

**ВІДГУК**

**офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, професора  
кафедри агроінженерії і системотехніки Подільського державного  
аграрно-технічного університету,  
Котова Бориса Івановича на дисертаційну роботу  
Гаска Євгена Анатолійовича «Обґрунтування параметрів процесу  
очищення повітряного потоку ротаційним циклоном пересувних зернових  
сепараторів», що представлена до спеціалізованої вченої ради Д 64.832.04  
у Харківському національному технічному університеті сільського  
господарства імені Петра Василенка МОН України до захисту на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва**

**Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами**

Недостатня ефективність аспіраційних систем пересувних зернових сепараторів обмежує їх продуктивність та потребує удосконалення. Більшість пересувних зерноочисних машин мають пневмосепарувальні канали, які визначають якість та продуктивність їх роботи і залежать від ефективності пиловловлюючих пристроїв. Пиловловлювачі призначені для очищення запиленого повітряного потоку від легких домішок та пилу, щоб забезпечити нормовану запиленість обслуговуючої зони.

Серед пріоритетних питань щодо підвищення ефективності процесу очищення запиленого повітряного потоку від легких домішок та пилу є використання етапного очищення з проміжним відведенням дисперсних частинок, яке знайшло відображення в розробленому РЦ. Розроблена конструкція РЦ дозволяє підвищити ефективність процесу очищення запиленого повітряного потоку зі збільшенням продуктивності пересувних зернових сепараторів.

Подана до захисту робота спрямована на підвищення якості функціонування пересувних зернових сепараторів шляхом обґрунтування параметрів процесу очищення повітряного потоку ротаційним циклоном (РЦ) з багатодисковим доочисником.

Актуальність теми даної дисертації підтверджується тим, що 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 насіннєвих 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 ротаційним циклоном зернових сепараторів» (ДР № 0115 U 002723, 2015 – 2016 р.р.).

Таким чином, обґрунтування параметрів процесу очищення запиленого повітряного потоку і розробка РЦ з багатодисковим доочисника є перспективним завданням для розвитку технічних засобів післязбиральної обробки зерна.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, є достовірними, впливають із результатів дисертаційної роботи та належним чином обґрунтованими. Теоретичні та експериментальні дослідження проведені з використанням розроблених та відомих методик, з урахуванням літературних джерел та сучасної технічної інформації.

Відповідно до актуальності роботи, автором була поставлена мета та сформульовані задачі дослідження, послідовне вирішення яких дозволило інтенсифікувати процеси очищення запиленого повітряного потоку, обґрунтувати параметри РЦ з багатодисковим доочисником, впровадити його у серійне виробництво.

Висновки дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими, вони підтверджені необхідною кількістю експериментальних досліджень, котрі проведені як в лабораторних, так і в умовах тривалої виробничої експлуатації.

**Перший пункт** загальних висновків характеризує стан питання, аналіз проведених досліджень, обґрунтовує доцільність і високу ефективність моделювання руху запиленого повітряного потоку в РЦ, яке ґрунтується на динаміці фаз багатофазних середовищ з урахуванням проміжного відбору дисперсних частинок та доочищення повітряного потоку, що впливає з аналізу літературних джерел наведених в підрозділах 1.1 – 1.3.

**У другому пункті** обґрунтовано умови та параметри, побудовані рівняння руху багатофазного середовища, за допомогою яких визначена

ефективність очищення запиленого повітряного потоку в основній робочій зоні та зоні доочищення багатодискового доочисника. Визначено вплив параметрів РЦ, властивостей запиленого повітряного потоку на ефективність відділення дисперсної фази. Наведені результати ґрунтуються на теоретичних дослідженнях підрозділів 2.1 – 2.3 дисертаційної роботи.

**Третій пункт** присвячено розробці математичних моделей руху несучої фази запиленого повітряного потоку в розробленому РЦ; руху дисперсної фази запиленого повітряного потоку в розробленому РЦ пересувних зернових сепараторів. Встановлено закономірності зміни складових швидкостей дисперсних частинок і властивостей повітряного потоку, аналізом яких визначено ступінь впливу конструктивно-технологічних параметрів розробленого РЦ. Визначені кінцеві математичні вирази за допомогою яких доведено можливість перерозподілу дисперсних частинок та інтенсифікації процесу очищення запиленого повітряного потоку. Математичним моделюванням встановлено, що ефективність процесу очищення запиленого повітряного потоку на розробленому РЦ становить 85...92 %, що відображено у дослідженнях підрозділу 2.1, 2.2 дисертаційної роботи.

**У четвертому пункті** викладено результати експериментальних досліджень, отримані залежності складових швидкості повітряного потоку та дисперсних частинок легких домішок та пилу в робочих зонах розробленого РЦ з доочисником. Експерименти проведені за розробленими та типовими нормативними методами досліджень та випробувань. Встановлено вплив значущих параметрів розробленого РЦ на складові швидкості дисперсних частинок. Визначена допустима розбіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень щодо визначення ефективності процесу очищення запиленого повітряного потоку та гідравлічного опору розробленого РЦ з даними теоретичних досліджень, що підтверджує адекватність розробленого математичного моделювання у дослідженнях підрозділу 4,2 дисертаційної роботи.

**У п'ятому пункті** наведено результати теоретичного обґрунтування та експериментального визначення діапазонів варіювання гідравлічного опору розробленого РЦ в залежності від конструктивно-технологічних параметрів: значущих параметрів розробленого РЦ, кількості дисків та діаметру їх центрального отвору: 6...9 шт. та 0,02...0,03 м, відповідно. Наведено діапазон варіювання гідравлічного опору розробленого РЦ, який склав 130...180 Па, за визначених його раціональних параметрів значущих факторів. Дослідження стосуються підрозділу 2.4 дисертаційної роботи.

**Шостий пункт** стосується результатів проведення багатофакторного експерименту процесу очищення запиленого повітряного потоку, за яким визначено раціональні значення конструктивних параметрів розробленого РЦ: кут нахилу лопатей завихрювача  $\alpha = 17 \dots 22$  град; частота обертів ротора  $\Omega = 125 \dots 175$  рад/с; ширина відкриття жалюзі  $b = 12,5 \dots 17,5$  мм; кількість дисків доочисника  $n = 5 \dots 7$  шт; відстань між дисками в доочиснику  $h = 1,25 \dots 1,75$  мм. За визначеними параметрами ефективність очищення запиленого повітряного потоку розробленого РЦ складає  $90,7 \dots 90,8$  %, що встановлено у дослідженнях підрозділу 4.4 дисертаційної роботи і додатку Б.

**У сьомому пункті** відмічені результати виробничої апробації розробленого РЦ. Констатовано, що 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  $88 \dots 90,8$  %. Визначено, що інтенсифікація процесу очищення повітряного потоку за рахунок використання розробленого РЦ, обумовлює підвищення продуктивності пересувних зернових сепараторів на  $20 \dots 23,2$  %.

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

Наведений висновок ґрунтується на даних виробничої апробації розробленого РЦ, їх обробці та аналізу результатів, які наведені в підрозділах 5.1, 5.2 та підтверджені актами додатку Д.

Усі пункти висновків логічно впливають із результатів досліджень, проведених автором у дисертаційній роботі.

### **Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Результати досліджень, що складають дисертаційну роботу, достатньо повно викладено у 19 наукових працях, у тому числі: 9 статтях у спеціалізованих наукових виданнях України 3 статті у закордонних виданнях (з них 2 у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами; 5 тез у збірниках доповідей наукових конференцій. Автором отримано 2 патенти. Наведені публікації відображають основний зміст дисертації.

## **Відповідність автореферату основним положенням дисертації**

Автореферат дисертації відображає основний зміст роботи, її наукові положення та результати. Висновки автореферату і дисертації повністю ідентичні.

## **Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки та виробництва**

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що в роботі: обґрунтовано критерії ефективності процесу очищення запиленого повітряного потоку від легких домішок та пилу в розробленому РЦ, які враховують етапи основного очищення запиленого повітряного потоку та його доочистку; запропановано математичну модель у вигляді рівнянь руху двофазного запиленого повітряного потоку і визначені закономірності зміни складових швидкостей дисперсних частинок та повітряного потоку в основній робочій зоні і зоні доочистки розробленого РЦ, які враховують його фізико-механічні властивості та конструктивно-технологічні параметри РЦ; виконане комплексне обґрунтування параметрів розробленого РЦ з урахуванням раціональних значень коефіцієнтів очищення та гідравлічного опору, технологічних показників і фізико-механічних властивостей дисперсних частинок запиленого повітряного потоку.

Розвинуто наукові напрями: моделювання динаміки запиленого повітряного потоку, 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.

**Значущість результатів** досліджень для практики полягає у комплексному обґрунтуванні раціональних параметрів РЦ з багатодисковим доочисником, використання якого підвищує ефективність очищення запиленого повітряного потоку в робочих зонах роботи пересувних зернових сепараторів. Новизна запропонованої конструкції РЦ підтверджена патентами.

За результатами досліджень: розроблена нормативно-технічна документація нової конструкції РЦ на пересувних сепараторах типу ОВС і СВС; виготовлено дослідні зразки; проведена тривала апробація модернізованих сепараторів у виробничих умовах ТОВ «Маковій» м. Первомайськ Харківської області, навчально-дослідного поля ХНТУСГ ім. П. Василенка.

Встановлено, що загальний щорічний економічний ефект від використання модернізованих сепараторів склав 132 тис. грн. Виробнича перевірка розробленого РЦ, обробка результатів випробувань проведені спільно з фахівцями УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.

Розроблений РЦ підвищує ефективність процесу очищення запиленого повітряного потоку від легких домішок на 30...35 % (до 88...90,8 %) і збільшує продуктивність зернових сепараторів типу ОВС і СВС на 20...23,2 %, порівняно з існуючими.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому**

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 236 сторінок, у тому числі 5 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.

Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам, які ставляться до кваліфікаційних наукових праць.

**У вступі**, відповідно до вимог, обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрита сутність і стан наукового завдання, його значущість, викладено зв'язок роботи з науковими програмами встановлено об'єкт та предмет дослідження, відображено методи дослідження, сформульовані мета й основні завдання дослідження, визначено наукову і практичну цінність одержаних результатів.

**У першому розділі** виконано аналіз стану досліджень підвищення ефективності процесу очищення запиленого повітряного потоку, наведено огляд світових досліджень, класифікацію перспективних способів і конструкцій циклонів та аспіраційних систем.

Відмічено, що існуючі математичні моделі не розглядають запилений повітряний потік, як гетерогенне середовище з неоднорідною структурою. Окрім цього вони не дають можливості врахувати вплив проміжного відведення частинок дисперсної фази при основному очищенні та доочищенні повітряного потоку.

Зауваження до першого розділу:

- у першому розділі доцільно було узагальнити результати проведеного аналізу різних способів моделювання і визначити їх ступінь адекватності до реальних процесів.

**У другому розділі** наведено результати математичного моделювання руху запиленого повітряного потоку в робочих зонах розробленого РЦ.

Моделювання руху багатофазного запиленого повітряного потоку проведено ґрунтуючись на аналогії руху в'язких рідин і гетерогенних середовищ, що довели свою спроможність та точність. Моделювання процесу очищення запиленого повітряного потоку виконувалось за наступним алгоритмом: моделювання руху несучої фази – повітряного потоку; моделювання динаміки дисперсної фази запиленого повітряного потоку в розробленому РЦ; Моделювання процесу очищення повітряного потоку в багатодисковому доочиснику розробленого РЦ та розрахунок гідравлічного опору.

В результаті моделювання, за допомогою побудованих рівнянь руху двофазного запиленого повітряного потоку, встановлені закономірності зміни складових швидкостей дисперсних частинок і повітряного потоку в основній робочій зоні та зоні доочистки розробленого РЦ. Отримані вирази щодо визначення коефіцієнтів очищення основної робочої зони та зони доочищення запиленого повітряного потоку (формула 2.32, с.78 та формула 2.39, с.80), які враховують його фізико-механічні властивості та конструктивно-технологічні параметри РЦ.

Зауваження до другого розділу:

– доцільно вказати властивості частинок дисперсної фази для яких проведено математичне моделювання їх руху (рис.2.9 - 2.11, с.75, 77).

**У третьому розділі** наведено характеристику об'єктів, програму та методику експериментальних досліджень.

Дослідження інтенсифікації процесу очищення запиленого повітряного потоку виконували на експериментальному сепараторі, лабораторних установках. Відповідно до програми досліджень створено дослідний зразок з можливістю варіювання параметрів РЦ. Використано легкі домішки та пил пшениці, кукурудзи, соняшнику природних гранулометричних складів, для визначення характеристик яких застосовувались розроблені та базові методики, рекомендовані ДСТУ.

Представлені схеми, фотографії, технічні параметри приладів з умовами проведення експериментальних досліджень у достатній мірі відображають об'єкт дослідження та дають уявлення про обсяг запланованих робіт.

**У четвертому розділі** виконано оцінку збігу результатів теоретичних положень інтенсифікації процесу очищення запиленого повітряного потоку, підтверджено адекватність одержаних математичних моделей, шляхом реалізації експериментальних досліджень.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що за визначеними раціональними параметрами РЦ коефіцієнт очищення запиленого повітряного потоку від легких домішок та пилу складає  $\eta = 89 \dots 93,8 \%$ .

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

**У п'ятому розділі** представлено результати виробничої апробації модернізованих пересувних зернових сепараторів, які одержані на агропідприємствах спільно з фахівцями УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого.

Встановлено, що ефективність очищення запиленого повітряного потоку 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/м<sup>3</sup>, що не перевищує норми. Це обумовило збільшення завантаження та продуктивності зернових сепараторів на 20...23,2 %.

Зауваження до п'ятого розділу:

- доцільно надати зведену методику інженерного розрахунку параметрів процесу очищення запиленого повітряного потоку в пиловловлювачах аспіраційних систем пересувних зернових сепараторів.

### **Основні зауваження до дисертаційної роботи**

- 1) Перший розділ переобтяжено описом конструкцій пиловловлювачів, а аналіз наукових досліджень обмежено чотирма математичними моделями.
- 2) При моделюванні динаміки дисперсної фази в ротаційному циклоні при взаємодії частинки з вихровим (криволінійним) потоком на частинку діє також сила Кориоліса (прискорення). Нею можна знехтувати, але треба попередньо оцінити її величину.
- 3) Опір частинки з боку рухомого середовища за формулою (2.19) с.71 описано за «законом Ньютона», а не Стокса (сила опору Стокса пропорційна швидкості, а не квадрату швидкості обтікання. В рівнянні (2.23) використана саме сила Стокса, так, як розмір часток дуже малий, і величина  $Re$  незначна.
- 4) Лінійна апроксимація величини осьової швидкості від радіусу (відповідно рис 2.2)  $U_0(\tau)$  в рівнянні (2.35) значно підвищила б точність розрахунків, а заміна часу кутом переміщення (полярних координатах) – побудувати траєкторію руху частинок. Залежність тангенціальної швидкості в подальших дослідженнях не використовується.
- 5) При дослідженнях запропонованого циклону, враховуючи наявність обертального імпелера (крильчатки) бажано було б розглянути



взаємодію частинки з лопатями, так, як саме обертальний рух лопатей забезпечує «крутку» потоку з дисперсною фазою.

- б) Умови врахування відведення частинок через жалюзі при математичному моделюванні потребують уточнення. Крім того в експериментах вказується тільки розмір щілини між пластинами жалюзі, а кут нахилу їх не визначено.
- 7) При математичному моделюванні вводиться частота обертання завихрювача ( $\Omega_0$ ) і доочисника ( $\Omega_1$ ) (с.79,84) хоча ці елементи розміщено на одному валу.
- 8) При визначенні швидкості двофазного потоку між обертовими дисками слід враховувати товщину пограничного шару (с.86).
- 9) В експериментальних дослідженнях бажано було б визначити поле швидкості повітря в циклоні, для підтвердження прийнятих припущень теоретичних дослідів.
- 10) Якщо рівняння (4.1, с.126) розкодовано, то треба і розкодувати назву функції відгуку, розмірність факторних показників, межі в яких дійсне рівняння.
- 11) В роботі зустрічаються невдалі вирази і не стандартні терміни, відсутні деякі позначення величин, що входять у формули, друкарські похибки.

Наведені зауваження не утруднюють розуміння тексту, не знижують присутньої наукової новизни та практичної цінності роботи. За обсягом і змістом дисертація відповідає вимогам МОН України, які пред'являються до кандидатських дисертацій.

## **Висновок**

Дисертація Гаєка Євгена Анатолійовича «Обґрунтування параметрів процесу очищення повітряного потоку ротаційним циклоном пересувних зернових сепараторів», є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання інтенсифікації процесу очищення запиленого повітряного потоку.

Вказані недоробки не зменшують наукової та практичної цінності представленої дисертації.

Основні результати дисертації в достатній мірі опубліковано у фахових наукових виданнях України. Дисертація характеризується єдністю змісту та сучасною методологією проведених досліджень. Зміст автореферату у повній мірі відображає наукові положення та результати дисертаційної роботи, висновки у дисертації та її авторефераті повністю ідентичні.

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні та відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» постанови Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 р., які пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дисертація відповідає спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, а її автор, Гаєк Євген Анатолійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор кафедри  
агроінженерії і системотехніки

Подільського державного аграрно-  
технічного університету



Б.І. Котов