ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Котова Бориса Івановича на дисертаційну роботу Нестеренка Олександра Вікторовича «Обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу», яка подана до спеціалізованої вченої ради Д 23.073.01 Центральноукраїнського національного технічного університету на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

1. Актуальність теми досліджень

Виробництво зерна останні роки в Україні має важливе значення для її економіки і багато в чому визначає вектор аграрного розвитку країни. При цьому, важливою умовою є забезпечення необхідної якості продовольчого зерна, яка в більшій мірі залежить від ефективності його післязбиральної обробки. Зважаючи на те, що зерновий ворох після комбайнового збирання має різноманітну кількість домішок, які суттєво впливають на умови його зберігання та продовольчі кондиції зерна, задача ефективного і своєчасного їх відокремлення, є одною з ключових, які можна вирішити, в першу чергу, за рахунок підвищення технологічної ефективності роботи зерноочисних машин.

Повітряна сепарація зернових матеріалів є одним із найбільш поширених способів очищення зерна, адже її застосовування можливе як під час попереднього очищення так і при підготовці посівного матеріалу. Перевага пневмосепарації перед іншими способами очищення і сортування в універсальності: повітрям можна розділяти будь-яке зерно – від найдрібнішого до найкрупнішого. Але незважаючи на універсальні можливості, ефективність повітряної сепарації досить низька, особливо в виробничих умовах.

Тому конструктивні рішення, що базуються на основі підвищення ефективності взаємодії повітряного потоку з оброблюваним матеріалом при створенні нових або вдосконаленні існуючих конструкцій пневмосепараторів є актуальною науково-технічною задачею.

Одним з перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування живильних пристроїв, які за рахунок розшарування матеріалу та рівномірної подачі в канал сприяють вирівнюванні поля швидкостей повітряного потоку і

дозволяють зменшити опір повітря в робочій зоні сепарації. Тому дослідження, спрямовані на підвищення ефективності роботи пневмосепараторів шляхом розробки та вдосконалення нових живильних пристроїв пневмосепаруючих каналів є важливими і актуальними.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна.

Наведені в роботі наукові положення, висновки та рекомендації обґрунтовані теоретично та підтверджені експериментально. При обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з живильним пристроєм оригінальної конструкції використані елементи теоретичної механіки, диференціального і інтегрального обчислення. Розроблено програмне забезпечення теоретичного визначення якості процесу розділення в пневмосепараторі з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу із застосуванням елементів математичної статистики. Визначення впливу параметрів живильного пристрою на умови обробки зерносуміші відбувалось із використанням математичного моделювання.

Теоретичні дослідження і обробку експериментальних даних виконано за допомогою пакетів прикладних програм «MathCAD 15», «STATISTICA 10».

Проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність розробленої математичної моделі, та дозволили встановити раціональні параметри пневмосепараційного процесу, який забезпечує при питомому зерновому навантаженні до 900…1000 кг/дм·год ефективність очищення на рівні 86-88%, що відповідає вимогам до вторинного очищення зерна і в 1,4-1,6 рази перевищує показники роботи пневмосепараторів аналогічного призначення.

Положення дисертації обговорені на 18 наукових конференціях, зокрема на 5 міжнародних.

За результатами досліджень автором дисертації зроблено 9 основних висновків.

Перший висновок ґрунтується на основі аналізу сучасного стану наукових досліджень пневмосепарації зерна. В ньому означена важливість

наукової проблеми низької якості роботи пневмосепарації та запропонований перспективний напрямок її вирішення.

Висновок достовірний, про що свідчать дослідження проведені дисертантом.

В другому висновку обґрунтовані умови, що забезпечують рух зернового матеріалу при введенні в пневмосепаруючий канал при заданій швидкості її введення $v_в$ = 0,5…0,6 м/с. Встановлено, що швидкість введення $v_в$ = 0,5…0,6 м/с забезпечується довжиною розгінної ділянки направляючої гравітаційної кривої $L_р$ = 0,2 м, кутом її нахилу α = 33°, та радіусом дуги криволінійної ділянки r = 0,15 м.

Висновок підтверджується проведеним математичним моделюванням.

У третьому висновку стверджується, що виділення домішки під час контактного руху залежить від її часу та швидкості проходження через зернові шари, що змінюються в залежності від кута її контакту з зерном та місця встановлення верхньої точки жалюзійної стінки $h_{ж.в.}$. На основі отриманої закономірності також визначено місце встановлення верхньої точки жалюзійної стінки відносно I рівня введення.

Даний висновок підтверджується математичним моделюванням закономірностей руху легких часток у пневмоканалі, яке дозволило визначити траєкторії контактного руху легких домішок через вище розміщені зернові шари.

Четвертий висновок пов'язує питому продуктивність сепаратора з якісними показниками очищення зерна. Зокрема зазначається, що збільшення відстані між зерновими частинками понад два радіуса в горизонтальному напрямку сприяє підвищенню якості розділення матеріалу, але при цьому зменшується його продуктивність. При цьому наголошується, що при максимальній щільності розташування зерна в ПСК при шестирівневому введенні повнота розділення становить ε = 66,5%.

Достовірність висновку підтверджується проведеними розрахунками та математичним моделюванням закономірностей руху легких часток в пневмосепаруючому каналі при багаторівневому введенні, яке дозволило визначити повноту виділення домішок з кожного зернового шару.

У п'ятому висновку експериментально обґрунтовано область раціональних значень конструктивних параметрів запропонованого пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу оригінальної конструкції шляхом побудови статистичної математичної моделі, яка показує вплив факторів на ефект очистки та чіткість сепарації.

З огляду на обернено-пропорційний зв'язок критеріїв оптимізації, досягнення їх максимальних значень одночасно неможливе. Тому встановлені раціональні параметри процесу пневмосепарації, а саме: питоме навантаження на *i*–ий рівень живильника 250…350 кг/дм·год; міжрівнева відстань 30…40 мм; швидкість повітряного потоку 7,5…8 м/с; величина глибини каналу 100…110 мм.

Такі значення вибраних факторів дозволяють досягати максимальних якісних показників процесу, що знаходяться в межах агровимог до вторинного очищення зерна – повноти розділення $\geq 80\%$, чіткості сепарації $\leq 2{,}0\%$.

Висновок достовірний, оскільки при проведенні експериментальних досліджень та аналізі отриманих даних використовувались стандартні прилади та методи.

У шостому висновку експериментально підтверджено, що кількість рівнів і величина питомого навантаження на рівень живильного пристрою є взаємозалежними факторами. При цьому зазначено, що для їх раціонального вибору необхідно виходити з умови отримання максимальної продуктивності при оптимальних значеннях повноти розділення та кількості рівнів.

Приведені рекомендації найбільш раціонального встановлення кількості рівнів та величини питомого навантаження для різного ступеня очищення.

Достовірність висновку підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями для отримання яких використовувались стандартні прилади та методи.

Сьомий висновок дозволяє встановити ефективність застосування в конструкції пневмосепаратора живильного пристрою для багаторівневого введення зерна. В ході виробничих випробувань та порівняльних досліджень

встановлено, що використання живильного пристрою для багаторівневого введення зерна підвищує якісні показники сепаратора на 14…22%.

Достовірність висновку підтверджуються актами виробничих випробувань пневмосепаратора та результатами, які отримані в ході проведення експериментальних досліджень при застосуванні живильного пристрою для багаторівневого введення зерна з різною кількістю задіяних рівнів та різним питомим зерновим навантаженням на пневмосепаруючий канал.

Восьмий висновок дозволяє оцінити вплив вологості та засміченості на якість пневмосепарації. При цьому зазначено, що застосування багаторівневого введення дозволяє отримати підвищення повноти розділення зернового матеріалу на 13…16% (при вологості W = 20%) та на 12…18% (при засміченості τ = 40%) в порівнянні з традиційним способом введення.

Висновок достовірний, оскільки при проведенні експериментальних досліджень та аналізі отриманих даних використовувались стандартні прилади та методи.

Дев'ятий висновок дозволяє оцінити економічну ефективність від впровадження запропонованого пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна у виробництво.

Для споживача машини прогнозований річний економічний ефект від впровадження пневмосепаратора у виробництво складає 20477 грн. на одну машину в рік.

Висновок достовірний, оскільки для розрахунку економічної ефективності використовувалися стандартна методика, в якій враховані підвищення питомої продуктивності та зниження енергоємності сепаратора.

3. Повнота викладу матеріалів дисертації в наукових працях. В наведених у списку наукових праць автореферату роботах, опублікованих за темою дисертації, за номером 1 – проведено моделювання зернового шару в пневмосепаруючому каналі, досліджено оцінку впливу щільності розташування матеріалу в робочій зоні сепарації на опір повітряному потоку, виконано порівняльну оцінку енергоємності змодельованого процесу з реальним зерновим

матеріалом. В роботі 2 – проаналізовано сучасний стан технічних засобів для пневмосепарації зерна, проведено огляд живильних пристроїв та визначені перспективні напрямки інтенсифікації пневмосепарації зерна, а саме застосування в конструкції пневмосепараторів гравітаційних живильних пристрїв для багаторівневого введення зерна. В роботі 3 – проведено теоретичний аналіз роботи пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернової суміші та отримано залежності, які пов'язують якісні показники його роботи з основними технологічними параметрами. Роботи 4, 5 присвячені аналізу результатів експериментальних досліджень процесу пневмосепарації з багаторівневим введенням зернового матеріалу, які отримані шляхом проведення планування багатофакторного експерименту, встановлено вплив способу введення матеріалу на рівномірність поля швидкостей повітряного потоку та якісні показники сепарації. В роботі 6 наведені теоретичні умови щодо обґрунтування глибини каналу при одношаровому введенні зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал. Роботи 7 аналітично досліджено вплив параметрів напрямної поверхні живильного пристрою на швидкість введення зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал. В роботі 8 проведено теоретичний аналіз безконтактного руху домішок, отримано залежність їх часу перебування в каналі від його основних параметрів пневмосепаратора.

Таким чином, за результатами досліджень автором опубліковано 7 наукових праць у фахових наукових виданнях України та одну у закордонному виданні, які досить повно відображають основні положення дисертації. Технічну новизну підтверджують патенти України на корисні моделі, в яких описано нові технічні рішення розділення зернового матеріалу пневмосепаратором з живильним пристроєм для його багаторівневого введення. Повторення матеріалів досліджень у різних працях немає.

4. Значущість для науки та практики одержаних автором результатів. Автором вирішено наукове завдання по обґрунтуванню конструктивно-технологічних і режимних параметрів процесу пневмосепарації із новою конструкцією робочого органу, що забезпечує за комплексом показників підвищення якості очищення зерна.

Розроблені математичні моделі переміщення домішок по зерну у повітряному потоці в умовах багаторівневого введення матеріалу, на основі яких обґрунтовано раціональні параметри вдосконаленого пневмосепаратора з живильним пристроєм, який має багаторівневе розташування напрямних кривих.

Значущість теоретичних розробок полягає в аналітичному розв'язку диференціальних рівнянь, що складають детерміновану математичну модель процесів, які відбуваються в пневмосепараторі з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна. Отримані кінцеві формули дозволяють визначати параметри які не можливо виміряти прямим шляхом.

Експериментальним методом на основі теорії планування експериментів отримані статичні моделі які дозволили виявити і кількісно оцінити закономірності впливу конструктивно-технологічних та режимних параметрів вдосконаленого пневмосепаратора на якісні показники його роботи: ефективність очистки та чіткість сепарації.

Практична значущість дисертації полягає в тому, що на підставі проведених досліджень обґрунтовано раціональні параметри та режими роботи пневмосепаратора зерна з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу.

5. Шляхи використання результатів досліджень.

Автором зроблений аналіз основних шляхів використання результатів роботи. Практичний інтерес викликають запропоновані розробки (математичні моделі розділення зернового матеріалу повітряним потоком з урахуванням контактної взаємодії легких домішок та зерна в умовах багаторівневого введення матеріалу та алгоритм розподілу кінематичних характеристик домішок, залежно від їх точки контакту з зерном), які можуть бути рекомендованими для впровадження у виробництво як на етапі проектування нових, так і під час модернізації існуючих пневмосистем зерноочисних машин.

Розроблена технічна документація на виготовлення пневмосепаратора та надана рекомендація щодо його впровадження у виробництво. Дійсно, запропоновані пневмосепаратори відповідають вимогам для вторинного

очищення зерна основних сільськогосподарських культур. Результати досліджень можуть бути використані у навчальному процесі.

6. Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.

Зміст представленого автореферату достатньо повно відображає основні положення дисертації, а саме дає уявлення про зміст роботи, містить її характеристику та висновки. В авторефераті наведено список праць за темою роботи із зазначенням внеску автора у працях, написаних у співавторстві, а також висвітлені анотації в необхідному обсязі. Зміст, обсяг та оформлення автореферату відповідає вимогам ВАК. Висновки наведені в авторефераті і дисертації ідентичні.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому.

Представлена дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Роботу викладено на 201 сторінці, з них 146 сторінок основного тексту, на яких розміщено 60 рисунків, 8 таблиць та 9 додатків. Список використаних джерел складається із 125 найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено об'єкт і предмет досліджень та зазначено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів та особистий внесок здобувача. Наведено інформацію про апробацію і публікації результатів досліджень, структуру і обсяг дисертаційної роботи.

В першому розділі проведено огляд технічних засобів та живильних пристроїв для пневмосепарації зерна, проаналізовано основні результати досліджень попередників щодо розділення зернових сумішей за аеродинамічними властивостями, на основі чого обґрунтовано технологічну схему пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу, який встановлений в вертикальний пневмосепаруючий канал.

В другому розділі проаналізований процес розділення зернового матеріалу пневмосепаратором, який автором умовно поділено на три етапи.

Зазначається, що обґрунтування параметрів системи на кожному етапі перебігу процесу дозволить забезпечити оптимальні умови розділення матеріалу.

В зв'язку з зазначеним вище проаналізовано процес подачі матеріалу до вертикального повітряного каналу по напрямним поверхням живильного пристрою. З врахуванням раціональних значень швидкості введення зернового матеріалу пшениці 0,5…0,6 м/с визначені параметри гравітаційної напрямної кривої живильного пристрою, яка повинна мати довжину розгінної ділянки 0,2 м, кут нахилу 33° і радіус дугоподібної білянки 0,15 м.

З метою визначення впливу параметрів пневмосепаратора на якісні показники розділення зернового матеріалу розглянуто контактний рух домішок та зерна в пневмосепаруючому каналі за умови багаторівневого введення матеріалу. В результаті отримані закономірності, які дозволяють визначити залежність часу та швидкості проходження домішок за умови багаторівневого введення матеріалу від: радіусу зерна, швидкості введення, середньої швидкості повітряного потоку, а також коефіцієнту парусності компонентів зернового матеріалу.

Практичний інтерес викликає приведена в роботі методика теоретичного визначення якості пневмосепарації за умови контактного руху частинок зернового матеріалу. Автором було отримано кількісний розподіл домішок в робочій зоні за умов багаторівневого введення зернового матеріалу в результаті якого отримано залежність їх висоти підйому від точки їх контакту з зерном. За допомогою програми Mathcad на основі отриманого алгоритму розподілу визначено залежність вмісту домішок в очищеному зерні для кожного рівня введення.

В третьому розділі складено і розроблено програму і методику експериментальних досліджень процесу очищення зерна пневмосепаратором з живильним пристроєм для багаторівневого введення зернового матеріалу та виготовлено експериментальну установку. Для проведення експериментальних досліджень використовувались стандартні прилади і методи. Програмою експериментальних досліджень передбачалось: визначити основні фізико-механічні властивості дослідної партії зернового матеріалу; дослідити вплив щільності розташування зернового матеріалу на опір ПСК; встановити вплив основних параметрів сепаратора на якісні показники процесу пневмосепарації;

дослідити вплив засміченості і вологості зернової суміші на технологічні показники сепарації; визначити аеродинамічну характеристику ПСК при багаторівневому введенні зернового матеріалу і отримати порівняльну характеристику вдосконаленого та традиційного способу введення.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень, виконаних автором та їх аналіз. Результати експериментальних досліджень впливу основних параметрів сепаратора на показники якості процесу представлено математичними регресійними моделями залежностей характеристик процесу сепарації від параметрів процесу та графічними матеріалами у вигляді поверхонь відгуку та ліній рівного виходу значимих показників від режимних параметрів процесу. Проведено перевірку адекватності математичних моделей за даними експериментальних досліджень.

Для більш детального аналізу експериментальних даних безпосередньо по кожному з факторів розглянуто їх індивідуальний вплив на критерії оптимізації та визначенні раціональні значення.

Проведені дослідження впливу засміченості та вологості на якісні показники сепарації показали можливість ефективного застосування запропонованого пневмосепаратора при різному ступені очищення зерна.

Проведені порівняльні дослідження пневмосепаратора з живильним пристроєм при різних способах завантаження каналу підтвердили ефективність проведеного вдосконалення.

У п'ятому розділі проведено інженерне проектування пневмосепаратора з живильним пристроєм для багаторівневого введення зерна, викладені його переваги під час проведення розрахунків економічної ефективності від впровадження у порівнянні із пневмосепаратором А1-БМС-6.

Визначена економічна ефективність впровадження розробленого пневмосепаратора, яка становить 20477 грн. для споживача з кожної машини на рік. Розрахунок техніко-економічних показників здійснювався за методикою, викладеною у ДСТУ 4397:2005 «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування».

Сформульовані висновки в повному обсязі відображають зміст роботи.

В цілому дисертаційна робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» і містить цінні науково обґрунтовані результати досліджень, що направлені на підвищення продуктивності та якості, а також зниження енергоємності процесу очищення зернових сумішей.

Роботу виконано на достатньому науковому рівні. Мета і задачі досліджень сформульовані чітко. Кожний розділ дисертації має логічне викладення, висновки попереднього розділу слугують базою для подальших розділів роботи.

Висновки до дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані. Рукопис і автореферат викладено грамотно, без суттєвих помилок, що дозволяє об'єктивно оцінити зміст проведених досліджень і одержаних результатів.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

8. Зауваження по дисертації

1. При дослідженнях руху частинки по похилій та дугоподібній поверхнях в рівняннях не враховано силу опору повітряного середовища.
2. Не зовсім зрозуміло чому кут нахилу прямої ділянки живильника обмежено 30-36°, а кут сходження частки не змінюється в дослідах.
3. Швидкість введення частки в повітряний потік 0.5-0.6 м/с, невідомо як визначена; чи її величина однакова для зерна і домішок?
4. Припущення, що в рівняннях руху (друге рівняння системи 2.13) $\dot{x} = 0$, приводить до лінійного збільшення швидкості руху частки з часом.
5. При реалізації припущення, що траєкторії руху частинок зерна мають найменше відхилення від горизонталі (стор. 55) необхідно збільшувати швидкість сходження з поверхні живильника, а при цьому збільшиться переміщення домішок в напрямку ОХ (до стінки); як це взаємопов'язано потребує роз'яснень.

6. Оскільки домішки «фільтруються» крізь рухомий шар зерна, величину k_o доцільно визначати за швидкістю витання в умовах стисненого руху, через величину пористості або концентрації твердої фази. Цю величину можна було б отримати на експериментальній установці, де стиснення потоку моделюється розміщенням труб в каналі (Рис. 3.3).
7. Однаковий характер теоретичних і експериментальних кривих залежностей повноти розділення від питомого навантаження, та їх суттєве відносне зміщення, (на графіках Рис. 4.24) свідчіть про неврахування дії певного фактора в теоретичних дослідженнях (наприклад залежність коефіцієнта розрідженості від параметрів матеріалу і процесу).
8. Не зрозуміло доцільність проведення двох 4-х факторних експериментів замість одного 6-ти факторного, який є більш інформативним (підрозділ 3.7).
9. Не пояснено за яким критерієм визначено області «раціональних» значень швидкості повітря 7.5-8м/с.
10. Що до висновку про неможливість одночасного досягнення максимальних значень показників якості процесу: – повноти виділення і мінімальних втрат зерна (Рис. 4.17), то треба керуватись максимальним ступенем очищення (основний показник призначення), а не втратами зерна з домішками (як правило, – це неповноцінне зерно).
11. На графіках типу Рис. 4.14 – 4.16 слід вказувати при яких фіксованих параметрах (режимах) вони отримані, щоб визначити раціональні режими процесу при яких досягається ефект очищення.
12. В тексті дисертації зустрічається стилістично невдалі вирази, неточні формулювання, та інші друкарські огріхи.

Відмічені зауваження не мають принципового характеру, суттєво не впливають на практичну і наукову значущість проведених досліджень.

Висновок по дисертації.

Оцінюючи зміст дисертації в цілому можна відзначити, що всі задачі досліджень розв'язані і знайшли відображення у висновках. Слід також

підкреслити, що в роботі досить грамотно, послідовно, логічно і аргументовано викладено зміст та результати досліджень.

Дисертацію можна вважати цілком закінченою науко-дослідною роботою яка має певну наукову цінність, теоретичне і практичне значення, вирішує задачі відповідно до мети виконання цієї роботи. Дисертація **Нестеренка Олександра Вікторовича** є завершеною науковою працею, в якій обґрунтовані параметри процесу певмосепарації при застосуванні багаторівневого введення зернового матеріалу та розв'язане наукове завдання підвищення якості очищення зерна.

Вказані недоліки не знижують наукового та практичного рівня дисертаційної роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку вцілому.

Зміст і структура дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» та вимогам п.11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. за №567, а її автор, **Нестеренко Олександр Вікторович**, заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету — Б.І. Котов

Підпис д.т.н., проф. Котова Бориса Івановича засвідчую

Особистий підпис засвідчую

Начальник відділу кадрів ВНАУ

Вінницький національний аграрний університет Відділ кадрів