення чіткості сепарування

На основі експериментально вимірюваних величин визначали ефективність очищення й чіткість сепарування по формулах.

Виміри швидкості зерноповітряного потоку в пневмосепарувальному каналі необхідно проводити в чотирьох точках, що дасть із цілком задовільною точністю, значення фактичної середньої швидкості [39].

Оцінка рівномірності розподілу зернової сировини по площі поперечного перерізу пневмосепарувального каналу. Оцінка рівномірності розподілу зернової сировини проводилася на спеціально розробленому й виготовленому приладі, що складається з коміркової поверхні. Прилад складається з корпуса у вигляді ящика з розмірами 120×120×40 мм, на дні якого встановлені паралельно один одному

ребра висотою – 15 мм, відстань між ними 10 мм Корпус закривається прозорою засувкою з нанесеної на ній мірною сіткою для визначення висоти зернових стовпців. Повертаючи її у вертикальне положення, просепаровані зерна, розташовуючись між ребрами, дають природній, графік розподілу зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмоканалу (рисунок 3.5).

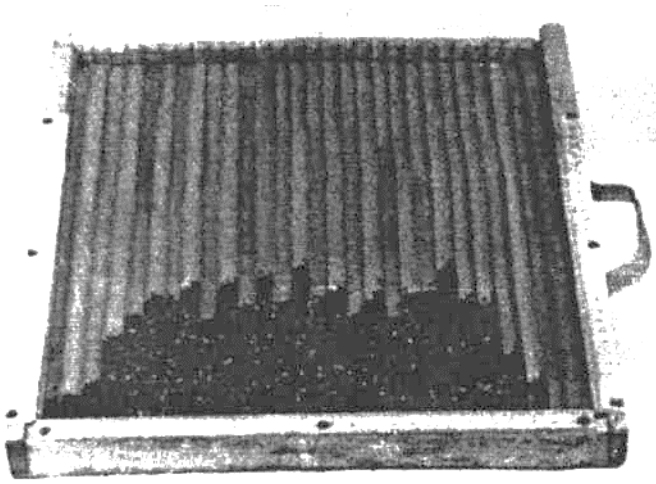

Рисунок 3.5 – Пристосування для оцінки якості розподілу зернової сировини за поперечним перерізом пневмоканалу

Експерименти проводилися в такий спосіб. Зернова, суміш, рівномірним потоком із середньою інтенсивністю подачі надходила на вершину верхнього розподільника, проходячи через усю систему живильника, надходила в пневмоканал, де був установлений прилад. Експеримент проводився із зерновою сумішшю з подачею потоку повітря.

По закінченню експерименту прилад із установленою прозорою засувкою повертався вертикально. Просепароване зерно, розташовуючись між ребрами, дають природній полігон розподілу.

Наступним етапом експериментальних досліджень було проведення дослідів у тому ж порядку, але попередньо включивши пневмосепаратор. Отримані дані заносяться в таблицю.

Рівномірність розподілу зернової сировини по площі поперечного перерізу

пневмосепарувального каналу оцінювалася коефіцієнтом варіації й рівнялася з бажаним законом розподілу щільності за критерієм погодження:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{\left(p_i - p_i^{'}\right)}{p_i}, \tag{3.1}$$

де $k -$ число класів;

$p_i -$ теоретичне значення класу;

$p_i^{'} -$ експериментальне значення класів.

Висновки до розділу

Розроблена експериментальна установка, що забезпечує визначення дослідним шляхом основних величин математичної моделі.

Запропонована методика експериментального визначення однієї з величин математичної моделі – швидкості зерноповітряного потоку V, необхідної для вибору раціональних режимів- роботи пневмосепаратора, що забезпечують якість сепарування й мінімальну енергоємність процесу;

Запропонована методика оцінки чіткості й ефективності процесу сепарування, що дозволяє оцінити якість процесу.

Розроблені методика й пристосування для визначення рівномірності розподілу зернової сировини по площі поперечного перерізу пневмосепарувального каналу.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА

4.1 Визначення раціональної кількості скатних лотків необхідних для рівномірної подачі зернових сумішей

г При визначенні раціонального числа скатних лотків по зернових культурах експерименти проводилися з неочищеним зерном при навантаженню 0,07 кг/с. Дане навантаження, дозволяє якісно розподіляти зернову суміш по поперечному перерізу пневмоканала. Ширина робочого каналу становила 100 мм. Швидкість подачі зернової сировини була однакова для всіх лотків.

Зерно безперервним потоком і рівномірно подавалося з бункера в живильник сепаратора. Кількість скатних лотків варіювалася від 1 до 5. Одночасно варіювалися й кути установки скатних лотків.

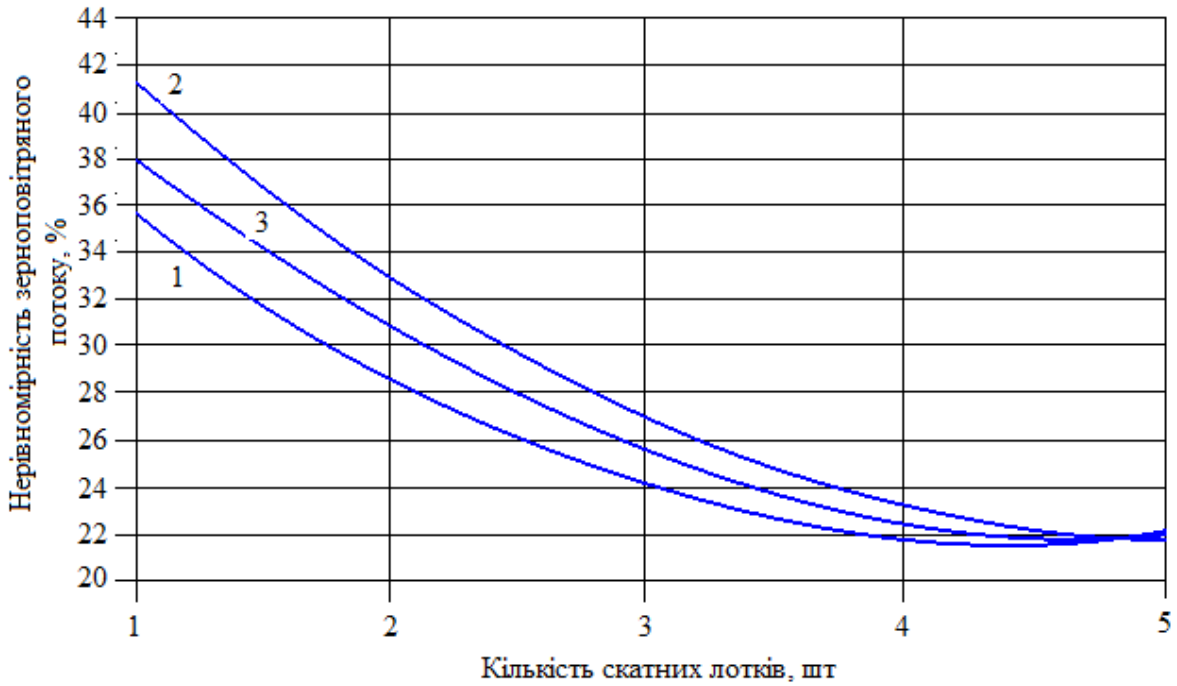

Рисунок 4.1 – Залежність нерівномірності зерноповітряного потоку *Ф*, % від кількості скатних лотків по довжині подачі:

1 – пшениця; 2 – ячмінь; 3 – просо.

При виявленні раціонального числа лотків результати експериментальних

досліджень (рисунок 4.1, 4.2) показали, що найкраща рівномірність досягається при подачі зернової суміші різних культур чотирма скатними лотками, установлених під кутами 35, 40, 50 і 70°.

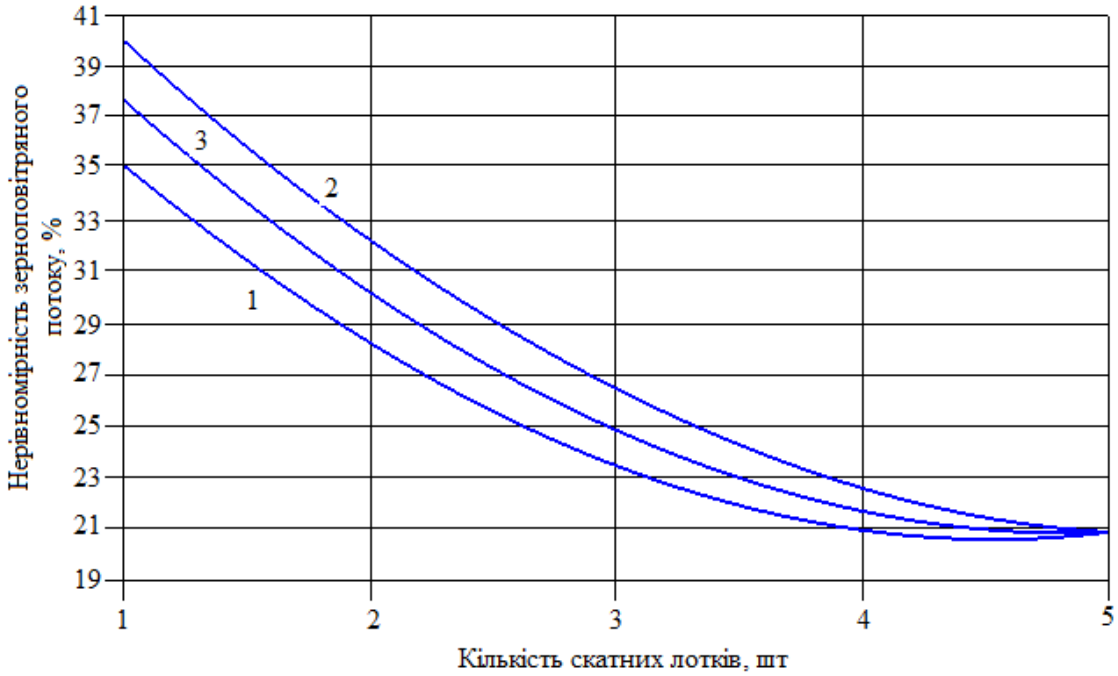

Рисунок 4.2 – Залежність нерівномірності зерноповітряного потоку *Ф*, % від кількості скатних лотків по ширині подачі:
1 – пшениця; 2 – ячмінь; 3 – просо.

Аналіз отриманих графіків показує, що для рівномірної подачі досить чотирьох скатних лотків, поставлених під відповідними кутами. Нерівномірність зернової суміші в цьому випадку досягає свого мінімального значення. При установці наступних, нерівномірність незначно, але погіршується. Причиною тому є можливість польоту сепарувальних зернівок за межі тієї елементарної ділянки пневмоканала, у якому він повинен очищатися відповідно до кута подачі (установки скатного лотка).

4.2 Визначення ефективність очищення й чіткості пневмосепарування

При визначенні чіткості пневмосепарування, відповідно до стандартної методики, отримані відноси зі скляної склянки циклону висипали на розбірну

дошку й розбирали на фракції. Після розбору отриманих фракцій дані заносилися в таблицю 4.1. Кожний експеримент також виконувався в п’ятьох повторностях.

Перед початком експерименту контролювалася засміченість зерна, після сепарування контролювалася засміченість продукту.

Результати, проведених експериментальних досліджень, отримані для розрахунків ефективності очищення пневмосепаратора представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика чистоти процесу пневмосепарування

№ досліду	Досліджувані величини										Розраховані величини	
	Чистий продукт					Домішки						
	Загальна кількість, г	3 мм, г	2 мм, г	1 мм, г	Кількість домішок в готовому продукті, г	Загальна кількість домішок, г	3 мм, г	2 мм, г	1 мм, г	Кількість нормального зерна у відходах, г	Ефективність очищення E, %	Чіткість сепарування z. %
1	85	81	3	1	1,2	15	13	1,5	0,5	0,5	87,9	3,6
2	83	77	5,5	0,5	0,5	17	14,5	2	0,5	1	88,6’	6,1
3	84	79	3,5	1	0,5	16	14,5	1	0,5	0;5	93,9	3,2
4	85,5	80	5	0,75	1	18	15,5	2	0,5	0,7	89,5	4,8
5	82,5	78	3	1,25	1	14	12,5	1	0,5	0,6	86,7’	4,6
ср	84	79	4	0,9	0,8	16	14	1,5	0,5	0,7	89,3	4,5

З таблиці видно, що досліджуваним пневмосепаратором досягається досить висока ефективність очищення E, %, яка перебуває в інтервалі від 86,7 до 93,9 % Максимальне значення E за умови рівномірної подачі зернової суміші, через живильний пристрій, у різні ділянки пневмоканала, що досягається запропонованою конструкцією пневмосепаратора. Отримана експериментально чіткість сепарування $z = 6{,}1 - 3{,}2\%$ також говорить про якісний розподіл запропонованим живильником зернової суміші по площі поперечного переріза пневмоканалу.

Подальшим кроком був з’ясований вплив вологості на ефективність

очищення й чіткість сепарування. Для цього спеціально зволожене зерно різних культур, вологість якого визначалася відповідно стандартної методики, зазнало пневмосепарування. На основі проведених експериментальних досліджень були отримані наступні залежності:

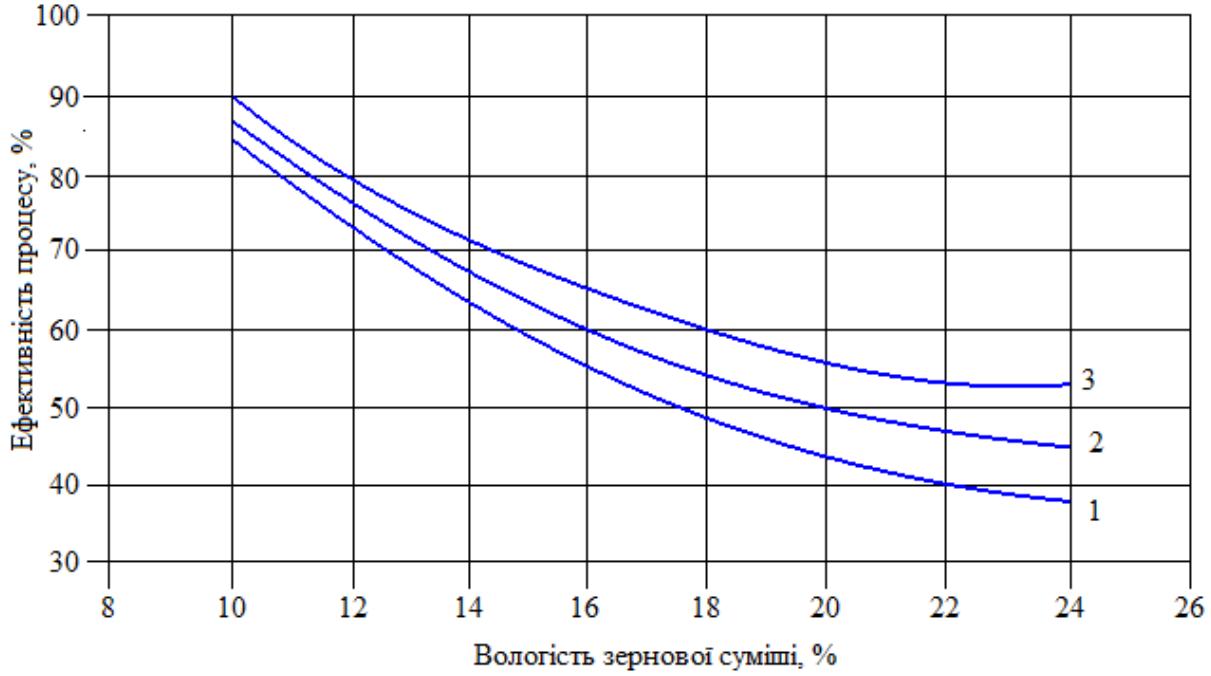

Рисунок 4.3 – Залежність вологості зернової суміші від ефективності процесу пневмосепарування

1 – ячмінь; 2 – пшениця; 3 – просо

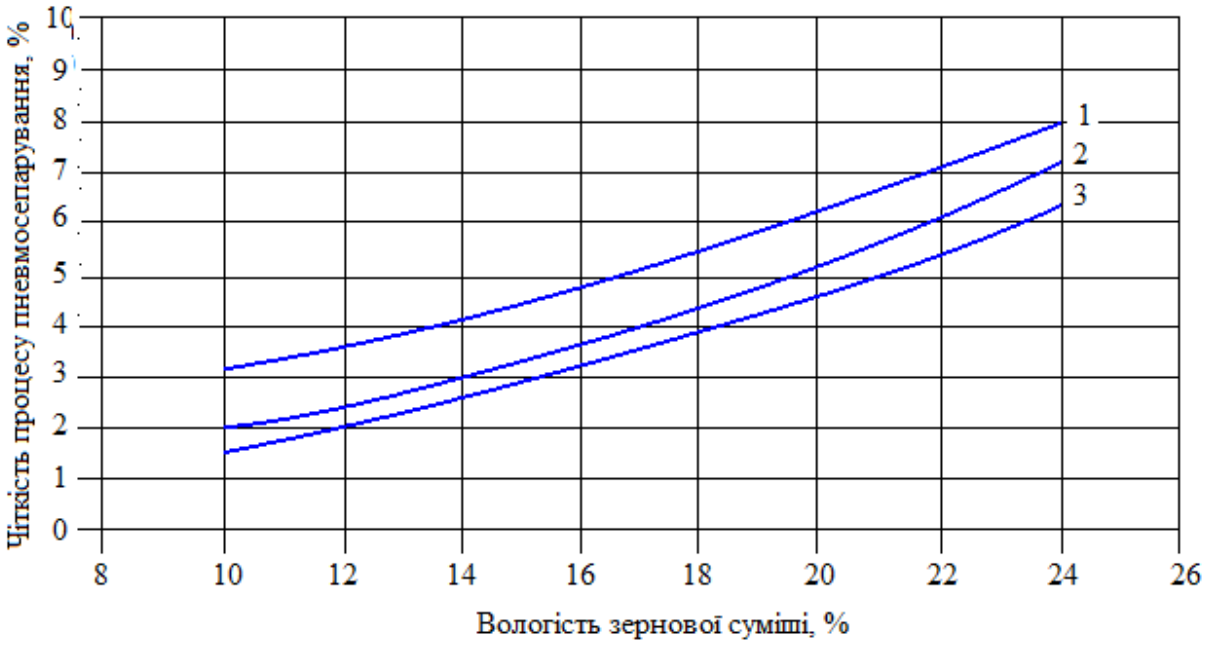

Рисунок 4.4 – Залежність вологості зернової суміші від чіткості пневмосепарування:

1 – ячмінь; 2 – пшениця;-3 – просо.

Із графіків видно, що чим більша вологість сепарувальної суміші, тем нижче ефективність очищення й вище чіткість сепарування. Це пояснюється зменшенням в’язкості зернової маси, збільшенням ваги окремих зернівок і часток домішок, що спостерігається при підвищеній вологості.

Також був з’ясований вплив вологості зернової суміші на продуктивність, експериментальні залежності яких показано на рисунку 4.5.

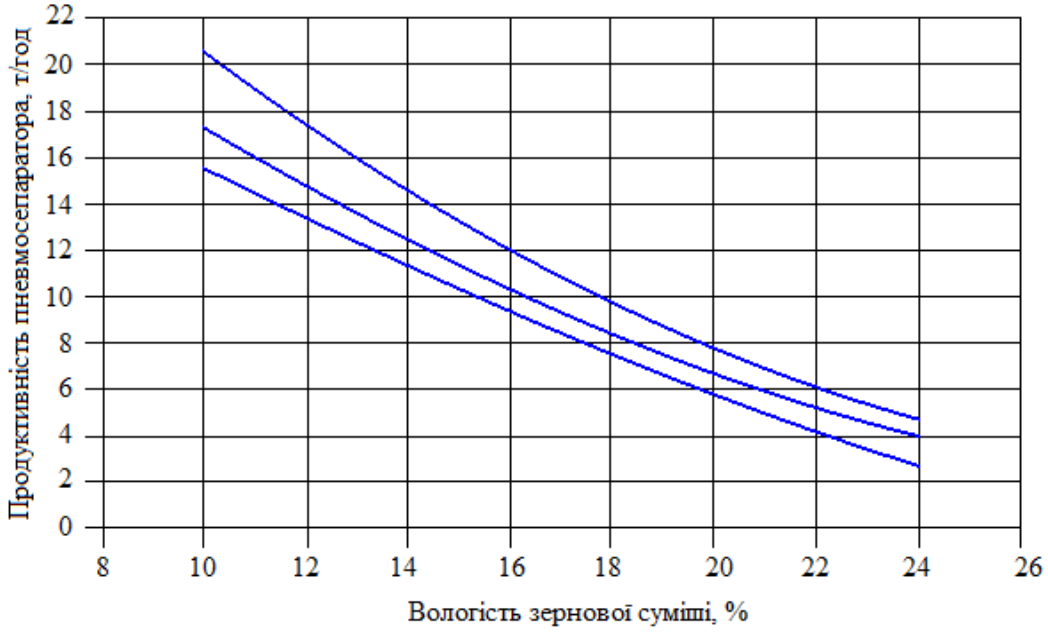

Рисунок 4.5 – Залежність вологості зернової суміші від продуктивності пневмосепаратора Q, т/год

1 – ячмінь; 2 – пшениця; 3 – просо.

Аналізуючи отримані графіки, доходимо висновку, що зі збільшенням вологості зернових сумішей продуктивність пневмосепаратора зменшується. Причина цьому зменшення рухливості зернової маси за рахунок зниження плинності зернових сумішей внаслідок високого злипання зернівок одна до одної й до часток домішок.

У всіх випадках, при виявленні закономірностей пов’язаних з вологістю зернових сумішей найкращий результат досягається при мінімальній вологості вихідного продукту. Однак це негативно позначається на посівних і технологічних якостях зерна й готового продукту. Тому за робочі характеристики пневмосепаратора приймаємо результати отримані при вологості зерна 14 %.

4.3 Виробнича перевірка результатів

Проведені теоретичні й експериментальні дослідження одержали практичну реалізацію в удосконалюванні технології аеромеханічного поділу зернових матеріалів.

Дослідження проводилися з використанням пневмосепаратора, досліджуваного нами в умовах лабораторії кафедри харчових технологій ДДАЕУ.

Пневматичний сепаратор впроваджений також у фермерському господарстві «Славутич» Дніпропетровського району Дніпропетровської області для очищення, і сортування сипких матеріалів від легких домішок повітряним потоком. Пневмосепаратор впроваджений у лінію, що представляє собою млин вальцевого агрегатну АВМ-3М. Експериментальна машина в лінії є працездатною й виконує розроблену технологію підвищення якості сепарування за рахунок більш рівномірного розподілу зернової суміші в. пневмосепарувальному каналі.

Застосування пневмосепаратора при очищенні зерна дозволяє виділити в середньому 90 % бур'янистої домішки при вихідній засміченості, при продуктивності 10 т/год, ефективності очищення в середньому 82 % і вмісту зерна у відходах 1,6 %.

Висновки до розділу

1 Для забезпечення необхідної рівномірності зерноповітряного потоку встановлене, що ширина пневмоканалів повинна бути розділена на 4 елементарних ділянки, раціональний розмір яких перебуває в інтервалі 30 – 60 мм (залежно від моделі сепаратора й перетину його пневмоканалу). Для забезпечення рівномірності подачі зернової суміші в пневмоканал скатні лотки повинні бути встановлені під кутом $\alpha_1 = 35^\circ$ для нижнього лотка, що подає в першу елементарну ділянку, під кутом $\alpha_2 = 40^\circ$ – для другої ділянки, під кутом $\alpha_3 = 50^\circ$ – для третьої ділянки, під кутом $\alpha_4 = 70^\circ$ – для четвертої ділянки.

2 Встановлено, що рівномірний розподіл зернової суміші забезпечується за допомогою запропонованого живильника, що представляє собою комбінацію двох обладнань, вертикальних відсіків з розподільником зернової суміші по відсіках і розташовані один над іншим скатні лотки з розподільником матеріалу по ширині скатних лотків. При цьому довжина скатних лотків збільшується, починаючи з

верхнього, а їх ширина дорівнює ширині пневмоканалу. Розподільник спільно зі скатними лотками забезпечує рівномірний розподіл зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмоканалу (нерівномірність зерноповітряного потоку $\Phi = 17,29 - 22,18\%$ при швидкості зерноповітряного потоку $v = 8,5 - 8,9$ м/с і питомої подачі зернової суміші $q = 0,06 - 0,07$ кг/с).

3. Встановлено, що зі зменшенням вологості від 24 % до 14 % якість очищення поліпшується, ефективність $E = 53,2 - 93,9\%$, чіткість сепарування $z = 7,8 - 3,2\%$. При вологості нижче 14% якість поліпшується незначно. У зв'язку із цим рекомендується проводити очищення при вологості $14 - 16\%$ і ступеня засміченості вихідного матеріалу $4,6 - 4,8\%$.

4. Порівняльна характеристика способів подачі виявила, що найкращі умови подачі досягаються при використанні живильника, що складається із чотирьох скатних лотків, з різними кутами нахилу, розташованими один над іншим, що працюють спільно.

5. Конструктивне вдосконалення пневмосепараторов по очищенню зерна пшениці й інших подібних по фізичних властивостях зернових сумішей дозволяє одержати наступні результати:

- виділене в середньому $85 - 92\%$ бур'янистої домішки при вихідній засміченості $4,6 - 4,8\%$, що вище в порівнянні з аналогом на $15 - 17\%$;

- у відходах виявлено $1,6 - 1,7\%$ зерна, що менше в порівнянні з контрольним варіантом на 8%;

- ефективність очищення $86,7 - 93,9\%$, що вище в порівнянні з контрольним варіантом сепаратора на $12,0 - 14,5\%$;

- продуктивність пневмосепаратора розробленої конструкції збільшена на $15 - 25\%$ (залежно від властивостей вихідного матеріалу), що задовольняє стандартним вимогам, пропонованим до машин цього типу.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка організаційно-технологічної карти

На рисунку 5.1 показана організаційно-технічна карта охорони праці для операторів зерноочисних сепараторів, які очищають зерно в повітряному потоці.

1. Характеристика процесу та умови праці	1. Місце роботи – дільниця приймання та обробки зерна на лінії з первинної обробки зерна ФГ «Славутич». 2. Вид робіт – очищення зерна від сторонніх домішок за аеродинамічними властивостями повітряним потоком. 3. Кваліфікація – оператор сепаратора для очистки зерна в повітряному потоці. 4. Умови праці – нормальні.
2. Технічні умови забезпечення безпеки праці	1. Застосувати засоби індивідуального захисту: костюм бавовняний пилозахисний; черевики шкіряні; рукавиці комбіновані; шолом захисний; при роботі взимку – куртка та брюки утеплені. 2. Освітленість робочого місця – не менше 150 лк. 3. Повітряний обмін – не менше1000 $м^3$/год.
3. Показники технологічного режиму і заходи безпеки	1. Захисні загородження повинні бути надійно закріплені та пофарбовані в яскравий колір. 2. Електрозахисні і блокувальні пристрої повинні бути справними і відповідати нормативним параметрам. Рама сепаратора повинна бути заземлена. 3. На пульту керування сепаратора повинна бути попереджувальна табличка, що буде попереджувати про можливість враження струмом.
4. Шкідливі небезпечні і виробничі фактори на робочому місці	1. Зерновий пил (аерозолі), частинки мінеральних домішок та соломи. 2. Обертальні частини обладнання; 3. Підвищене значення електричної напруги. 5. Підвищений рівень шуму та вібрації.
5. Основні вимоги безпеки при роботі оператора сепаратора очистки зерна	1. Роботи повинні виконуватись згідно заходів безпеки встановлених ДНАОП та існуючої на підприємстві документації. 2. До роботи на сепараторі допускаються, що досягли 18 років, пройшли навчання та всі види інструктажу з охорони праці, стажування і мають досвід роботи на даному обладнанні. 3. Забороняється проводити ремонтні роботи і очистку сепаратора не вимкнувши його від мережі і без повної зупинки робочих органів. 4. Постійно здійснювати контроль стану опор ситового робочого органу, аспіраційного каналу та регулювальних і натяжних пристроїв. 5. Дотримуватися правил електробезпеки, здійснювати контроль допоміжних захисних пристроїв та захисних огороджень. 6. Підтримувати чистоту і порядок на робочому місці.

Рисунок 5.1 – Операційно-технологічна карта оператора зерноочисного сепаратора

При підготовці організаційно-технічної карти ми врахували всі характеристики та умови праці операторів зерноочисного сепаратора.

5.2 Утилізація відходів лінії з первинної обробки зерна ФГ «Славутич»

Лінія первинної обробки зерна ФГ «Славутич» – це сучасний комплекс з повністю механізованими зерносховищами, які забезпечують безпечне та зручне транспортування продукції. На підприємстві передбачено кілька процесів переробки відходів виробництва.

Відходи виробництва накопичуються на складі після очищення будівлі зерносховища. Спеціальне обладнання запобігає потраплянню опадів, проникненню високих температур ззовні, конденсації водяної пари та зараженню шкідниками. Однак тривале зберігання відходів у сховищах не рекомендується. Їх необхідно вчасно утилізувати.

Видалення залишків зерна в силосах після сортування зерна може покращити санітарний стан зерносховищ. Своєчасне видалення відходів також може запобігти самозайманння та розмноженню гризунів і хвороботворних мікроорганізмів.

Відходи переносяться до сміттєвих баків. Змішувати різні види відходів заборонено. Це пов'язано з тим, що це значно ускладнює переробку для подальшої переробки та виробництва кормів.

Екологічна безпека залежить від дотримання вимог щодо зберігання, транспортування та утилізації відходів зернових культур. Недотримання цих вимог може призвести до небезпечних екологічних проблем. Утилізація зерновідходів відбувається поетапно. Це передбачає наступні процеси:

- завантаження в спеціальні герметичні контейнери і доставка на переробний завод;

- розкладання відходів з утворенням субстрату та біогумусу;

- відокремлення їстівних відходів на корм тваринам;
- термічна обробка з мінімальним викидом шкідливих продуктів згоряння.

Висновки до розділу

У цій частині кваліфікаційного дослідження були розроблені операційні та технічні процедури для операторів зерносортувальних машин на лініях первинної обробки зерна в господарстві «Славутич». У дослідженні також розглядалися особливості утилізації відходів на елеваторі та її вплив на екологічну безпеку на місцевому рівні.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Організація проведення дослідження

Зернова суміш, отримана після збирання врожаю, складається з різних насінь культурних і бур'янистих рослин, а також містить домішки мінерального й органічного походження. Виділення насінь основної культури в чистому виді є однієї з найважливіших і трудомістких технологічних операцій у процесах приймання, зберігання й переробки зерна. Неорганізоване введення зернової суміші обумовлює нерівномірність зерноповітряного потоку по площі поперечного перерізу пневмоканала.

У таблиці 6.1 наведено завдання, які передбачалося вирішити під час дослідження впливу техніко-технологічних параметрів повітряних сепараторів на ефективність виділення легких домішок із зернових сумішей.

Таблиця 6.1 – План проведення наукового дослідження

Шифр робіт *i-j*	Найменування робіт	Тривалість робіт t_{ij}, днів
1-2	Вибір та обґрунтування напрямку наукових досліджень	2
2-3	Літературний пошук за тематикою наукових досліджень	15
3-4	Написання літературного огляду	6
4-5	Складання плану науково-дослідних робіт	3
5-6	Розробка методик проведення наукових досліджень	5
6-7	Підготовка дослідних зразків зернового матеріалу	2
7-8	Підготовка макетного зразка повітряного сепаратора	18
8-9	Визначення впливу вологості зернової суміші на ефективність сепарування	3
8-10	Визначення впливу вологості зернової суміші на продуктивність сепаратора	3
8-11	Визначення впливу параметрів пневмоканалу на рівномірність повітряного потоку	6
9-12	Обробка результатів експериментальних дослідження	1
10-12		1
11-12		3
12-13	Підготовка матеріалу для доповіді	7

Відповідно до плану дослідження створюється мережевий графік. Це графічна модель, яка показує завдання і процеси, що мають бути виконані на окремих етапах, і дозволяє визначити найкращий спосіб реалізації шляхом розрахунків. На етапі реалізації мережевий графік дає змогу швидко керувати ходом робіт (рис. 6.1).

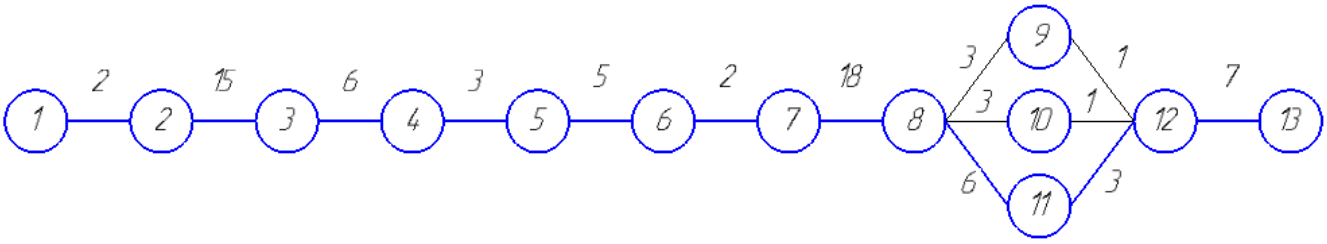

Рисунок 6.1 – Мережевий графік НДР

За допомогою мережевого графіка знайдіть повний шлях (безперервний період діяльності від першої події до останньої).

$$L^1_{1-2-3-4-5-6-7-8-9-12-13} = 2+15+6+3+5+2+18+3+1+7 = 62$$

$$L^2_{1-2-3-4-5-6-7-8-10-12-13} = 2+15+6+3+5+2+18+3+1+7 = 62$$

$$L^3_{1-2-3-4-5-6-7-8-11-12-13} = 2+15+6+3+5+2+18+6+3+7 = 67$$

Шлях з максимальною тривалістю називається критичним шляхом. У цьому випадку третій шлях тривалістю 67 днів є критичним.

6.2 Витрати, пов’язані з проведенням дослідження

Величину витрат на матеріали (основні та побічні) знаходимо за формулою:

$$M = \sum m_1 \cdot Ц_1 , \qquad (6.1)$$

де m_1 – кількість витраченого і-го матеріалу;

$Ц_1$ – ціна одиниці і-го матеріалу, грн.

Результати розрахунків представлені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Необхідна кількість та вартість основних матеріалів

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Зерно пшениці, кг	50	4,50	225,00
Зерно ячменю, кг	50	4,03	215,00
Зерно проса, кг	50	4,30	215,00
Всього			655,00

Результати розрахунку заробітної плати учасників досліджень наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунку витрат на оплату праці цчасників досліджень

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Керівник НДР	8500	50,59	20	1011,80
Всього				1011,80

Нарахування на заробітну плату складають:

$$H = \frac{1011{,}8 \cdot 22}{100} = 222{,}57 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a,, \tag{6.2}$$

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

K – коефіцієнт використання потужності ($K = 0{,}9$);

T – час роботи на установці, год;

a – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на привід вентилятора для створення повітряного потоку в повітряному сепараторі:

$$E = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 21,77 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування, розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{Ф \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.3)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн;

$Ф$ – вартість устаткування, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків амортизаційних відрахувань наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків амортизаційних відрахувань

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Повітряний сепаратор з горизонтальним повітряним потоком	11300,0	15	3	13,93
Всього				13,93

Накладні витрати становлять:

$$\frac{(1011,8 \cdot 80)}{100} = 809,44 \text{ грн.}$$

Розрахунковий кошторис наведений в табл. 65.

Таблиця 6.5 – Розрахунковий кошторис витрат

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	655,00
Заробітна плата	1011,80
Нарахування на заробітну плату	222,57
Електроенергія	21,77
Амортизація	13,93
Накладні витрати	809,44
Всього	2734,51

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на заробітну плату і накладні витрати.

6.3 Розрахунок вартості дослідження

Ціна досліджень розраховується за формулою:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \tag{6.4}$$

де $Ц$ – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

P – нормативна рентабельність ($P = 30$), %.

$$Ц = 2734,51 + \frac{30 \cdot 2734,51}{100} = 3554,86 \text{ грн.}$$

Ціна досліджень становить 3554,86 грн.

Висновки до розділу

Встановлено, що найбільшими статтями витрат протягом періоду дослідження були заробітна плата та накладні витрати, які склали 1011,80 грн. та 809,44 грн. відповідно. Враховуючи стандартну норму прибутку 30%, загальна вартість дослідження становить 3554,86 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих досліджень процесу сепарування показує, що пневмосепаруванняе зернових сумішей відбувається з недостатньо високою якістю. У реальних умовах нерівномірність розподілу елементів зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмоканалу перебуває в межах 28 – 32 %. Однопотокова схема подачі зернової суміші в пневмоканал не забезпечує якісного сепарування.

Встановлено, що для забезпечення необхідної рівномірності зерноповітряного потоку встановлено, що ширина пневмоканалів повинна бути розділена на 4 елементарних ділянки, раціональний розмір яких перебуває в межах 30 – 60 мм (залежно від моделі сепаратора й перетину його пневмоканала). Для забезпечення рівномірності подачі зернової суміші в пневмоканал скатні лотки повинні бути встановлені під кутом α_1=35° для нижнього лотка, що подає в першу елементарну ділянку, під. кутом α_2=40°– у другу ділянку, під кутом α_3=50° – у третю ділянку, під кутом α_4=70°– у четверту ділянку.

2 Встановлено, що рівномірний розподіл зернової суміші забезпечується за допомогою запропонованого живильника, що представляє собою комбінацію двох обладнань, вертикальних відсіків з розподільником зернової суміші по відсіках і розташовані один над іншим скатні лотки з розподільником матеріалу по ширині скатних лотків. При цьому довжина скатних лотків збільшується, починаючи з верхнього, а їх ширина дорівнює ширині пневмоканалу. Розподільник спільно зі скатними лотками забезпечує рівномірний розподіл зернової суміші по площі поперечного перерізу пневмоканалу (нерівномірність зерноповітряного потоку $Ф$ = 17,29 – 22,18 % при швидкості зерноповітряного потоку v=8,5 – 8,9 м/с і питомої подачі зернової суміші q = 0,06 – 0,07 кг/с).

3. Встановлено, що зі зменшенням вологості від 24 % до 14 % якість очищення поліпшується, ефективність E = 53,2 – 93,9 %, чіткість сепарування z = 7,8 – 3,2 %. При вологості нижче 14 % якість поліпшується незначно. У зв’язку із

цим рекомендується проводити очищення при вологості 14 – 16 % і ступеня засміченості вихідного матеріалу 4,6 – 4,8 %.

4. Конструктивне вдосконалення пневмосепараторов по очищенню зерна пшениці й інших подібних по фізичних властивостях зернових сумішей дозволяє одержати наступні результати:

- виділене в середньому 85 – 92,0 % бур'янистої домішки при вихідній засміченості 4,6 – 4,8 %, що вище в порівнянні з аналогом на 15 – 17 %;
- у відходах виявлено 1,6 – 1,7 % зерна, що менше в порівнянні з контрольним варіантом на 8 %;
- ефективність очищення 86,7 – 93,9 %, що вище в порівнянні з контрольним варіантом сепаратора на 12,0 – 14,5 %;
- продуктивність пневмосепаратора розробленої конструкції збільшена на 15 – 25 % (залежно від властивостей вихідного матеріалу), що задовольняє стандартним вимогам, пропонованим до машин цього типу.

5. Встановлено, що найбільшими статтями витрат протягом періоду дослідження були заробітна плата та накладні витрати, які склали 1011,80 грн. та 809,44 грн. відповідно. Враховуючи стандартну норму прибутку 30%, загальна вартість дослідження становить 3554,86 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104 – ISSN 2068 – 4215.

2. Shevchenko, I. A., Aliev, E. B. (2018). Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 129-138 – ISSN 2068 – 4215.

3. Aliev, E. B., Yaropud, V. M., Dudin, V. Yr., Pryshliak, V. M., Pryshliak, N. V., Ivlev, V. V. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 56, No. 3. P. 119-128.ISSN 2068 – 4215.

4. Василенко П. М. Основи аналітичних методів землеробської механіки / П. М. Василенко // – К.: Видавництво НАУ, 1998. – 29 с.

5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 2 (ч. 2, кн.. 2) Зернозбиральні машини / П. М. Заїка // – Х.: Око, 2004. – 404с.

6. Котов Б. І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасіннєочисної техніки / Б. І. Котов, М. І. Волошин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 31. – С. 110 – 112.

7. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Вип. 33. – С. 53 – 59.

8. Лузан П. Г. Обґрунтування параметрів та режимів роботи інерційно-гравітаційного решітчастого сепаратора зерна: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Кіровогр. держ. техн. ун-т. – Кіровоград, 2001. – 19 с: укр.

9. Манчинський Ю. О. Математична модель руху компонентів насіннєвих сумішей по робочий площині / Ю. О. Манчинський, М. В. Бакум, О. М.

Горбатовський, М. М. Кравцов // Механізація те електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. Вип. 92. – С. 156 – 162.

10. Нагірний Ю. П. Обґрунтування інженерних рішень / Ю. П. Нагірний // – К.: Урожай, 1994. – 216с.

11. Пустовойтов П. Є. Математичне та інформаційне забезпечення системами підтримки прийняття рішень при управлінні багатономенклатурним запасом в умовах невизначеності (05.13.06.) / Нац. техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2004. – 20с.

12. Shevchenko, I., Aliiev, E. (2018). Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. Volume 12, Issue 4. P. 135-142.

13. Aliiev E., Gavrilchenko O. 2018. Method for estimating the state of the support and motor apparatus of cattle [Спосіб оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби]. Scientific Horizons, 12 (73): 3-7.

14. Aliiev, E., Gavrilchenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica, APTEFF, 50, P. 12-22.

15. Aliiev E. 2019. Justification of constructive-mode parameters of a photo-electron separator of sunflower seeds. [Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів фотоелектронного сепаратора насіння соняшника]. Scientific Horizons, 5 (78): 23-30. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-23-30.

16. Aliiev E. 2019. Production testing of tape device for automatic penotyping of sunflower seeds. [Виробнича перевірка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику]. Scientific Horizons, 12 (85): 75-83. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-85-12-75-83.

17. Aliiev E.B. Automatic Phenotyping Test of Sunflower Seeds. Helia. 2020. Volume 43. Issue 72. Pages 51-66. DOI: 10.1515/helia-2019-0019.

18. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. SAE Technical Paper Series. 1995. 21 p.

19. Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modifiedk k-e Turbulence Model. CFD Letters. 2009. Vol. 1(2). P. 87–94.

20. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynoldce stress models. Doctoral thesis. Norsteds truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.

21. Mohsenin N.N. Physical properties of plant and animal materials / N.N. Mohsenin // New York: Gordon and Breach Science Publishers Inc. – 1980 – P. 51-87.

22. Aydin C. Physical properties of almond nut and kernel / C. Aydin // New Food Eng. – Vol. 60 – P. 315-320.

23. Gupta R.K. Physical properties of sunflower seeds / R.K. Gupta, S.K. Das // Food Eng. – 1997 – Vol. 66 – P. 1-8.

24. McCabe W.L. Unit operations of chemical engineering / W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriott // McGraw-Hill Book Co, New York. – 1986.

25. Jain R.K. Properties of pearl millet / R.K. Jain, S. Bal // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1997 – P. 85-91.

26. Sahay K.M. Unit operations in agricultural processing / K.M. Sahay, K.K. Singh // Vikas Publishing House Pvt Ltd, New Delhi. – 1994.

27. Singh K.K. Physical properties of sunflower seeds / K.K. Singh, T.K. Goswami // Physical properties of cumin seed. J. Agric. Eng. – 1996 – Vol. 64 – P. 93-98.

28. Nimkar M.P. Some Physical properties of green gram / M.P. Nimkar, K.P. Chattopadhyay // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2001– Vol. 80(2) – P. 183-189.

29. Aliiev E., Aliieva O., Maliehin R. Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. Scientific Horizons. 2020. № 07 (92). P. 112-19. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.

30. Shevchenko I. Aliiev E. Improving theefficiency ofthe process ofcontinuous flowmixing of bulkcomponents. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. 6/1 (108). P. 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409

31. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y., Plyuta, L., Chekan, O., Dubin, R., Mohutova , V. (2021). Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (109), 43–53. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927

32. Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators, 27(4), 311−320. https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647

33. Paliy A., Aliiev E., Nanka A., Bogomolov O., Bredixin V., Paliy A., Shkromada O., Musiienko Y., Stockiy A., Grebenik N.. Identifying changes in the technical parameters of milking rubber under industrial conditions to elucidate their effect on the milking process. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, Issue 1 (111), 2021. 21–29. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231917

34. Gunko I., Babyn I., Aliiev E., Yaropud V., Hrytsun A. Research into operating modes of the air injector of the milking parlor flushing system. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 83, Issue 2, 2021. 297–310. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez4fb_469127.pdf

35. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Nechyporenko, O., Baidevliatova, Y., Baydevliatov, Y., Lazorenko, A., Ukhovskyi, V., Korniienko, L., Sharandak, P. (2021). Determining the efficiency of cleaning a milk line made from different materials from contaminants. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (112)), 76–85. Doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237070

36. Aliiev E., Maliehin R., Ivliev V., Aliieva O. Simulation of the process of cavitation treatment of liquid feed [Техніко-технологічне забезпечення комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва]. Scientific Horizons, 24(2), 2021. P. 16-26. DOI: 10.48077/scihor.24(2).2021.16-26.

37. Aliiev E., Lupko K. Prerequisites for the Creation of a Mechatronic System of Indented Cylinders for the Separation of Fine Seeds. Scientific Horizons, 24(3), 2021. P. 75-86. DOI: 10.48077/scihor.24(3).2021.75-86.

38. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Lukyanov, I., Dobrovolsky, V., Yurchenko, O., Chekan, O., Dedilova, T., & Musiienko, Y. (2021). Revealing changes in the technical parameters of the teat cup liners of milking machines during testing and production conditions. EUREKA: Physics and Engineering, (6), 102-111. https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002056

39. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 83, Issue 4, 2021. 123–140. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rezabf_492985.pdf

40. Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23

41. Aliiev E., Pavlenko S., Aliieva O., Morhun O. Accelerated biothermal composting of manure-compost mixture. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 169–181. DOI: 10.15159/jas.21.30

42. Aliiev E., Paliy A., Kis V., Paliy A., Petrov R., Plyuta L., Chekan O., Musiienko O., Ukhovskyi V., Korniien L. (2022). Establishing the influence of technical and technological parameters of milking equipment on the efficiency of machine milking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (1 (115)), 44–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251172

43. Aliiev, E., Paliy, A., Dudin, V., Kis, V., Paliy, A., Ostapenko, V., Levchenko, I., Prihodko, M., Korg, O., Kladnytska, L. (2022). Establishing an interconnection between the technical and technological parameters of milking equipment based on the movement of a milk-air mixture in a milking machine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(1 (116), 35–46. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253978.

44. Алієв, Е. Б. (2018). Патент на корисну модель України 136828, МПК B07B 4/02 (2006.01). Адаптивний аеродинамічний сепаратор. Заявник: Інститут

олійних культур Національної академії аграрних наук України, № u201902090. Заявл. 01.03.2019. Опубл. 10.09.2019, бюл. № 17.

45. Yaropud V., Honcharuk I., Datsiuk D., Aliiev E. The model for random packaging of small-seeded crops' seeds in the reservoir of selection seeders sowing unit. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2022, XXXIII (1): 199–208. DOI: 10.15159/jas.22.08

46. Aliieva O., Polyakov A., Aliiev E. (2022). Features of photosynthetic activity and water consumption of safflower. Zemdirbyste-Agriculture, 109 (2): 123–130. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.016

47. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Kotko, Y., Kolinchuk, R., Livoschenko, E., Chekan, O., Nazarenko, S., Livoschenko, L., Uskova, L. (2022). Determining the effective mode of operation for the system of washing the milking machine milk supply line. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (119)), 74–81. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265778

48. Mykolenko S., Aliieva O., Aliiev E., Pivovarov O. Technological and nutritional benefits of amaranth groats in breadmaking.Scientific Horizons. 2022. 25(11),63-73. DOI: 10.48077/scihor.25(11).2022.63-73

49. Aliiev E. Lupko K. Kobets O. (2023). Development of adaptive seed-separation trier for small-seeded crops. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering. 16 (65), 1: 103–126. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8

50. Yaropud V., Aliiev E., Mazur I., Burlaka S. (2023). Simulating the Process of Operation of Vortex Laye Electromagnetic Apparatus with Ferromagnetic Working Elements. Przegląd Elektrotechniczny, R. 99 NR 9/2023: 64–71.DOI:10.15199/48.2023.09.11