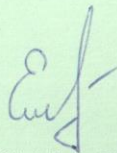


Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка

Гаск Євген Анатолійович



УДК 631.362.3; 621.928:93

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯНОГО
ПОТОКУ РОТАЦІЙНИМ ЦИКЛОНОМ ПЕРЕСУВНИХ ЗЕРНОВИХ
СЕПАРАТОРІВ**

05.05.11 – машини і засоби
механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Харченко Сергій Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
професор кафедри оптимізації технологічних
систем ім. Т.П. Євсюкова.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Котов Борис Іванович,
Подільський державний
аграрно-технічний університет,
професор кафедри агроінженерії і системотехніки;

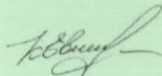
кандидат технічних наук, доцент
Твердохліб Ігор Вікторович,
Вінницький національний аграрний університет,
доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та
охорони праці

Захист відбудеться «20» лютого 2020 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.04 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «16» січня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І. Калінін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Заплановане стає виробництво зернових культур в Україні до 50 млн. т., потребує вчасної та якісної післязбиральної обробки зерна. Недостатня фактична наявність зерноочисних машин близько 50 %, більшість яких відпрацювала амортизаційні строки, потребує високопродуктивних пересувних зернових сепараторів з ефективними технологічними процесами.

Аспіраційні системи пересувних повітряно-решітних зернових сепараторів повинні забезпечувати роботу пневмосепараційних каналів та очищення запиленого повітряного потоку (ПП) від легких домішок та пилу за допомогою пиловловлювачів. Пиловловлювачі не в змозі задовільнити зростаючі вимоги виробництва: забезпечити нормовану запиленість робочої зони зі збільшенням продуктивності пересувних зернових сепараторів, та потребують істотного удосконалення.

Проведеним аналізом виконаних досліджень встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності очищення запиленого ПП є комбінування пристроїв різного принципу дії, застосування розробленого ротаційного циклону (РЦ) з багатодисковим доочисником. Використання етапного очищення з проміжним відведенням дисперсних частинок в розробленому РЦ дозволяє підвищити ефективність очищення запиленого ПП та збільшити продуктивність пересувних зернових сепараторів, потребує проведення відповідних теоретичних та експериментальних досліджень.

Таким чином, обґрунтування параметрів процесу очищення запиленого ПП і розробка нової конструкції РЦ із застосуванням доочисника є перспективним завданням для розвитку агропромислового комплексу України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до НДР: що фінансуються за рахунок коштів державного бюджету «Продовольчо-зернова безпека зі створенням екологічнобезпечних, ресурсозберігаючих, енергоощадних механізованих технологій збереження і обробки врожаю і одержання високоякісних насінневих матеріалів» (ДР 0116 U 004624, 2016 – 2017 р.р.); комплексної державної цільової програми «Зерно України – 2008 – 2015»; регіональних програм «Стратегія сталого розвитку Харківської області до 2020 року», «Найважливіші проблеми АПК на період до 2015 р.»; комплексної теми наукових досліджень з СВТП «Механік» м. Житомир «Підвищення ефективності процесів зернових сепараторів» (договір №14/1 від 24.11.2015 р.); науково-дослідної роботи «Обґрунтування параметрів процесу очищення повітряного потоку циклоном зернових сепараторів» (ДР № 0115 U 002723, 2015 –2016 р.р.).

Мета дослідження: підвищення ефективності процесу очищення запиленого ПП аспіраційних систем пересувних зернових сепараторів шляхом обґрунтування параметрів розробленого РЦ з доочисником.

Завдання дослідження:

– провести оцінку і аналіз існуючих підходів до розв'язання проблеми підвищення ефективності процесу очищення запиленого ПП;

- виконати моделювання руху дисперсної та несучої фаз в робочих зонах розробленого РЦ з урахуванням його конструктивно-технологічних параметрів, етапного очищення ПП та проміжного відведення дисперсних частинок;

- обґрунтувати підхід і розробити метод оцінки залежностей складових швидкості ПП з конструктивно-кінематичними параметрами розробленого РЦ, що визначають ефективне очищення запиленого ПП;

- обґрунтувати критерії процесу очищення запиленого ПП, запропонувати цільову функцію та визначити раціональні конструктивні параметри розробленого РЦ пересувних зернових сепараторів;

- виконати оцінку впливу конструктивно-технологічних параметрів розробленого РЦ на поле швидкості частинок дисперсної фази в робочих зонах;

- провести ідентифікацію швидкості ПП та дисперсних частинок, виконати оцінку адекватності та ефективності отриманих залежностей процесу очищення запиленого ПП експериментальними дослідженнями та виробничою апробацією РЦ.

Об'єкт дослідження: процес очищення запиленого ПП, його зв'язок з конструктивними параметрами розробленого РЦ.

Предмет дослідження: рух фаз запиленого ПП в основній робочій зоні та зоні доочисника, їх інтенсифікація та обґрунтування параметрів розробленого РЦ.

Методи дослідження: теоретичні дослідження процесу очищення запиленого ПП ґрунтуються на основних положеннях механіки гетерогенних середовищ, аеродинаміки. Розв'язок розроблених математичних моделей динаміки несучої і дисперсної фаз в робочих зонах розробленого РЦ виконано з використанням методів розв'язання диференціальних рівнянь та комп'ютерної техніки. Експерименти проведені на лабораторному обладнанні з використанням відеозйомки та розробленого програмного забезпечення. При обробці результатів експериментальних досліджень застосовані положення теорії ймовірності та математичної статистики з використанням пакетів програм Mathcad, MatLab, Excel. Для визначення оптимальних співвідношень конструктивно-технологічних параметрів розробленого РЦ застосована методика планування факторного експерименту. Виробнича апробація розробленого РЦ проведена у відповідності до діючих міжнародних і державних стандартів, методів натурних випробувань та імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів: *Вперше:*

- встановлено взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів розробленого РЦ з критеріями ефективності процесу очищення запиленого ПП, що враховує етапне моделювання основного очищення запиленого ПП та його доочистку;

- визначені закономірності зміни складових швидкостей дисперсних частинок і ПП в основній робочій зоні та зоні доочистки розробленого РЦ, за допомогою побудованих рівнянь руху двофазного запиленого ПП, які враховують його фізико-механічні властивості та конструктивно-технологічні параметри РЦ;

– виконане комплексне обґрунтування параметрів розробленого РЦ по відношенню до коефіцієнтів очищення та гідравлічного опору, технологічних показників і фізико-механічних властивостей дисперсних частинок запиленого ПП.

Отримали подальший розвиток: науково-методичні засади моделювання динаміки запиленого ПП, що ґрунтуються на русі гетерогенного середовища з властивостями в'язких рідин, із врахуванням параметрів розробленого РЦ, при яких забезпечується нормована запиленість обслуговуючої зони та збільшення продуктивності пересувних зернових сепараторів.

Удосконалено: технологічний процес очищення запиленого ПП в пересувних зернових сепараторах, який доповнено до існуючих врахуванням проміжного відведення дисперсних частинок та доочистки запиленого ПП.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами досліджень комплексно обґрунтовано раціональні параметри розробленого РЦ, використання якого підвищує технологічні показники продуктивності та якості очищення запиленого ПП в пересувних зернових сепараторах.

Запропонована науково-обґрунтована конструкція РЦ зернових сепараторів, яка підвищує ефективність процесу очищення запиленого ПП від легких домішок та пилу на 30...35 % і забезпечує нормовану запиленість робочої зони пересувних зернових сепараторів 3,1...3,7 мг/м³. Інтенсифікація процесу очищення ПП сприяє збільшенню продуктивності пересувних зернових сепараторів типу ОВС та СВС на 20...23,2 % порівняно з існуючими.

Розроблена документація нової конструкції РЦ аспіраційних систем пересувних зернових сепараторів, виготовлено дослідні зразки. Виробнича апробація модернізованих пересувних сепараторів успішно проведена в 2017-2018 рр. в умовах ТОВ «Маковій» м. Первомайськ Харківської обл., навчально-дослідного поля ХНТУСГ ім. П. Василенка при очищенні зернових сумішей озимої пшениці, сояшнику, гороху, сої. Загальний річний економічний ефект використання модернізованих сепараторів склав 132 тис. грн. Виробнича перевірка розробленого РЦ, обробка результатів випробувань проведені спільно з фахівцями УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого.

За результатами досліджень розроблено технічну документацію на РЦ, яка передана та використовується при серійному виробництві зернових сепараторів та зерноочисних комплексів на СВПП «Механік» м. Житомир.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладені у роботах [1 – 20]. У наукових роботах, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: результати огляду і аналізу досліджень, визначено напрям підвищення ефективності процесу очищення запиленого ПП [1 – 4, 8, 13 – 15]; результати математичного моделювання руху несучої та дисперсних фаз, обґрунтовані граничні умови, проведено аналіз результатів моделювання [5, 10]; методики і результати проведених експериментів, наведені рекомендації щодо подальшого застосування розробки [10 – 12, 16].

Апробація результатів дисертації. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивні відгуки на міжнародних науково-практичних конференціях (МНПК): на XII МНПК «Вібрації в техніці та технологіях» (ХНТУСГ, Харків, 21.10.2013 р.); на XVII МНПК «Сучасні проблеми землеробської механіки» СНАУ присвячена 116-річчю з дня народження П.М. Василенка, (СНАУ, Суми, 17.10.2016 р.); на МНПК «Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences» (Radom, 28.12.2017); на XI МНПК «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (ЦНТУ, Кропивницький, 1.11.2017 р.); на МНПК «Технічний прогрес в АПК», «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин», «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» (ХНТУСГ, Харків, 20.03.2014 р., 19.03.2015 р., 24.03.2016 р., 23.03.2017 р., 21.03.2019 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 19 наукових працях, у тому числі: 9 статтях у спеціалізованих наукових виданнях України і 3 статті у закордонних виданнях (з них 2 у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами - [2, 10]); 5 тез у збірниках доповідей наукових конференцій. Отримано 2 патенти.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків на 50 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 130 сторінок, містить 69 рисунків, 14 таблиць. Список використаних джерел нараховує 205 найменувань на 24 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

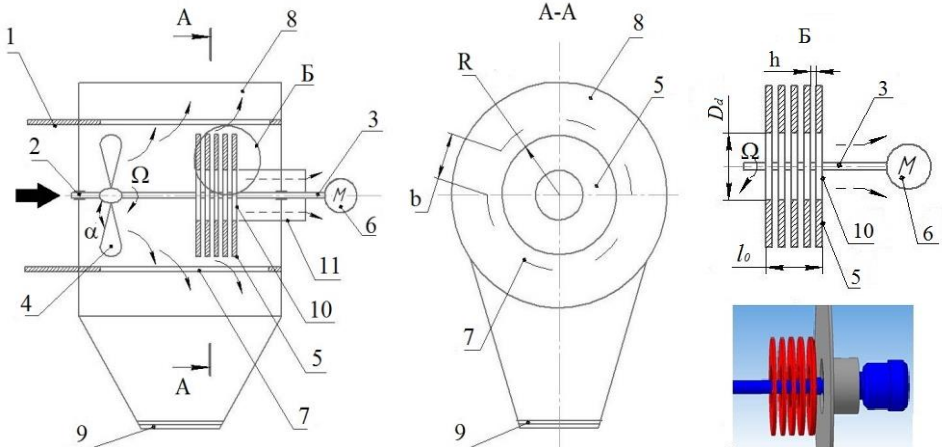
У вступі обґрунтована актуальність теми та необхідність проведення досліджень, викладений зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також представлено інформацію про їх апробацію.

У першому розділі «Стан питання і перспективи підвищення ефективності процесів очищення запиленого ПП» наведено аналіз стану проблеми, огляд та оцінку сучасних досліджень, класифікацію перспективних способів і засобів підвищення ефективності процесу очищення ПП в пересувних зернових сепараторах.

Подальше підвищення продуктивності зернових сепараторів стримується недостатньою ефективністю роботи їх аспіраційних систем при очищенні запиленого ПП від легких домішок та пилу, яка виражається у перевищенні нормованої запиленості ПП обслуговуючої робочої зони.

Дослідженням взаємодії середовищ з робочими органами сільськогосподарських машин, у тому числі ПП зернових сепараторів, інтенсифікацією технологічних процесів займалися В.П. Горячкін, П.М. Василенко, В.В. Адамчук, П.М. Заїка, А.Н. Прилуцький, П.С. Берник, Б.І. Котов, В.С. Ловейкін, О.І. Завгородній, Л.М. Тіщенко, В.М. Дринча, М.В. Бакум, С.П. Степаненко, В.П. Ольшанський, І.В. Твердохлеб, С.О. Харченко та інші.

Разом з тим, в існуючих моделях не розглядається запилений ПП, як гетерогенне середовище з полідисперсними частинками. Моделі руху таких середовищ в РЦ дозволяють отримувати достовірні результати, але не дають можливості врахувати етапність процесу очищення з доочищенням запиленого ПП, проміжне відведення дисперсних частинок. Перспективним напрямом підвищення ефективності процесу очищення запиленого ПП є комбінування пристроїв різного принципу дії, що полягало у створенні РЦ з багатодисковим доочисником (рис. 1).



1 – корпус циліндричний, 2 – опори; 3 – вал; 4 – завихрювач; 5 – доочисник багатодисковий; 6 – електродвигун; 7 – жалюзі; 8 – пилоосаджувальна камера; 9 – затвор шлюзовий; 10 – отвір центральний дисків; 11 – патрубок вихідний;
 ➔ – рух запиленого ПП; ➡ – рух дисперсних частинок; ⋯➡ – рух очищеного ПП
 Рисунок 1 – Схема розробленого РЦ з багатодисковим доочисником

Процес полягає у тому, що запилений ПП надходить в циклон на лопати рухомого завихрювача 4, який обертається за допомогою електродвигуна 6 та забезпечує основне очищення запиленого ПП. Відцентрові сили спрямовують дисперсні частинки до стінок корпусу, і через жалюзі 7 відбувається їх проміжне відведення в пилоосаджувальну камеру 8. Частково запилений ПП надходить до дискового доочисника 5 для кінцевого доочищення. За рахунок обмеженої відстані між дисками і отворів 10, дисперсні частинки що залишилися не можуть пройти, і відкидаються також до осаджувальної камери 8. Вловлені частинки пилу безперервно видаляються через затвор 9, а очищений ПП виходить з патрубку 11. Розроблений РЦ складається з основної зони очищення, зони доочищення та забезпечує безперервне відведення вловлених дисперсних частинок, що дозволяє інтенсифікувати процес очищення запиленого ПП в пересувних зернових сепараторах.

Таким чином, пропонується розв'язання науково-практичного завдання підвищення ефективності процесу очищення запиленого ПП розробленим РЦ шляхом обґрунтування його конструктивно-кінематичних параметрів.

У другому розділі «Теоретичні дослідження процесу очищення повітряного потоку в ротаційному циклоні» наведені теоретичні дослідження процесу очищення запиленого ПП, представлено аналіз результатів з визначеними залежностями коефіцієнтів очистки, складових швидкостей фаз ПП в робочих зонах розробленого РЦ, встановлені діапазони варіювання його параметрів.

Процес очищення запиленого ПП належить до динаміки багатофазних середовищ: несучої фази ПП і дисперсної – частинок пилу і легких домішок. Моделювання динаміки фаз подібного середовища в розробленому РЦ проведено поетапно, ґрунтуючись на рівняннях руху Нав'є-Стокса.

Для вирішення першого етапу – опису руху ПП в основному робочому циліндричному каналі (рис. 1) використано рівнянні нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{U}) = 0, \quad (1)$$

та руху середовища

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + (\bar{U}, \nabla) \bar{U} - \nu \Delta \bar{U} + \frac{1}{\rho} \nabla P = \bar{g}, \quad (2)$$

де ρ , U – густина та швидкість середовища, відповідно; $\nu = \mu / \rho$ – кінематична в'язкість середовища, μ – динамічна в'язкість середовища; P – тиск; \bar{g} – зовнішня масова сила, що діє на одиницю об'єму середовища.

Наведені рівняння характеризують внутрішній механізм процесу, встановлюють взаємозв'язок між фізичними умовами процесу і змінами цих умов в часі. Швидкість руху ПП прийнята незначна в порівнянні зі швидкістю звуку, а число Маха $\mu \ll 1$. Об'ємна частка дисперсної фази також незначна відповідно до загального об'єму середовища, що дозволяє знехтувати силою, яка діє на ПП. Розподіл дисперсних частинок на вході в РЦ рівномірний. Прийняті умови в сукупності дозволили виділити просторово-часову область, де розглядається процес, і які забезпечують єдність розв'язання задачі.

Приймемо діаметр основного робочого каналу в циклоні D_0 та швидкість запиленого ПП на вході в циклон U_0 . З урахуванням припущень рівняння (1), (2) для сталого потоку в циліндричній систем координат мають вигляд:

$$\begin{cases} \frac{1}{\text{Re}} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) = \frac{\partial P}{\partial z}, \\ \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

де $\text{Re} = U_0 D_0 / \nu$ – число Рейнольдса, яке характеризує відношення нелінійного і дисипативного членів у рівняннях; r – координата в радіальному напрямку.

Тоді рівняння для осьової складової швидкості ПП має вигляд:

$$U_z = \frac{\text{Re}}{4} \frac{dP}{dz} r^2 + C_1 \ln r + C_2, \quad (4)$$

де C_1, C_2 – довільні постійні.

Профіль осьової складової швидкості апроксимували в рамках тришарової моделі, що відділяє ламінарний пристінковий шар, буферний шар і турбулентне ядро. Радіус турбулентного ядра визначається виразом:

$$r^* = 1 - \frac{30}{w^* \cdot \text{Re}}, \quad (5)$$

де w^* – динамічна швидкість потоку:

$$w^* = \frac{0,2}{\text{Re}^{1/8}}. \quad (6)$$

Градієнт осьової швидкості по радіусу не перевищує:

$$\frac{dU_z}{dz} < 0,08 \cdot w^*. \quad (7)$$

З урахуванням рівнянь (5) – (7) для значень числа Рейнольдса $\text{Re} > 5 \cdot 10^4$ маємо турбулентне ядро потоку $r^* \geq 0,98$, яке займає переріз основного каналу РЦ.

Середня величина радіальної складової швидкості несучої фази в першому наближенні отримана з умови балансу об'єму повітря, що проходить через РЦ:

$$U_r(r) = \frac{(D_0^2 - D_d^2)U_0}{8rl_0}, \quad (8)$$

де l_0 – ширина доочисника; D_d – діаметр центрального отвору дисків (рис. 1).

За умови утворення необхідної відцентрової сили, мінімальної нерівномірності осьової швидкості потоку і появи зворотних течій в приосьових зонах, кут нахилу лопатей завихрювача визначали виразом (рис. 2):

$$\text{tg} \alpha \approx \frac{\Omega_0 d_0}{2\sqrt{2}U_0}, \quad (9)$$

де Ω_0 – кутова швидкість обертання ротора-завихрювача; d_0 – діаметр лопатей завихрювача. При зниженні швидкості обертання завихрювач створює додатковий гідравлічний опір потоку повітря. При збільшенні швидкості запиленого ПП підвищується нерівномірність осьової складової швидкості потоку.

Внаслідок в'язкої дифузії і турбулентної дисипації енергії через певну відстань від входу в закручену потіч формується «природний» профіль швидкості. Тангенціальна складова швидкості закрученого потоку поблизу осі обертання відповідає закону обертання твердого тіла («квасітверде обертання»), а в периферійній – до закону сталості циркуляції (квасіпотенціальне обертання).

Для сталого потоку в циліндричній системі координат отримаємо рівняння:

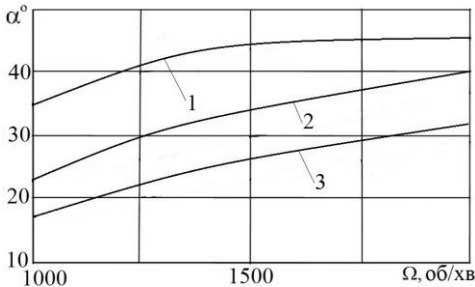
$$\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_\varphi^2}{r^2} = 0. \quad (10)$$

Враховуємо наявність прямокутних отворів в основному каналі розробленого РЦ, через які відбувається проміжне відведення дисперсних частинок в осаджувальну камеру. Задаємо умови прилипання та ковзання на відповідних ділянках основного каналу розробленого РЦ.

Рівняння тангенціальної складової швидкості потоку має вигляд (рис.3):

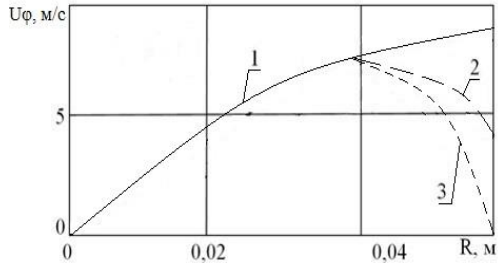
$$U_{\varphi}(r)\Omega_0 r = \begin{cases} 1 & r \leq \frac{d_0}{2} \\ \frac{\left(\frac{D_0}{2r}\right)^2 \left(1 - \gamma \frac{d_0}{D_0}\right) - \left(1 - \gamma \frac{D_0}{d_0}\right)}{\left(\frac{D_0}{d_0}\right)^2 - 1}, & r \geq \frac{d_0}{2} \end{cases}, \quad (11)$$

де γ – коефіцієнт, що характеризує вплив конструкції стінки основного каналу РЦ на затухання швидкості поза зоною «квазитвердого обертання»: $\gamma=0$ – умова прилипання, $\gamma=1$ – «ідеальне ковзання».



1 – $U_0=14$ м/с; 2 – $U_0=10$ м/с; 3 – $U_0=6$ м/с

Рисунок 2 – Закономірності зміни кута нахилу лопатей завихрювача від частоти обертів ротора РЦ



1 – базова конструкція РЦ; 2 – умова прилипання; 3 – ідеальне ковзання
Рисунок 3 – Залежності тангенціальної складової швидкості потоку РЦ

Встановлений діапазон варіювання кута нахилу лопатей завихрювача $\alpha = 18 \dots 45^\circ$ в залежності від частоти обертання ротора РЦ та характерної для аспіраційних систем зернових сепараторів швидкості ПП (рис.2).

Аналізом залежностей (рис. 3) визначена необхідність максимального наближення радіуса завихрювача до радіусу основного каналу РЦ, що доводить відповідність обертання запиленого ПП до закону «квазитвердого обертання».

Другим етапом моделювання є побудова моделі руху дисперсної фази в запиленіх ПП в робочих зонах розробленого РЦ.

В рамках багатозафазної моделі встановлено рівняння для визначення радіальної координати частинки дисперсної фази, нехтуючи їх взаємодією одна з одною:

$$\frac{d^2 r}{dt} = -\xi \frac{3}{8} \frac{\rho}{\rho_s r_s} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r \Omega_0^2, \quad (12)$$

де ρ_s – щільність дисперсних частинок; r_s – усереднений еквівалентний радіус дисперсної частинки, що враховує об'єм частинки та коефіцієнт її форми; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору, який залежить від режиму руху потоку: ламінарний режим при $Re \leq 2$; перехідний при $2 > Re \leq 500$; турбулентний при $Re > 500$.

Розв'язок рівняння проводили чисельним методом Рунге-Кутта з корекцією коефіцієнта опору на кожному часовому кроці.

Рівняння радіальної складової швидкості дисперсної частинки за умови часу релаксації $\tau = \frac{2 \rho_s r_s^2}{9 \rho \nu}$ має вигляд (рис.4):

$$W_r = \frac{r_0}{2} \frac{\beta - 1}{\beta} \left\{ e^{(\beta-1)\frac{t}{2\tau}} - e^{-(\beta-1)\frac{t}{2\tau}} \right\}, \quad (13)$$

де r_0 – радіус каналу РЦ, на якому знаходиться дисперсна частинка в початковий момент часу; $\beta = \sqrt{1 + 4c^2 \Omega_0}$.

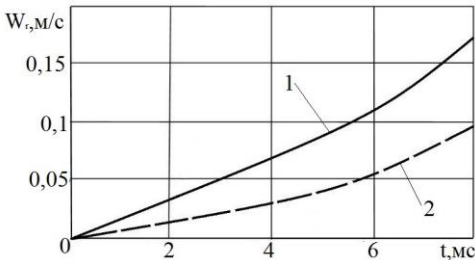
Радіальна координата дисперсної частинки визначається з рівняння:

$$r = \frac{r_0}{2} \left\{ \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) e^{(\beta-1)\frac{t}{2\tau}} + \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) e^{-(\beta-1)\frac{t}{2\tau}} \right\}. \quad (14)$$

Ефективність відділення дисперсних частинок з запиленого ПП в основній робочій зоні розробленого РЦ визначали за виразом (рис. 5):

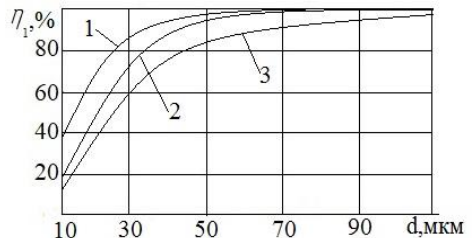
$$\eta_1 = 1 - \frac{2 \frac{1}{\Omega_0^2} \frac{U_0}{l_0 \tau}}{\left[\left(1 + \frac{1}{\beta} \right) e^{(\beta-1)\frac{L_0}{2\tau U_0}} + \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) e^{-(\beta-1)\frac{L_0}{2\tau U_0}} \right]^2}, \quad (15)$$

де L_0 – довжина основної робочої зони каналу розробленого РЦ.



1 – $r_0=0,01$ м; 2 – $r_0=0,02$ м

Рисунок 4 – Закономірності зміни радіальної складової швидкості дисперсних частинок ($d_s=50$ мкм)



1 – $U_0=5$ м/с; 2 – $U_0=10$ м/с; 3 – $U_0=15$ м/с

Рисунок 5 – Залежності ефективності очищення запиленого ПП в основному каналі РЦ від дисперсності частинок ($\Omega=1000$ об/хв; $D_0=0,1$ м; $l_0=0,3$ м)

Аналізом рис. 6 встановлено, що ефективність відділення дисперсних частинок розміром 50...120 мкм в основному каналі розробленого РЦ знаходиться в діапазоні 85...100 %. Недостатня ефективність відділення частинок розміром до 50 мкм, що пояснюється обмеженням габаритів камери та незначною вагою самих частинок, обумовлює використання додаткового пиловідділювача. Зменшення швидкості ПП, в діапазоні що досліджується, сприяє підвищенню коефіцієнта очищення основного каналу розробленого РЦ на 35...45%.

Отримано рівняння для радіальної складової швидкості дисперсної частинки в зоні доочисника:

$$\frac{dW_r}{dt} = -\xi \frac{3}{8} \frac{\rho}{\rho_s r_s} (W_r - U_r)^2 + \frac{W_\varphi^2}{r}, \quad (16)$$

де $U_r = \left((D_0^2 - D_d^2) U_0 \right) / 8rl_0$ – швидкість ПП; l_0 – ширина доочисника.

Ефективність відділення дисперсних частинок, що залишилися (крім відокремлених раніш частинок), визначали за виразом (рис. б):

$$\eta_2 = 1 - \frac{\max \left(2 \frac{1 - (D_d / D_0) U_0}{\Omega_0^2}, 4 \left(\frac{D_d}{D_0} \right)^2 \right)}{\left[\left(1 + \frac{1}{\beta} \right) e^{(\beta-1) \frac{l_0 - l_0}{2\tau U_0}} + \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) e^{-(\beta-1) \frac{l_0 - l_0}{2\tau U_0}} \right]^2}. \quad (17)$$

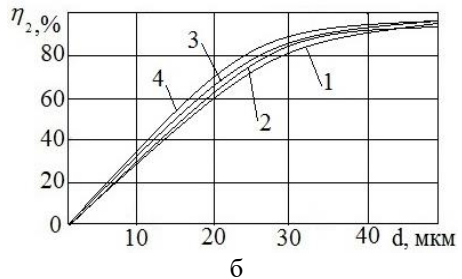
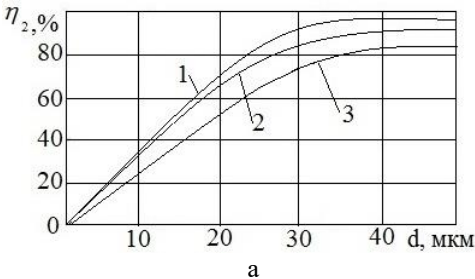
Третім етапом моделювання є дослідження процесу очищення запиленого ПП в багатодисковому доочиснику. Динаміка дисперсних частинок обумовлена станом пристінних підшарів між дисками, кількістю дисків, розмірами центрального отвору та частотою обертання ротору. Окружна складова швидкості дисперсних частинок збільшується від стінки до середини міждискового простору та зменшується при русі потоку вздовж дисків, що обумовлено дією Коріолісових сил.

Прийняті наступні умови: ламінарний режим з $Re_w \approx (0,7 \dots 1,5) \cdot 10^3$; товщина пограничного шару $\delta \approx \sqrt{\nu / \Omega_1}$; зазор між дисками $h < 2\sqrt{\nu / \Omega_1}$.

Радіальну складову швидкості несучої фази між дисками доочисника визначали за виразом:

$$U = \frac{(D_0^2 - D_d^2) U_0}{8R(n-1)h}, \quad (18)$$

де U_0 – осьова швидкість потоку; n – кількість дисків доочисника.



1 – $n=9$ шт., $l_0=0,0315$ м; 2 – $n=6$ шт.,
 $l_0=0,021$ м; 3 – $n=3$ шт., $l_0=0,0105$ м

1 – $h=0,0015$; 2 – $h=0,0018$;
3 – $h=0,0021$; 4 – $h=0,0024$

Рисунок б – Залежності коефіцієнта очищення доочисника розробленого РЦ від діаметру частинок дисперсної фази ($U_0 = 10$ м/с; $D_0 = 0,1$ м; $D_d = 0,01$ м)

Аналізом залежностей (рис. 6) встановлено, що подальше збільшення кількості дисків доочисника більше 6 впливає на ефективність доочищення запиленого ПП на рівні 1...3,1 %. Фракційна ефективність очищення запиленого ПП доочисником розробленого РЦ від дисперсних частинок $d = 20...50$ мкм складає $\eta_2 = 52...92,4$ %, дисперсних частинок діаметром до 20 мкм $\eta_2 = 0...68,9$ %. Встановлені діапазони варіювання кількості дисків та відстані між дисками доочисника, які склали $n = 6...9$ та $h = 0,0018...0,0024$.

Збереження ламінарності потоку за рахунок обмеження швидкості обертання дисків доочисника забезпечується необхідною їх кількістю:

$$n = 1 + \frac{(D_0^2 - D_d^2) U_0}{8R\nu} \frac{1}{\text{Re}}, \quad (19)$$

при $\text{Re} < 2300$, що відповідає ламінарному режиму течії.

Діаметр центрального отвору дисків доочисника забезпечує зменшення швидкості потоку між дисками та обмежує проходження дисперсних частинок:

$$D_d \approx D_0 \sqrt{\frac{(U_0 / (\Omega_1^2 l_0 \tau))}{(2 + (U_0 / \Omega_1^2 l_0 \tau))}}. \quad (20)$$

Для встановлення енерговитрат процесу очищення визначено сумарний гідравлічний опір розробленого РЦ з доочисником:

$$\Delta P = 16\mu_n \frac{R_d^2}{n^2 h^3} U_0 \ln \frac{R_d}{r_c}, \quad (21)$$

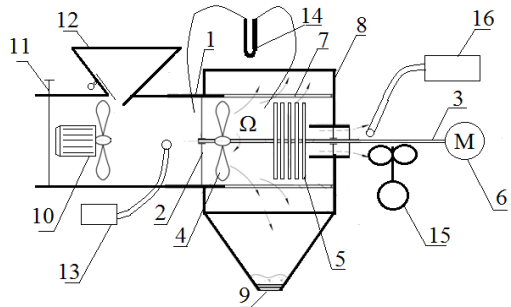
де R_d – радіус дисків доочисника; μ_n – коефіцієнт динамічної в'язкості потоку; r_c – радіус центрального отвору дисків. Встановлений діапазон варіювання гідравлічного опору розробленого РЦ склав 130...170 Па.

У третьому розділі «Методика та обладнання для проведення експериментальних досліджень» представлено програму та методику проведення експериментальних досліджень, наведено опис об'єкту досліджень.

Для дослідження руху запиленого ПП при очищенні розроблена лабораторна установка з прозорою робочою зоною з оргскла та відповідним устаткуванням (рис. 8), запропоновані та реалізовані методи досліджень. Експериментальні дослідження розробленого циклону проведені з пилом органічного походження різнодисперсного розміру. Якість процесу очищення запиленого ПП визначали за розробленими та базовими методами, які рекомендовані ДСТУ.

Визначення складових швидкостей ПП виконано з застосуванням термоанемометра Testo 416, трубки Піто з мікроманометром. Визначення складових швидкості компонентів дисперсної фази проведено за допомогою відеозйомки та подальшої обробки фотографічних зображень.

Для визначення оптимальних конструктивно-кінематичних параметрів розробленого циклону проведені дослідження відповідно до розробленого плану експериментів.



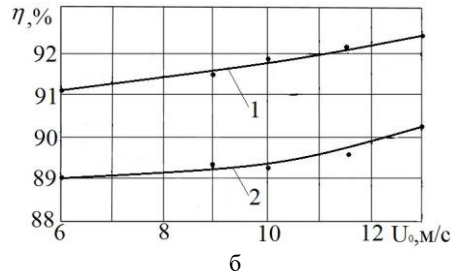
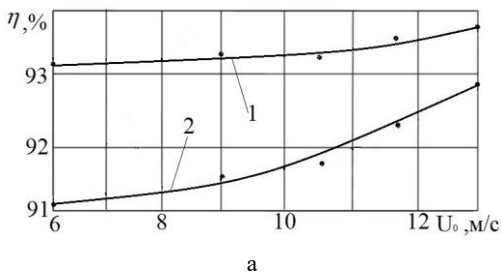
1 – корпус; 2 – опори; 3 – вал; 4 – завихрювач; 5 – доочисник; 6 – двигун;
7 – жалюзі; 8 – камера осаджувальна; 9 – затвор шлюзовий; 10 – вентилятор;
11 – діафрагма; 12 – пілодозатор; 13 – мікроманометр ММН - 240(5)-1,0; 14 –
мікроманометр водяний; 15 – анемометр чашковий; 16 – анемометр testo 416
Рисунок 8 – Лабораторна установка для досліджень розробленого РЦ

Для визначення раціональних параметрів процесу очищення ПП, взаємного впливу факторів проведено багатofакторний експеримент відповідно плану Бокса-Бенкіна. Критерієм оптимізації прийнятий коефіцієнт очищення.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведено результати експериментальних досліджень процесу очищення запиленого ПП, встановлені їх розбіжності з теоретичними даними, визначена адекватність отриманих математичних моделей.

Дослідженнями встановлені залежності коефіцієнтів очищення від конструктивно-технологічних параметрів розробленого РЦ (рис. 9, 10).

Аналізом результатів встановлено, що збільшення швидкості ПП, в діапазонах що досліджуються, підвищує коефіцієнт очищення розробленого РЦ до 89...93,8 %. Діапазони варіювання отриманих параметрів РЦ склали: кута нахилу лопатей $\alpha = 10...30^\circ$, частоти обертання ротора $\Omega = 1000...2000$ об/хв, відстані між дисками доочисника $h = 0,75...1,25$ мм.



1 – $\Omega=1000$ об/мин, 2 – $\Omega=2000$ об/хв
($n=6$ шт; $h=1$ мм; $\alpha=20^\circ$; $b=20$ мм)
а – при частоти обертання ротора; б – при ширини відкриття жалюзі камери
Рисунок 9 – Залежності коефіцієнта очищення розробленого РЦ від швидкості ПП

Отримані експериментальні залежності загального коефіцієнта очищення розробленого РЦ від дисперсних частинок різних розмірів при швидкості ПП характерної для аспіраційних систем зернових сепараторів.

Гідрравлічний опір розробленого РЦ експериментально визначали за перепадом тиску до та після апарату з варіюванням значущих параметрів розробленого РЦ. Підвищення швидкості ПП та значень параметрів розробленого РЦ (рис. 11), в діапазонах, що досліджували, збільшує гідрравлічний опір в 1,91...9 разів. За умови максимальної ефективності та мінімального гідрравлічного опору встановлені діапазони кількості дисків та діаметру їх центрального отвору: 6...9 шт. та 0,02...0,03 м, відповідно. Діапазон варіювання гідрравлічного опору розробленого РЦ з доочисником, за визначених його раціональних параметрів, склав 130...180 Па.

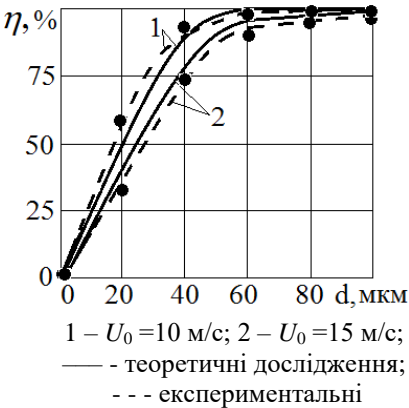


Рисунок 10 – Залежності коефіцієнта очищення РЦ від дисперсності частинок ($\Omega = 1000$ об/хв; $n = 6$ шт; $b = 15$ мм; $h = 1$ мм)

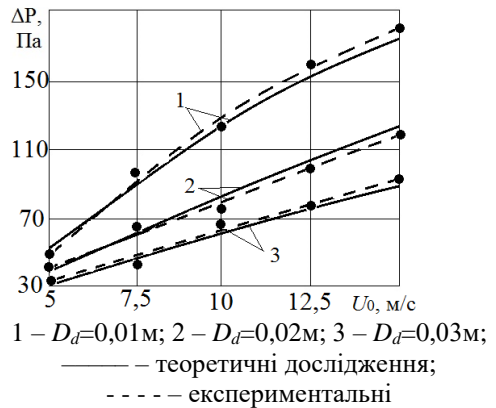


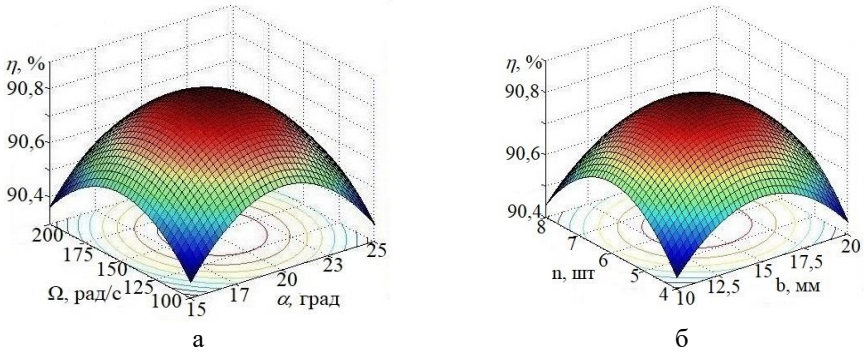
Рисунок 11 – Залежності гідрравлічного опору розробленого РЦ від швидкості ПП

Розбіжність результатів експериментів, щодо визначення ефективності процесу очищення запиленого ПП та гідрравлічного опору, з даними теоретичних досліджень не перевищує 4,3 %, що підтверджує адекватність розробленого математичного моделювання.

В результаті дослідження на екстремум рівняння регресії, що описують поверхні відгуку – коефіцієнти очищення запиленого ПП, встановлені раціональні значення найбільш значущих факторів (рис. 12): кута нахилу лопатей завихрювача $\alpha = 17^\circ \dots 22^\circ$; частоти обертання активного ротора $\Omega = 125 \dots 175$ рад/с; ширини відкриття жалюзі $b = 13 \dots 18$ мм; відстані між дисками доочисника $h = 1,3 \dots 1,7$ мм; кількості дисків доочисника $n = 5 \dots 7$ шт.

Отримано рівняння регресії процесу очищення ПП в розробленому РЦ у розкодованому вигляді:

$$\eta = 79,663 + 0,515\alpha + 0,026\Omega + 0,246b + 0,685n + 3,463h - 0,000025\alpha\Omega - 0,00035ab - 0,00038an - 0,298ah - 0,00016n\Omega - 0,00017\Omega h - 0,0014nb - 0,0025bh - 0,0341nh - 0,01002\alpha^2 - 0,000077\Omega^2 - 0,0068b^2 - 0,0474n^2 - 0,754h^2.$$



а – коефіцієнта очищення від кута нахилу лопаті завихрювача та частоти обертання ротору; б – коефіцієнта очищення від кількості дисків доочисника та ширини відкриття жалюзі

Рисунок 12 – Залежності ефективності очищення запиленого ПП розробленим РЦ

Встановлено, що за вказаними параметрами коефіцієнт очищення запиленого ПП розробленим РЦ становить $\eta = 90,7...90,8$ %. Адекватність математичної моделі руху ПП в розробленому циклоні з підвищенням ефективності процесу очищення підтверджено за критерієм Фішера з 95 % ймовірністю.

У п'ятому розділі «Оцінка ефективності розробленого ротаційного циклону та його виробничі апробація» представлені результати виробничих випробувань з розробленим РЦ, які проведені протягом 2017-2019 рр. в умовах ТОВ «Маковій» та навчально-дослідного поля ХНТУСГ ім. П. Василенка. Модернізація пересувних сепараторів передбачала встановлення розробленого РЦ з доочисником за отриманими науково-обґрунтованими параметрами.

Встановлено, що ефективність очищення запиленого ПП на пересувних сепараторах СВС-25М, ОВС-25М збільшилась на 30...35 % і склала 88...90,8 %. Фактична запиленість робочої зони модернізованих пересувних зернових сепараторів склала 3,1...3,7 мг/м³, що не перевищує норми. Це обумовило збільшення завантаження та продуктивності зернових сепараторів на 20...23,2 %.

Випробуваннями спільно з фахівцями УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого підтверджено підвищення ефективності процесу очищення запиленого ПП, збільшення продуктивності та забезпечення нормованої запиленості повітря робочої зони пересувних зернових сепараторів типу ОВС та СВС.

Визначено, що інтенсифікація процесу очищення ПП, за рахунок використання розробленого циклону, супроводжується зниженням питомих енерго- та металоемностей на 5,17 % та 4,77 %, відповідно.

Загальний річний економічний ефект від використання модернізованих пересувних сепараторів з розробленим РЦ за рахунок зменшення експлуатаційних витрат склав 132 тис. грн.

За результатами досліджень розроблено технічну документацію на РЦ, яка передана та використовується в серійному виробництві зернових сепараторів та зерночисних комплексів на СВПТ «Механік» (м. Житомир).

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і вирішення науково-прикладного завдання інтенсифікації процесу очищення запиленого ПП циклоном, яке ґрунтується на динаміці багатофазних середовищ з етапним очищенням запилених ПП та проміжним відбором дисперсних частинок, що дозволяє визначити закономірності, розробити математичні методи оптимізації технологічних показників роботи ротаційних циклонів пересувних сепараторів, створити і обґрунтувати параметри ротаційного циклону з доочисником, впровадити його серійне виробництво.

Результати досліджень дозволили сформулювати основні теоретичні та науково-практичні висновки:

1. На підставі оцінки та аналізу існуючих підходів щодо підвищення ефективності очищення запиленого ПП встановлено: відсутність загального погляду на моделювання динаміки багатофазних середовищ в робочих зонах ротаційних циклонів; математичні моделі процесів очищення запилених ПП функціонують при певних параметрах, а прийняті спрощення не враховують багатофазність середовища, проміжного відведення дисперсної фази та етапність очищення, обмежують область застосування конструкцій. Розробка науково-обґрунтованих методів, визначення параметрів розробленого РЦ дозволить підвищити ефективність процесу очищення запиленого ПП, обумовити збільшення продуктивності та поліпшення безпеки праці пересувних зернових сепараторів.

2. Обґрунтовано спосіб підвищення ефективності процесу очищення ПП в РЦ на базі створених математичних моделей динаміки, які дозволили встановити поля швидкості ПП та дисперсних частинок в основній робочій зоні та зоні доочистки розробленого РЦ.

3. Побудовані динамічні моделі процесу очищення запиленого ПП, дозволили встановити функціональні залежності складових швидкості ПП і дисперсних частинок з конструктивно-кінематичними параметрами розробленого РЦ і властивостями запиленого ПП. Встановлено, що складові швидкості багатофазного середовища залежать на 15...35 % від конструктивно-технологічних параметрів розробленого РЦ, що підтверджує можливість перерозподілу дисперсних частинок та інтенсифікації процесу очищення запиленого ПП. Розв'язком отриманих математичних моделей визначені кінцеві вирази та отримані діапазони складових швидкостей несучої і дисперсної фаз. Встановлено, що ефективність процесу очищення запиленого ПП на розробленому РЦ становить 85...92 %.

4. Експериментально отримано залежності складових швидкості дисперсних частинок домішок та пилу в робочих зонах розробленого РЦ з доочисником при використанні розроблених і діючих типових методів досліджень та випробувань. Встановлено, що збільшення кута нахилу лопатей завихрювача, в досліджуваному діапазоні, підвищує радіальні складові швидкості дисперсних частинок швидкості на 12...28%. Розбіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень щодо визначення ефективності процесу очищення запиленого ПП та гідравлічного опору розробленого РЦ з даними теоретичних досліджень не перевищує 4,3 %, що підтверджує адекватність розробленого математичного моделювання.

5. Проведене теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення гідравлічного опору розробленого РЦ зі встановленням впливу конструктивно-технологічних параметрів. За умови максимальної ефективності та мінімального гідравлічного опору встановлені діапазони кількості дисків та діаметру їх центрального отвору: 6...9 шт. та 0,02...0,03 м, відповідно. Діапазон варіювання гідравлічного опору розробленого РЦ з доочисником, за визначених його раціональних параметрів, склав 130...180 Па.

6. В результаті проведення багатофакторного експерименту процесу очищення запиленого ПП рекомендовані наступні раціональні значення конструктивних параметрів розробленого РЦ: кут нахилу лопатей завихрювача $\alpha = 17...22$ град; частота обертів ротора $\Omega = 125...175$ рад/с; ширина відкриття жалюзі $b = 12,5...17,5$ мм; кількість дисків доочисника $n = 5...7$ шт; відстань між дисками в доочиснику $h = 1,25...1,75$ мм. Встановлено, що за визначеними параметрами ефективність очищення запиленого ПП розробленого РЦ складає 90,7...90,8 %.

7. За результатами досліджень розроблено технічну документацію на РЦ, яка передана та використовується в серійному виробництві зернових сепараторів та зерноочисних комплексів на СВПТ «Механік» (м. Житомир).

Виробничими випробуваннями підтверджено ефективність розробленого циклону, яка склала 88...90,8 %. Визначено, що інтенсифікація процесу очищення ПП за рахунок використання розробленого РЦ, обумовлює підвищення продуктивності пересувних зернових сепараторів на 20...23,2 %.

Використання модернізованих сепараторів з розробленим РЦ в умовах ТОВ «Маковій» та навчально-дослідного поля ХНТУСГ дозволило отримати загальний річний економічний ефект 132 тис. грн.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Харченко С.А., Гаєк Е.А. Способ повышения эффективности процесса очистки воздушного потока и разработка циклона аспирационных систем зерноочистительных машин. *Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2013. Вип.135. С. 87 – 92.

2. Тищенко Л.Н., Харченко С.А., Гаєк Е.А. К построению математической модели динамики запылённого воздушного потока в разработанном циклоне. *MOTROL «Motorization and power industry in agriculture»*. Lublin-Rzeszow, 2014 Vol. 16, № 7. С. 42 – 46.

3. Харченко С.А., Гаєк Е.А. К построению математической модели поля скоростей дисперсной фазы в запылённом воздушном потоке. *Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський журнал: Вінницького національного аграрного університету*. Вінниця, 2014. Т.1, № 73. С. 44 – 49.

4. Харченко С.А., Гаек Е.А. К построению математической модели поля скоростей несущей фазы в рабочей зоне прямоточного циклона. *Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2014. Вип.152. С. 114 – 120.

5. Харченко С.А., Гаек Е.А. К построению математической модели динамики запылённого воздушного потока в зоне доочистителя разработанного прямоточного циклона. *Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. Харків, 2015. Вип.156. С. 237 – 242.

6. Гаек Е.А. Оптимизация конструктивно-кинематических параметров разработанного циклона аспирационных систем зерноочистительных машин. *Інженерія природокористування*. 2015. № 1(3). С.123 – 127.

7. Гаек Е.А. Сравнительный анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований в разработанном циклоне аспирационных систем зерноочистительных машин. *Технічні системи і технології тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2015. Вип.157. С. 203 – 208.

8. Гаек Е.А., Бекетова И.С. Способ повышения эффективности процесса очистки запылённого воздушного потока циклоном аспирационных систем зерновых сепараторов. *Інженерія природокористування*. 2015. № 2(4). С.101 – 105.

9. Гаек Е.А. Алгоритм математического моделирования частиц дисперсной фазы запылённого воздушного потока. *MOTROL «Commission of Motorization and Energetics in Agriculture»*. Lublin-Rzeszow, 2016. Vol.18, №7. P. 79 – 83

10. Харченко С.А., Гаек Е.А. Эффективное очищение запылённого воздушного потока ротационными циклонами на зернопереробных предприятиях. *International research and practice conference. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences*. Radom, 2017. P. 218 – 221.

11. Харченко С.А., Гаек Е.А. Эффективность очистки запылённого воздушного потока циклонами на зерноперерабатывающих предприятиях. *Інженерія природокористування*. 2018. № 1(9). С. 79 – 82.

12. Харченко С.А., Гаек Е.А. Энергоемкость и металлоемкость процесса очистки запылённого воздушного потока модернизированным сепаратором СВС-25М. *Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2019. Вип.199. С.351 – 357.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Харченко С.А., Гаек Е.А. Повышение эффективности очистки запылённого воздушного потока разработанным циклоном аспирационных систем зерноочистительных машин. *Матеріали наукової конференції Сумського НАУ* (1-8.11.2014 р.). В 3 т./Т.ІІІ. Суми: СНАУ, 2014. С. 62.

14. Харченко С.А., Гаек Е.А. Интенсификация процесса очистки воздушного потока разработанным циклоном аспирационных систем зерноочистительных машин. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції ХНТУСГ: «Молодь і технічний прогрес в АПК»*. Харків: ХНТУСГ. 2014. С.87.

15. Гаек Е.А., Суламанідзе Е.А. Анализ способов повышения эффективности работы аспирационных систем зерноочистительных машин. *Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів*. В 3 т./Т.ІІІ. Суми: СНАУ, 2017. С.64.

16. Гаек Е.А. Очистка запылённого воздушного потока ротационными циклонами на зерноперерабатывающих предприятиях. *Матеріали Всеукраїнській студентської наукової конференції (13-17.11.2017 р.)*. Суми, 2017. С. 662.

17. Гаек Е.А. Эффективная очистка запылённого воздушного потока ротационными циклонами на зерноперерабатывающих предприятиях. *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції: Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С.218-220.

Праці, які додатково відображують наукові результати дисертації:

18. Циклон: пат. 103446 У України: МПК В04С 3/00. № а 2012 14122; заявл. 11.12.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. №19.

19. Циклон ротатійний: пат. 137443 У України: МПК В04С 3/06. № у 2019 02582; заявл. 18.03.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. №20.

АНОТАЦІЯ

Гаек Є.А. Обґрунтування параметрів процесу очищення повітряного потоку ротатійним циклоном пересувних зернових сепараторів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Міністерства освіти і науки України, Харків, 2020.

У дисертації вирішене наукове завдання, яке направлене на підвищення ефективності процесу очищення запиленого повітряного потоку аспіраційних систем пересувних зернових сепараторів, яке реалізоване етапним очищенням з проміжним відведенням дисперсних частинок шляхом використання розробленого ротатійного циклону з багатодисковим доочисником. Розроблено математичні моделі динаміки несучої та дисперсних фаз в основній робочій зоні та зоні доочищення, в яких враховано вплив конструктивно-кінематичних параметрів розробленого ротатійного циклону, властивості запиленого повітряного потоку.

Розроблений ротатійний циклон пройшов виробничу апробацію, а розроблена нормативно-технічна документація передана до використання при серійному виробництві пересувних зернових сепараторів.

Ефективність очищення запиленого повітряного потоку від дрібнодисперсних частинок пилу та домішок розробленим ротаційним циклоном склала 88...90,8 %, що обумовило підвищення продуктивності пересувних зернових сепараторів на 20...23,2 %.

Ключові слова: процеси очищення, запилений повітряний потік, циклон, інтенсифікація, продуктивність, коефіцієнт очищення.

АННОТАЦІЯ

Гаєк Е.А. Обоснование параметров процесса очистки воздушного потока ротационным циклоном передвижных зерновых сепараторов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2020.

В диссертации решена научная задача, направленная на повышение эффективности процесса очистки запыленного воздушного потока аспирационных систем передвижных зерновых сепараторов, которая реализована этапной очисткой с промежуточным отведением дисперсных частиц путем использования разработанного ротационного циклона с многодисковым доочистителем. Разработаны математические модели динамики, несущей и дисперсных фаз в основной рабочей зоне и зоне доочистки, в которых учтены влияния конструктивно-кинематических параметров разработанного ротационного циклона, свойства запыленного воздушного потока.

Разработанный ротационный циклон прошел производственную апробацию, а разработанная нормативно-техническая документация передана для использования при серийном производстве передвижных зерновых сепараторов.

Эффективность очистки запыленного воздушного потока от мелкодисперсных частиц пыли и примесей разработанным ротационным циклоном составила 88...90,8 %, что обусловило повышение производительности передвижных зерновых сепараторов на 20...23,2%.

Ключевые слова: процессы очистки, запыленный воздушный поток, циклон, интенсификация, производительность, коэффициент очистки.

ABSTRACT

Haiek Y.A. Substantiation of the parameters of the process of cleaning the air flow by the rotating cyclone of mobile grain separators. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.11 – Machines and means of mechanization of agricultural production. – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation solves a scientific problem of efficiency improvement of the cleaning process for the dusty air stream in the aspiration systems of mobile grain separators, which is implemented by stage cleaning with intermediate removal of dispersed particles by using the developed rotational cyclone with a multi-disk after-cleaner.

Mathematical modeling of the dusty air stream cleaning process, based on the dynamics of a heterogeneous medium with the properties of viscous liquids, was carried out. Mathematical models of the dynamics of a two-phase medium of dusty air flow in the working areas of the developed rotational cyclone were developed. The influence of structural and technological parameters of the developed rotational cyclone and the properties of dusty air flow were taken into account at the models development stage.

The functional relationship of the components of the air flow velocity and dispersed particles in the main working zone and the after-cleaning zone of the developed rotational cyclone were studied. It has been established that the components of the velocity of the carrier and disperse phases depend on the design and technological parameters of a rotational cyclone by 15...35 %, which confirms the possibility of intensifying the process of cleaning dusty air flow and redistributing dispersed particles.

Studies have established the relationship between the structural and technological parameters of the developed rotational cyclone and the criteria for the efficiency of the dusty air stream cleaning process, which depends on the stage-by-stage modeling of the main dusty air stream cleaning and its after-cleaning.

As a result of a multifactor experiment of the dusty air stream cleaning process, the following rational values of the design variables of the developed rotational cyclone are recommended: the swirler blades inclination angle $\alpha = 17...22$ deg; rotor speed $\Omega = 125...175$ rad/s; the opening width of the blinds $b = 12,5...17,5$ mm; the number of discs of the after-cleaner $n = 5...7$ pcs; the distance between the disks in the after-cleaner $h = 1,25...1,75$ mm. The efficiency of cleaning a dusty air stream by the developed rotational cyclone is 90,7...90,8 %.

In addition, the research resulted in the identification of the variability range for the hydraulic resistance of the developed rotational cyclone with the after-cleaner, under certain rational parameters.

The developed rotational cyclone passed production testing, and the developed regulatory and technical documentation was transferred for use in the mass production of mobile grain separators. The efficiency of removing fine dust particles and impurities from the dusty air stream by the developed rotary cyclone is 88...90,8 %, which ensures the acceptable dustiness of the service area and causes an increases mobile grain separators performance by 20...23,2 %.

Keywords: cleaning processes, intermediate selection, dusty air flow, cyclone, intensification, productivity, cleaning coefficient.