

КРИМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАЗІЛІН СЕРГІЙ ДМИТРОВИЧ

УДК 62.784.431:621.928.93

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
РОТАЦІЙНОГО ПИЛЕВІДОКРЕМЛЮВАЧА КАБІН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН**

05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Сімферополь 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійській державній агротехнічній академії

Науковий керівник

Заслужений працівник народної освіти України,
кандидат технічних наук, професор

Вітислав Дем'янович,

механізації тваринництва

Роговий

професор кафедри

Таврійської державної агро-

технічної академії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Грачова**
Луїза Іванівна, професор кафедри
технології молока і ОПП Кримського державного аграр-
ного університету Міністерства аграрної політики України;
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Гриднєв Євген Костянтинович, заступник директора
по науковій роботі Південної філії національного
наукового центру „ІМЕСГ”.

Провідна установа Кіровоградський державний технічний університет.

Захист відбудеться “18” грудня 2002 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 52.805.03 Кримського державного аграрного університету за адресою :95492 м. Сімферополь с.м.т. Аграрне в аудиторії 2 \ 250

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Кримського державного аграрного університету :95492 м. Сімферополь с.м.т. Аграрне

Автореферат розісланий 12.11.2002року

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради, кандидат технічних наук, доцент

О.П.Вербицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Більшість сільгоспмашин пов'язані з роботами при виконанні яких виділяється велика кількість пилу. Так, при роботі зернозбирального комбайна пил підіймається з поверхні поля вверх вище рівня кабіни і створює стійку хмару, яка постійно його супроводжує. Разом з пилом підіймаються вверх також залишки пестицидів, гербіцидів, отрутохімікатів і мінеральних добрив. Ця пило-повітряна суміш попадає всередину кабіни, і негативно впливає на механізатора.

Боротьба з запиленням повітря в кабінах сільгоспмашин здійснюється шляхом їх герметизації і оснащення систем вентиляції високоефективним пилевідокремлювачами.

Аналіз літературних джерел і виробничого досвіду показав, що найбільш доцільно, з технологічного і економічного боку, застосовувати в системі вентиляції ротаційні пилевідокремлювачі, які нагнітають в кабіну повітря і одночасно його очищують від пилу. Тому подальше удосконалення конструкцій пилевідокремлювачів, для систем вентиляції кабін сільгоспмашин, доцільно проводити на основі удосконалення і використання елементів протиточних і осерадіальних ротаційних пилевідокремлювачів та їх комбінацій. Із цього витікає, що дослідження які направлені на розробку і впровадження у виробництво ефективних систем вентиляції кабін сільськогосподарських машин з використанням удосконалених ротаційних пилевідокремлювачів є актуальними і мають важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась згідно плану науково-дослідних робіт Таврійської державної агротехнічної академії по темі: "Створення збирального адаптера очисуючого типу для удосконаленого комбайна КЗС-9М "Славутич", яка є складовою частиною галузевої тематики міністерства аграрної політики України і зареєстрована під № 019V005927.

Мета роботи. полягає у підвищенні якості і зменшенні енергомісткості процесу обезпилення повітря в кабінах сільськогосподарських машин за рахунок обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів та режимів роботи ротаційного пилевідокремлювача.

Задачі дослідження:

1. Вивчити аеродинаміку потоку в проточній частині пилевідокремлювача і визначити ефективні його характеристики.
2. Установити закономірності процесу сепарації часток пилу в каналах ротора і визначити залежності для розрахунку пилевідокремлювача.
3. Обґрунтувати геометричні параметри каналу ротора, пилезбірника і осерадіального дифузора та їх перехідних спряжень.
4. Оптимізувати геометричні, кінематичні і енергетичні параметри пилевідокремлювача для умов експлуатації на зернозбиральному комбайні.
5. Провести техніко-економічний аналіз використання удосконаленого пилевідокремлювача в системі вентиляції зернозбирального комбайна.

Об'єкт досліджень. Технологічний процес обезпилення повітря в кабіні сільськогосподарської машини, ротаційний пилевідокремлювач і режими його роботи.

Предмет досліджень. Обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів ротаційного пилевідокремлювача кабін сільськогосподарських машин.

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач, обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів ротаційного пилевідокремлювача, застосовано методи диференційно-інтегрального обчислення, кореляційного та регресивного аналізу даних. При розв'язанні диференційних рівнянь теоретичної частини дисертації та проведенні статистичного аналізу експериментальних даних використано ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому що на основі теоретичних досліджень і досліджень з допомогою електрогідродинамічної аналогії (ЕГДА) визначена форма міжлопатевого осьового вихоря (вихоря Тейлора), який виникає при русі потоку повітря в каналах ротора і впливає на закон розподілу швидкостей потоку. Одержані аналітичні залежності, які дозволяють установити закон розподілу швидкостей в каналах ротора і пилезбірника. Розроблені ма-

тематичні залежності для визначення ефективності осадження пилових часток на лопатях ротора і видалення їх в пилезбірник в залежності від їх розмірів, діаметра ротора, довжини і кількості лопатей, частоти обертання ротора і продуктивності пилевідокремлювача. Визначені оптимальні параметри роботи ротаційного пилевідокремлювача в системі вентиляції кабіни сільгоспмашини. Одержано рівняння для визначення повного тиску повітря на виході із пилевідокремлювача;

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено пристрій для кабіни зернозбирального комбайна з використанням ротаційного пилевідокремлювача. Виготовлено в металі дослідний зразок удосконаленого малогабаритного двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача. Результати досліджень і креслення на виготовлення удосконаленого двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача прийняті для використання ДКБ “Південне” м. Дніпропетровськ і ВАТ “Херсонські комбайни” м. Херсон. Система вентиляції кабіни з використанням малогабаритного удосконаленого двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача впроваджена на дослідних зразках комбайна КЗС-9М “Славутич” у ВАТ “Херсонські комбайни” і КСП “Могучій” Мелітопольського району Запорізької області.

Економічний ефект від впровадження складає 96,27 грн./рік на один комбайн.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертації отримані автором самостійно, а саме:

- проведено аналіз кабін мобільних сільгоспмашин і засобів обезпилення в них повітря;
- теоретично і експериментально обґрунтовано технологічну і конструктивну схему ротаційного пилевідокремлювача;
- розроблено креслення і виготовлено в металі дослідний зразок ротаційного пилевідокремлювача;
- проведено виробниче випробування дослідного зразка двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача на комбайні КЗС-9М “Славутич”.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідались на науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Таврійської державної агротехнічної академії (м. Мелітополь, 1994-2002 р.р.); Кримського державного аграрного університету (м. Сімферополь, 1998-2002 р.р.); міжнародних науково-практичних конференціях: “Механізація сільськогосподарського виробництва”, яка присвячена 100-річчю з дня заснування Національного аграрного університету (м. Київ, НАУ, 1997 р.); “Механізація і автоматизація технологічних процесів в рослинництві і тваринництві”, яка відбулась у Львівському державному аграрному університеті (м. Львів, 1999 р.); “Технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві”, яка відбувались в ННЦ “ІМЕСГ” (с.м.т.Глеваха Васильківського району Київської області, 2000 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 9 наукових працях в фахових виданнях загальним обсягом 1,37 друкованих аркушів. Новизна захищена патентом України на корисну модель “Пристрій для очищення повітря” № 517 від 15 вересня 2000 р.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Основний зміст дисертації викладено на 171 сторінці машинописного тексту формату А4 і містить 7 таблиць та 78 рисунків. Список використаних літературних джерел включає 117 найменувань. Додатки розміщено на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, визначено новизну та практичну цінність отриманих результатів і подано коротку характеристику роботи.

У першому розділі “Аналітичний огляд умов експлуатації сільськогосподарської техніки і конструкцій ротаційних пилевідокремлювачів” наведено результати аналізу систем обезпилення повітря в кабінах і конструкцій ротаційних пилевідокремлювачів. Розглянуті основні технологічні схеми обезпилення повітря із застосуванням ротаційних пилевідокремлювачів, а також намічені шляхи їх удосконалення.

Для очищення повітря від пилу застосовують різноманітні пилевідокремлювачі. Основними з них є фільтри і ротаційні лопатеві пристрої, які встановлюються в систему вентиляції кабін. Ротаційні пилевідокремлювачі менш громіздкі, не забиваються пилом, мають постійні продуктивність

і опір, не вимагають технічного обслуговування або заміни їх під час роботи.

У найбільш відомих роботах А.І.Перумова, А.П.Чернобровкіна, В.П.Хохрякова, В.А.Михайлова, Є.Г.Маслова, І.С.Роценкранца, Г.М.Харієнко та інших вчених розглядаються теоретичні дослідження щодо взаємодії лопатей ротора з потоком повітря і визначення геометричних параметрів ротора та осерадіального дифузора. Аналіз досліджень показав, що існуючі методи розрахунку параметрів роботи ротаційних пилевідокремлювачів недостатньо точні, не враховують весь комплекс явищ, які виникають в каналах ротора, пилезбірника, осерадіального дифузора і не дозволяють визначити їх оптимальні геометричні, кінематичні і енергетичні параметри. Тому подальше удосконалення систем вентиляції кабін сільгоспмашин доцільно проводити на основі застосування більш досконалих ротаційних пилевідокремлювачів. Визначені мета та основні задачі наукового дослідження.

У другому розділі “Теоретичні передумови дослідження ротаційного способу обезпилення повітря” розглянуто рух повітряних потоків в міжлопатевих каналах ротора і проведено аналіз процесу відокремлення часток пилу від потоку і виділення їх за межі ротаційного пилевідокремлювача.

Поступальна течія потоку I в міжлопатевому просторі ротора пилевідокремлювача (рис.1) спрямована від центра до периферії по радіусу, а згідно рівняння нерозривності потоку його швидкості зворотно пропорційні радіусу. Циркуляційна течія II обумовлена інерцією повітряного потоку, який намагається зберегти в межах кожного міжлопатєвого каналу своє положення в просторі і тому він обертається відносно ротора із швидкістю, яка приблизно дорівнює кутовій швидкості ротора, але має зворотній напрямок. Лінійні швидкості цієї течії розподілені прямо пропорційно відстані від центра обертання і на вході в міжлопатєві канали співпадають з напрямком колової швидкості ротора, а на виході мають зворотній напрямок. Ці обставини викликають явище скошу потоку (відхилення швидкостей від радіального напрямку) в бік обертання на вході і в зворотному напрямку на виході. Чим менше лопатей, тим менше закручується потік ротором. Циркуляційна течія III обумовлена різницею тиску на робочій і зворотній поверхнях лопаті і незначно зменшує швидкісний ефект течії II.

Рисунок 1. Змін відносної швидкості потоку повітря при обертанні ротора. Поєднання діаграм швидкостей цих трьох течій дає залежність, яка вказує на нерівномірний розподіл відносних швидкостей, як у зовнішніх перетинах каналів, а також на виході із ротора. Для дослідження руху часток в каналі ротора приймаємо циліндричну систему координат, у якої вісь ординат паралельна осі обертання ротора. Рух часток розглядається в системі координат, яка обертається разом з ротором.

На частку пилу в нормальному перетині каналу ротора діють такі основні сили (рис.2):

- відцентрова інерції: $\overline{F}_u = m \cdot \overline{\omega} \cdot [\overline{\omega} \cdot \overline{R}]$;
- коріолісова інерції: $\overline{F}_k = 2m \cdot [\overline{\omega} \cdot \overline{V}]$;
- аеродинамічного опору повітряного потоку, в якому рухається частка: $\overline{F}_c = 3\pi\mu d \overline{V}_c$,

де m – маса частки, кг;

ω - кутова швидкість обертання ротора, c^{-1} ;

R – поточна радіальна координата, м;

μ - динамічна в'язкість повітря, $H \cdot c / m^2$;

d – діаметр частки пилу, м;

V – швидкість руху частки в нормальному перетині каналу; м/с;

W_g – швидкість повітря, м/с;

V_c – швидкість сепарації, м/с;

Рисунок 2. Схема дії основних сил на частку в нормальному перетині каналу ротора ротаційного пилевідокремлювача

Із умов рівноваги системи сил, які діють на частку пилу одержимо слідує рівняння

$$m \cdot \bar{\omega} \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{R}] + 2m \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{V}] = -3\pi\mu d\bar{V} \quad (1)$$

Враховуючи масу сферичної частки, яка дорівнює

$$m = \rho_z \cdot \frac{\pi d^3}{6},$$

де ρ_z – щільність частки пилу, кг/м³,

після відповідних перетворень рівняння (1) матиме вигляд

$$\tau \bar{\omega} \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{R}] + 2\tau \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{V}] = -\bar{V}_c. \quad (2)$$

Так як $\Delta M_r = \left[1 + 0,5 \frac{U_z}{W} - 0,0004 \left(\frac{U_z}{W}\right)^2\right] \frac{\rho W^2}{2}$, а $\tau = \frac{\rho_z \cdot d^2}{18\mu}$ – величина часу релаксації, то після підстановки цих

значень рівняння (2) матиме вигляд

$$\bar{V} = \bar{W}_e - \tau \bar{\omega} \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{R}] - 2\tau \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{V}] \quad (3)$$

Враховуючи, що швидкість сепарації часток малих розмірів не може досягати великих значень, то складовою, яка пов'язана з V_c можна знехтувати, тоді рівняння (3) матиме вигляд

$$\bar{V} = \bar{W}_e - \tau \bar{\omega} \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{R}] - 2\tau \cdot [\bar{\omega} \cdot \bar{W}_e] \quad (4)$$

Рівняння (4) розв'язане графоаналітичним способом дає можливість побудувати траєкторії руху часток пилу в нормальному перетині каналу, якщо відомі напрямки і величини векторів в правій його частині.

Без урахування сили тяжіння, яка є достатньо малою величиною, диференціальне рівняння руху частки під дією відцентрової сили матиме вигляд

$$m \frac{dV}{dt} + F_c + F_y = 0 \quad (5)$$

Згідно закону Стокса сила аеродинамічного опору $F_c = 3\pi\mu dV$, а відцентрова сила $F_y = m \frac{U^2}{r}$,

де U – колова швидкість потоку, м/с;

r – радіус траєкторії руху частки пилу, м

Після підстановки цих величин і відповідних перетворень рівняння (5) матиме вигляд

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{\tau} - \frac{U^2}{r} = 0 \quad (6)$$

Взявши інтеграл рівняння (6) в межах $0 \dots t$, одержимо його у вигляді

$$V = \frac{\tau U^2}{r} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (7)$$

а після інтегрування і відповідних перетворень рівняння (7) отримаємо залежність

$$L = \frac{\tau U^2}{r} \cdot t + \frac{\tau^2 U^2}{r} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{U^2 \tau^2}{r}. \quad (8)$$

Рівняння (4) і (8) дають змогу при заданих значеннях часу і геометричних параметрів ротора визначати швидкість і шлях, який проходять частки пилу в міжлопатевому просторі ротора пиле-відокремлювача.

Аналіз рівняння (4) показує, що для зменшення впливу міжлопатєвого вихору на рух часток в нормальному перетині каналу необхідно зменшити величину модуля вектора \bar{W}_e . Для цього необхідно зменшити відстань a до центра вихору, тобто зменшити висоту лопатей і відстань між ними. Для ефективного використання відцентрової сили лопаті в основі ротора повинні установлюватись під кутом назад відносно напрямку колової швидкості ротора.

З метою уточнення мінімального діаметра часток пилу, які видаляються в пилезбірник, і впливу на процес обезпилення кінематичних і конструктивних параметрів ротора, фізико-механічних властивостей часток пилу і повітря, розглянемо ідеальний процес сепарації з певними допущеннями. Цей процес можна описати слідує рівнянням :

$$\frac{md^2 R}{dt^2} = m\omega^2 R - 3\pi d\mu \frac{dR}{dt}, \quad (9)$$

де R – координата знаходження частки пилу, м.
 t – час сепарації

Після необхідних перетворень і інтегрування даного диференційного рівняння отримаємо в кінцевому вигляді значення поточного радіуса R знаходження частки пилу в пилевідокремлювачі

$$R = R_1 e^{\frac{\omega^2 t}{2b}}$$

і час сепарації

$$t = \frac{2b}{\omega} \ln \frac{R}{R_1} \quad (10)$$

де

$$b = \frac{9\mu}{d^2 \rho}$$

Ці рівняння дозволяють розрахунковим способом визначити основні параметри ротаційного пилевідокремлювача в залежності від розмірів і фізико-механічних властивостей часток пилу. Вони придатні для використання широкого діапазону зміни режимних параметрів і параметрів пилу, чим і відрізняються від відомих в наукових працях других авторів.

Найбільші труднощі при знаходженні траєкторій руху часток пилу виникають при виявленні ліній току міжлопатевого вихору, тому що нормальний перетин каналу ротора являє собою складну геометричну фігуру і аналітичне визначення лінії току міжлопатевого вихору є складною задачею. Простіше в цьому випадку є застосування графічних методів з використанням аналогів знаходження ліній току. Наприклад застосування електрогідродинамічного аналога (ЕГДА)

Повний тиск H на виході із колектора очищеного повітря дорівнює сумі

$$H = H_m - \Delta H_\delta - \Delta H_\psi - \Delta H_\kappa - \Delta H_p \quad (11)$$

де ΔH_δ – втрати тиску на виході із ротора пилевідокремлювача, Па;

ΔH_ψ – втрати тиску на вході в канали ротора пилевідокремлювача, Па;

ΔH_κ – аеродинамічні втрати тиску в роторі пилевідокремлювача, Па;

ΔH_p – втрати тиску в дифузорі, Па.

Якщо прийняти, що канали ротора обертаються з максимальною коловою швидкістю U_2 , яка відповідає зовнішній частині ротора, чим компенсуються помилки прийнятої моделі визначення втрат, то отримаємо наступне рівняння для визначення аеродинамічних втрат в каналах ротора

$$\Delta H_p = \left[1 + 0,3 \frac{U_2}{W} - 0,004 \left(\frac{U_2}{W} \right)^2 \right]^2 \frac{\rho W^2}{2} \quad (12)$$

При однаковому перерізі по всій довжині проточної частини, при умові нерозривності потоку, маємо $\mathbf{W} = \mathbf{W}_i$. Після підстановки рівняння (12) в (11) і відповідних математичних перетворень і спрощень, отримаємо рівняння для визначення повного тиску на виході із колектора очищеного повітря:

$$H = \frac{\rho}{2} \left\{ [1 + k] U_2^2 - U_1^2 - W^2 \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{2R_2^2} - W^2 \cdot \left[1 + 0,3 \frac{U_2}{W} - 0,004 \left(\frac{U_2}{W} \right)^2 \right]^2 \right\} \quad (13)$$

Численний метод вирішення на ЕОМ отриманого рівняння дозволив встановити кількісні залежності між основними параметрами пилевідокремлювача R_1 , R_2 , n , Q , k , та їх вплив на повний тиск, а також експериментальні значення функції $H=f(Q)$.

Ефективність обезпилення визначається згідно відомих залежностей (К.Будинську) і залежить від площі нормального перетину каналу ротора S , яка обмежена основою конструкції ротора, встановленою на основі досліджень траєкторії руху частки, та формою поверхні лопаті.

У третьому розділі „Моделювання процесу руху пилеповерхняного потоку в каналі ротора за допомогою ЕГДА” наведено особливості моделювання на ЕГДА пилеповерхняних потоків в каналах ротора і методика аналізу отриманих результатів.

Для моделювання руху пилоповітряного потоку в каналах ротора пилевідокремлювача застосована установка ЕГДА, (рис.3), яка складається із моделі ротора і електроустановки.

Рисунок 3. Схема установки ЕГДА для визначення ліній токів між лопатевих вихорів:

1 – шина; 2 і 7 – вимірювальний прилад; 3 – щуп; 4 – джерело живлення струмом; 5 – лінія току вихоря; 6 – координатна сітка

Визначення ліній токів міжлопатєвого вихоря проводиться в два етапи. Перший етап заключається в знаходженні центра міжлопатєвого вихоря, а другий у визначенні ліній токів вихоря та побудові еквіпотенціальних ліній. Потім за допомогою ЕОМ визначаються величини $2r\omega W_e$, W_e та $\tau\omega^2 R$ в точках каналу з відповідними координатами для часток заданих розмірів. Величини і напрямки векторів $2\tau \left[\overline{\omega \cdot \overline{W}_e} \right]$, W_e і $\tau\omega \left[\overline{\omega \cdot \overline{R}} \right]$ наносяться у відповідному масштабі на профіль каналу (рис.3).

Після цього знаходимо в кожній точці каналу напрямок і величину вектора швидкості частки пилу \overline{V} . Через точки проводяться плавні криві так, щоб вектор швидкості \overline{V} завжди був дотичним до кривої. Отримана крива і є траєкторією руху в каналі ротора частки пилу заданого розміру. На основі цього з урахуванням конструкційних параметрів пилевідокремлювача визначається його ефективність. На рис.4 показана залежність ефективності пилевідокремлення від величин кута α нахилу лопатей назад та їх кількості z на роторі. При збільшенні кута нахилу ефективність пилевідокремлення також підвищується, але кут нахилу лопатей назад не повинен перевищувати кут природного схилу пилу. В протилежному випадку пил буде накопичуватись на поверхні лопатей і видалятися осьовим потоком очищеного повітря, забруднюючи його. Середня величина кута природного схилу пилу, який утворюється при виконанні сільгоспробіт, знаходиться в межах $22...25^\circ$, тому кут нахилу лопатей ротора повинен бути не більше $25...30^\circ$.

Рис.4. Залежність ефективності ротаційного пилевідокремлення від кута нахилу α лопатей назад та їх кількості на роторі z :

- з прямокутним профілем лопатей;
- - з лопатями, які мають виріз в середній частині.
- з лопатями які мають виріз $b=cf(l)$

При збільшенні кількості лопатей на роторі до 60 штук ефективність пилевідокремлення також підвищується. Подальше збільшення не підвищує якість пилевідокремлення, тому кількість лопатей на роторі доцільно мати в межах 60...70 штук.

Таким чином, за допомогою рівнянь (4;9;10) і моделювання на ЕГДА можна графоаналітичним методом оцінити ефективність пилевідокремлення не прибігаючи до великої кількості експериментальних досліджень.

Аналіз результатів проведеного моделювання підтвердив теоретичні дослідження, що траєкторія часток пилу розміром 1...3 мкм. близько співпадає з лініями току між лопатєвого вихоря, тому вони дуже погано відокремлюються від потоку. З метою повного виділення часток пилу розміром 3 мкм. і менше із потоку, необхідно висоту лопатей h в середині q частині ротора зменшити на $0,2 h$.

З урахуванням нової форми лопатей були змодельовані на ЕГДА траєкторії руху часток менших 3 мкм в каналі ротора з лопатями нахил яких складає 30° назад. Моделювання показало, що обмежені площини нормального перерізу каналу при новій формі лопатей зменшуються, а це призводить до підвищення ефективності пилевідокремлення, (рис.4).

Таким чином, нова форма лопатей з вирізом в середній частині дозволяє підвищити ефективність ротаційного пилевідокремлювача за рахунок кращого видалення часток пилу розміром менше 3 мкм.

З метою більш детального визначення форми вирізу лопатей і вплив його на якість обезпилення нами проведено моделювання на ЕГДА процесу руху часток пилу вздовж осі пилоповітряного потоку в проточній частині ротаційного пилевідокремлювача. Аналіз проведеного моделювання проточної частини ротаційного пилевідокремлювача показав, що в області пилезбірника еквіпотенціальні лінії мають S-подібне викривлення, висота якого зменшується від початку проточної частини до кінця. Наявність S-подібного викривлення вказує, що в пилезбірнику утворюються зворотні вихрові токи,

які зменшують відносну осьову швидкість потоку.

Рисунок .5. Модель проточної частини ротаційного пилевідокремлювача з вихорами зворотніх токів в пилезбірнику АС (abc – лінія зміни діаметра вихорів)

Наявність зворотніх вихорів в пилезбірнику створює позитивні умови для затримання пилу в пилезбірнику, але не на всій його довжині, тому що діаметр вихорів зворотніх течій відносної осьової швидкості зменшується від початку до кінця проточної частини.

Щоб підвищити ефективність пилевідокремлення очевидно є необхідним щоб зворотні вихорі на всій довжині проточної частини були однакові, тобто мали однаковий діаметр. Цього можна досягти, якщо профіль лопатей в їх верхній частині виготовити по формі, яка дзеркально відображає криву а в с (рис.5), що поєднує центри перетинів ліній токів відносних осьових швидкостей. Тоді на всій довжині проточної частини вірогідність попадання у вихрову зону часток пилу менших 3 мкм буде такою ж як і більших, що значно підвищить якість обезпилення потоку.

Аналіз результатів теоретичних розрахунків і проведеного моделювання на ЕГДА показав, що для підвищення ефективності пиловидалення часток пилу менших 3 мкм необхідно профіль верхньої кромки лопаті ротора виготовити з вирізом по формі кривої, яка відповідає функції:

$$b = c f(l) \quad \text{при } b \leq 0,2h,$$

де b – максимальний розмір вирізу, мм;

c – відношення відносної осьової швидкості потоку на кромці виріза до відносної осьової швидкості в порожнині пилезбірника;

l – активна довжина лопаті ротора, мм;

h – висота лопаті на вході потоку в канал ротора, мм.

Однією із умов мінімального попадання пилу є оптимальний перехід поверхні пилезбірника в осерадіальний дифузор. Аналіз результатів моделювання перерозподілу відносної осьової швидкості потоку в проточній частині пилевідокремлювача із створенням зворотніх вихрових течій в порожнині пилезбірника, з урахуванням кута природного схилу часток пилу, показав, що кут α нахилу прямої bc до вертикалі, який визначає перехід порожнини пилезбірника в осерадіальний дифузор, повинен бути не більше 25...30°. Якщо цей кут буде більше 30°, то в осерадіальний дифузор буде попадати багато пилу із пилезбірника, а якщо менше 25°, то пил буде накопичуватись на поверхні переходу порожнини пилезбірника в осерадіальний дифузор, що теж буде небажаним явищем.

В четвертому розділі наведена програма і методики експериментальних досліджень, описані експериментальна установка, умови проведення експериментів та застосована вимірювальна апаратура

Для проведення експериментальних досліджень були розроблені і виготовлені дослідні зразки роторів, які мали лопаті прямокутної форми, а також із вирізами. Лопаті на роторах мали змогу встановлюватись під різними кутами і кількість їх на роторі теж можна змінювати. Кількість лопатей на роторі змінювалась в межах від 60 до 70 штук, кут установки лопатей в основі ротора змінювали від нуля до 30°, а частоту обертання ротора від 2000 до 8000 хв.⁻¹ Експериментальні дослідження ротаційних пилевідокремлювачів в лабораторних умовах проводили на спеціально розробленому стенді (рис.6). При цьому визначали аеродинамічну, сепараційну та акустичну характеристики в залежності від основних параметрів пилевідокремлювача.

1

Рисунок 6. Стенд для дослідження ротаційного пилевідокремлювача:

1 і 2 – мікроманометр; 3 – приймач тиску; 4 – камера; 5 – трубка; 6 – дросельна заслінка; 7 – джерело живлення; 8 і 9 – пневмометричні трубки; 10 – мікроманометр;

11 – вимірювальна трубка; 12 – вимірювальний колектор; 13 – приймачі тиску;

14-пилевідокремлювач

Аеродинамічна характеристика пилевідокремлювача представлялась у вигляді залежностей між продуктивністю по очищеному повітрю Q , і повним тиском H , потужністю N , аеродинамічним ккд η .

Для визначення кількості повітря на викид пилу використовувались вимірювальні трубки з приймачами повного і статичного тиску. Носик трубки приймача повного тиску встановлювався по

осі трубки. Для вимірювання тиску в камері колектора використовувався мікроманометр ММН-240, для вимірювання тиску навколишнього повітря використовувався барометр-анероїд БАММ з класом точності 1,0. Для вимірювання частоти обертання ротора використовувався строботометр СТ-5. Режим роботи пилевідокремлювача змінювався поворотом дросельної заслінки, яка встановлена на виході із камери. Частота обертання ротора змінювалась від нуля до максимуму за рахунок зміни напруги на клеммах електродвигуна. Загальна продуктивність по очищеному повітрю, потужність, яку споживає пилевідокремлювач то його коефіцієнт корисної дії визначалися згідно відповідних залежностей

Крім визначення аеродинамічної характеристики пилевідокремлювача досліджувався також характер руху потоку повітря в проточній частині для оптимізації параметрів лопаті та кута установки її до основи ротора, кута переходу проточної частини в осерадіальний дифузор та інших параметрів.

Ефективність пилевідокремлення визначалась згідно методики наведеної в ГОСТ 8002-74.

У п'ятому розділі розглянуто вплив основних параметрів ротаційного пилевідокремлювача на швидкість руху пилоповітряного потоку в каналах ротора та осерадіального дифузора, продуктивність, тиск на виході потоку, аеродинамічний ККД, та наведено їх аналіз.

Як показали експериментальні дослідження перерозподіл відносної швидкості в каналах ротора призводить до зміни швидкості по перерізу на виході із осерадіального дифузора. Це явище призводить до створення зворотних течій потоку. Причому, нерівномірність розподілу швидкостей зростає при зменшенні продуктивності пилевідокремлювача. Це пояснити можна тим, що нерівномірний розподіл швидкостей на виході із каналів ротора є джерелом зародження вихорів і зворотних течій. Канал осерадіального дифузора, згідно компоновки пилевідокремлювача, обмежений по довжині і не дозволяє вирівнювати значення швидкостей по перерізу каналу.

Для зменшення зворотних течій потоку на виході із осерадіального дифузора встановлено, що він в цьому місці повинен бути ступінчасто-розширеним. Це призведе до того, що зони вихорів виштовхуються в область розширення каналу і гасяться в ньому (рис.7). Особливо це видно при збільшенні продуктивності пилевідокремлювача.

Рис.7. Розподіл швидкості потоку W , по ширині b на виході із осерадіального дифузора змінного перерізу

Аналіз отриманих експериментальних даних зміни швидкостей (відносної осьової U_0 , колової U_τ , радіальної U_r) вихрового повітряного потоку, в проточній частині ротаційного пилевідокремлювача, в залежності від зміни радіуса R ротора (рис.8), показує, що в зоні пилезбірника найбільший вплив має на процес сепарації колова швидкість U_τ , а це значно покращує відокремлення пилу і видалення його за межі пилевідокремлювача. У основі ротора також має місце підвищення швидкості потоку за рахунок осьової складової, що сприяє кращому переміщенню очищеного повітря в осерадіальний дифузор.

В середині проточної частини ротора на периферії лопатей і в зоні каналу видалення пилу спостерігається більш рівномірний розподіл швидкостей з перевагою колової складової, що також підвищує ефективність пилевідокремлення.

Рис.8. Зміна складових швидкості вихрового потоку U , U_0 , U_τ , U_r в залежності від зміни радіуса R ротора:

1 – зона лопаті ротора; 2 – зона пилезбірника

Втрати повітря на видалення пилу за межі пилевідокремлювача можна розглядати як витікання повітря із порожнини пилезбірника в якому підвищений тиск. Якщо уявити, що в порожнині пилезбірника підвищення тиску залежить тільки від відцентрових сил, то кількість повітря для видалення пилу можна розрахувати згідно рівняння

$$q = E \cdot \omega S_m \sqrt{R_2^2 - R_1^2}, \quad (18)$$

де $E=0,82...0,85$ – коефіцієнт який враховує зміну швидкості потоку через патрубок видалення пилу;
 S_m – площа отвору видалення пилу, м²;

R_1, R_2 – відповідно внутрішній і зовнішній радіуси ротора, м.

Експериментальні дослідження показали, що витрати повітря на видалення пилу при зміні продуктивності пилевідокремлювача та незмінній частоті обертання ротора складають 8...10%. Розрахункові і експериментальні дані практично співпадають до частоти обертання ротора 3500хв.⁻¹. При

збільшенні частоти обертання відхилення розрахункових даних від експериментальних також збільшується. Це пов'язано з тим, що при збільшенні частоти обертання ротора в порожнині пилезбірника збільшується доля динамічного тиску, перетвореного в статичний. Підвищення тиску в порожнині пилезбірника до тиску від відцентрових сил збільшує витрати повітря на видалення пилу.

Основні показники дослідних зразків та серійних пилевідокремлювачів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні показники ротаційних пилевідокремлювачів при продуктивності 200 м³/год

Марка пилевідокремлювача	Маса, кг	Споживана потужність, Вт	Ефективність очищення повітря, %	Витрати повітря на видалення пилу, %	Повний тиск, Па	ККД
ВПК-200	13,5	145	85-90	10-18	320	0,15
ГСКБ	10,5	35	82-85	38-41	105	0,03
ЦРВ-18	3,5	45	92-95	8-10	250	0,30
Уралвагонзавода	21,5	400	97-98	28-30	1300	0,18
Дослідний одноконсольний	3,5	40	95-98	7-9	250	0,32
Дослідний двохконсольний	6,2	90	95-98	8-10	520	0,35

Аналіз даних таблиці 1 показує, що дослідні зразки пилевідокремлювачів мають значну перевагу по аеродинамічним показникам і по масі. За рахунок удосконалення лопатей ротора і форми переходу в осерадіальний дифузор підвищилась ефективність обезпилення повітря. Цих результатів досягнуто в основному за рахунок видалення часток пилу менших 3мкм, яких в повітрі навколо працюючих сільгоспмашин значна кількість. Коефіцієнт корисної дії дослідних зразків пилевідокремлювачів більший майже на третину при однакових показниках питомої потужності. Так при продуктивності 400 м³/год двохконсольний пилевідокремлювач створює повний тиск 210 Па і споживає потужність 65 Вт при ККД-0,35.

Таким чином, дослідний зразок двох консольного ротаційного пилевідокремлювача для систем вентиляції кабін зернозбиральних комбайнів по аеродинамічним показникам і якості виконання процесу перевершує серійні аналогічного типу.

В шостому розділі “Дослідження у виробничих умовах і визначення економічної ефективності використання розробленого ротаційного пилевідокремлювача в системі вентиляції кабін зернозбиральних комбайнів” наведені результати випробувань двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача в умовах виробництва при застосуванні його для вентиляції і очищення від пилу повітря кабіни зернозбирального комбайна КЗС-9М “Славутич”. Дослідами у виробничих умовах встановлено, що концентрація пилу і кабіні на рівні зони дихання механізатора коливалась в межах 2,7...3,8 мг/м³ при продуктивності пилевідокремлювача по очищеному повітря 400 м³/год. Згідно санітарних норм допустима концентрація пилу в повітрі кабіни не повинна перевищувати 4 мг/м³.

Загальний економічний ефект від застосування експериментального ротаційного пилевідокремлювача в системі вентиляції кабіни зернозбирального комбайна КЗС-9М “Славутич” за рахунок покращення умов і безпеки праці механізатора та економії паливно мастильних матеріалів складає 96,27 грн. за рік на один комбайн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз систем вентиляції кабін сільськогосподарських машин показав, що серед пристроїв, які застосовуються для обезпилення повітря, яке надходить в кабіну, технологічно і економічно найбільш доцільно застосування осьових ротаційних пилевідокремлювачів або їх конструктивні комбінації. Але і вони не в повній мірі відповідають вимогам якості обезпилення і енергозбереження. Тому з метою їх удосконалення потрібно проведення додаткових досліджень.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено, що при русі потоку повітря в каналах ротора виникає особлива форма міжлопатєвого осьового вихорю (вихор Тейлора), який впливає на закон розподілу швидкостей в міжлопатєвому каналі ротора. Одержані аналітичні залежності, які дозволяють встановити закон розподілу цих швидкостей в каналах ротора і пилезбірника. Зменшення впливу міжлопатєвих вихорів на рух часток пилу сприяє зменшенню висоти лопатей і відстані між ними, а також установка лопаті в основі ротора під кутом назад відносно напрямку руху ротора.

3. Оптимальною межею зміни основних параметрів ротаційного пилевідокремлювачаслід вважати:

- висота лопатей ротора ($R_2 - R_1$) – 0,04...0,07м
- продуктивність – 400...500 м³/г (для двохроторного)
200...250 м³/г (для однороторного);
- напір на виході – 400...450 Па
(при коефіцієнті відновлення $k=0,4...0,5$);
- частота обертання ротора – 4500...5500 хв⁻¹.

4. На основі моделювання на ЕГДА процесу сепарації пилеповітряного потоку в між лопатевих каналах ротора встановлено, що лопаті ротора повинні мати нахил назад на кут 25...30° від вертикалі, а їх кількість становити 60...70 шт.

5. Конструкція двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача, розробленого на основі проведених досліджень, дозволяє при незначному збільшенні енерговитрат підвищити в два рази продуктивність по очищеному повітрю при вмісті в ньому пилу в межах допустимих норм.

6. Використання в системі вентиляції кабіни зернозбирального комбайна КЗС-9М “Славутич” двохконсольного ротаційного пилевідокремлювача, розробленого з урахуванням проведених досліджень, дозволяє покращити санітарно-гігієнічні умови праці механізатора, зменшити енергоємність процесу, спростити експлуатацію системи вентиляції і підвищити її надійність. При цьому загальний економічний ефект від впровадження складає 96,27 грн. за рік на один комбайн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бутко Д.А., Луценков В.Л., Воїнов М.Т., Мазілін С.Д. Організація охорони праці в сільському господарстві. Навчальний посібник. – Сімферополь: Бізнес – Інформ, 1998 – 368с.(автором виконано 25%)
2. Луценков В.Л., Бутко Д.А., Мазілін С.Д. Критерії оцінки виробничих небезпек. Навчальний посібник - Сімферополь: Бізнес – Інформ, 1996 – 224с. (автором виконано 30%)
3. Мазилин С.Д. Проблемы обеспыливания воздуха в системах вентиляции кабин сельскохозяйственных машин. Техника в с.х. производстве: Труды Таврической государственной агротехнической академии. Вып. 1, Т.2 – Мелитополь, ТГАТА, 1998 – с.134-137.
4. Мазилин С.Д., Роговой В.Д., Гвоздев А.В. Классификация ротационных пылеотделителей, применяемых в системах вентиляции кабин сельскохозяйственных машин. Техника в сельскохозяйственном производстве: Труды Таврической государственной агротехнической академии. Вып. 1, Т.2 – Мелитополь, ТГАТА, 1998 – с.29-36.
(автором виконано 60%)
5. Мазілін С.Д., Роговий В.Д., Мовчан С.І. Дослідження руху повітряних потоків у ротаційному пилевідокремлювачі системи вентиляції кабін сільськогосподарських машин./ Збірник наукових праць Кіровоградського технічного університету.: Техніка в сільськогосподарському виробництві., Вип.5, 1999 – с.203-209. (автором виконано 60%)
6. Мазилин С.Д. Обеспыливание воздуха в системах вентиляции кабин сельскохозяйственных машин./ Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Наукове видання. Вип.83, – 2000. – с.282
7. Мазилин С.Д., Гвоздев А.В., Роговой В.Д. Моделирование потоков в ротационном пылеотделителе систем вентиляции кабин сельскохозяйственных машин./ Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – 1999, №3 – с.190-194. (автором виконано 50%)
8. Роговой В.Д., Мазилин С.Д. Моделирование процесса сепарации пылевых частиц в ротационном пылеотделителе./ Труды Таврической государственной агротехнической академии: Техника в сельскохозяйственном производстве. Вып.1, Т.9, Мелитополь, 2000 –с.81-89.
(автором виконано 60%)
9. Мазилин С.Д. Измерение скоростей в проточной части ротационного пылеотделителя./ Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вып.1 , Т. 12 – Мелитополь: ТДАТА, 2000 – с.77-84.
10. Патент України № 517. Пристрій для очищення повітря. Автори Мазілін С.Д., Говздев О.В., Роговий В.Д. – Опубл. в бюл. №4 “Промислова власність” – 2000р.(автором виконано 25%)

АНОТАЦІЯ

Мазілін С.Д. “Обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів ротаційного пилевідокремлювача систем вентиляції кабін сільськогосподарських машин”. - Рукопис .

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11. – машини і засоби сільськогосподарського виробництва. Кримський державний аграрний університет .Сімферополь2002г.

Дисертація присвячена розробці змін конструкції, яка забезпечує найбільш повне очищення від пилу кабін сільгоспмашин. за допомогою ротаційного пилевідокремлювача та обґрунтування оптимальних його технологічних та конструктивних параметрів.

Виявленні недоліки існуючих систем обезпилення та запропоновані шляхи їх удосконалення з використанням ротаційного пилевідокремлювача. На основі теоретичних досліджень, а також досліджень за допомогою ЕГДА (електрогідродинамічної аналогії), визначена форма міжлопатевого осьового вихору, який впливає на закон розподілу швидкостей потоку. Визначені раціональні режими роботи ротаційного пилевідокремлювача в системі вентиляції кабін зернозбирального комбайну та основні його геометричні та кінематичні параметри. Запропонована методика визначення ефективності роботи ротаційного пилевідокремлювача в системі вентиляції кабін сільськогосподарських машин.

Ключові слова: ротаційний пилевідокремлювач, ротор, лопать, міжлопатевиий осьовий вихор.

АННОТАЦИЯ

Мазилин С.Д. “Обоснование технологических и конструктивных параметров ротационного

пылеотделителя систем вентиляции кабин сельскохозяйственных машин”. - Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства сельскохозяйственного производства. Крымский государственный аграрный университет г.Симферополь.2002г. Диссертация посвящена вопросам изменения конструкции, обеспечивающей наиболее полное очищение от пыли кабин сельскохозяйственных машин с помощью ротационного пылеотделителя и обоснованию его технологических и конструктивных параметров.

В работе предоставлен анализ путей загрязнения пылью воздуха кабин сельскохозяйственных машин и систем его обеспыливания. Выявлены недостатки существующих систем обеспыливания воздуха в кабинах сельскохозяйственных машин и предложены пути их совершенствования с использованием ротационного пылеотделителя. На основании теоретических исследований и исследований с помощью электрогидродинамической аналогии (ЭГДА), определены формы межлопастного осевого вихря (вихря Тейлора), который возникает при движении потока воздуха в каналах ротора и влияет на закон распределения скоростей потока. Представлены аналитические зависимости, которые позволяют установить закон распространения скоростей пылевоздушного потока в каналах ротора и пылесборника, а также математические зависимости для определения эффективности осаждения пылевых частиц на лопастях ротора и удаления в пылесборник в зависимости от их размеров, диаметра ротора, длины, формы и количества лопастей. частоты вращения ротора и производительности пылеотделителя. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлены рациональные режимы работы ротационного пылеотделителя в системе вентиляции кабины сельскохозяйственной машины и основные его геометрические и кинематические параметры. Предложено уравнение для определения полного давления воздуха на выходе из пылеотделителя и методика расчёта экономической эффективности использования ротационного пылеотделителя в системах вентиляции кабин сельскохозяйственных машинах.

Ключевые слова: ротационный пылеотделитель, ротор, лопасть, межлопастной осевой вихрь,

SUMMARY

Mazilin S.D. "Substantiation of technological and constructive parameters of rotational dust separator of agricultural machine cabin ventilation system". -Manuscript.

Thesis for candidate of technical sciences degree in speciality 05.05.11 -mechanization of agricultural production. Thesis is concerned with improving the quality of agricultural machine cabin air dedusting by means of rotational dust separator and substantiating its optimal technological and constructive parameters.

Agricultural machine cabin air dedusting ways and dedusting systems have been analyzed. Disadvantages of the existing air dedusting systems have been identified and ways of their improvement through the use of rotational dust separator have been offered. Form of interblade axis vortex affecting the flow velocity distribution law has been determined on the basis of theoretical research and research based on electrical hydrodynamic analogy. Rational operation modes of rotational dust separator in grain harvesting combine cabin ventilation system and the main geometric and kinematic parameters of dust separator have been defined. Method for determining efficiency of operation of rotational dust separator in agricultural machine cabin ventilation system has been offered.

Keywords: rotational dust separator, dust, rotor, blade, dust collector, interblade axis vortex, pressure, electrical hydrodynamic analogy.

Підписано до друку „_____” _____ 2002р

Формат 60 x 84 1/16. Об'єм 1 др. Арк.

Тираж 100 примірників.

Надруковано у типографії при Таврійській державній агро технічній академії м. Мелітополь. Тел. 2-12-84.