

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Бажана Ігоря Миколайовича**

на тему: «**Обґрунтування параметрів плоского коливального решета**», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування

Галузь знань 13 Механічна інженерія

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Виробництво зерна є стратегічною галуззю агропромислового комплексу України, щорічне виробництво зернового збіжжя у якому сягає більш ніж 60 млн. т. Понад 85-90% зібраного збіжжя – це повноцінне зерно основної культури, однак решту складають домішки різноманітного походження, що зазвичай, мають велику вологість і роблять зерновий матеріал непридатним до тривалого зберігання та реалізації без попередньої поетапної обробки.

Якісне зерно повинно відповідати вимогам чинного стандарту, який є жорстким щодо вмісту смітцевої домішки. Разом з тим, практичний вимір різниці у цінній надбавці 200–400 грн./т за підвищення зерна в класі, в масштабі середнього фермерського господарства – суттєвий річний фінансовий ефект. Таким чином, підвищення ефективності післязбирального очищення є одночасно агротехнічним, технологічним і комерційним завданням першорядної важливості.

Здобувачем встановлено, що одним з недостатньо невикористаних резервів серійних плоских пробивних решіт є геометрія самих полотен, при незмінній кінематиці приводу і відсутності додаткових пристроїв. Виявлено принциповий конструктивний недолік – «мертві зони» над поздовжніми перетинками при паралельному розташуванні осей отворів. За таких умов теоретично досяжна ймовірність потрапляння часток в зону можливого просіювання не перевищує 50–60%, що є суттєвим обмеженням ефективності решітного очищення.

Таким чином, з урахуванням викладених положень та отриманих результатів, тема дисертаційного дослідження є беззаперечно актуальною, науково обґрунтованою та такою, що має вагоме теоретичне і практичне значення.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами

Дисертаційні дослідження виконані на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету в ході реалізації науково-дослідної роботи за темою: 0110U002143 «Підвищення ефективності роботи завантажувально-сепаруючих органів зерноочисних машин». Тема роботи відповідає Цілям сталого розвитку України до 2030 року, Державній стратегії регіонального розвитку України на 2021–2027 роки та Стратегії розвитку Кіровоградської області на 2021–2027 роки.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертації визначена чітко та відповідає рівню завершеної наукової роботи. Серед ключових результатів роботи, що забезпечують її новизну, слід виділити наступні:

– автором отримано аналітичний вираз залежності ймовірності проходження зернової частки крізь отвір від кута його нахилу, що дає змогу створювати ефект усунення мертвих зон над поздовжніми перемичками решета з продовгуватими отворами, відхиленими відносно вісі решета;

– розроблені регресійні статистичні моделі, які описують ефективність решітної сепарації залежно від питомої подачі, частоти коливань та кута нахилу отворів і дозволяють визначити їх оптимальні параметри;

– удосконалено теорію руху зернової частки по поверхні коливального решета з зигзагоподібним розташуванням отворів, що встановлює взаємозв'язок між швидкістю та переміщенням зерна; теорія побудована на основі детермінованої математичної моделі та розширює розуміння закономірностей поведінки частинок на сепаруючих поверхнях.

Наукові положення, винесені на захист, сформульовані чітко, мають логічну взаємозалежність і підкріплені як теоретичними розрахунками, так і даними лабораторних і виробничих випробувань.

4. Наукове та практичне значення

Запропоноване технічне рішення характеризується поєднанням високої ефективності з технологічною простотою реалізації: його впровадження передбачає виключно модернізацію штампувального оснащення без необхідності зміни матеріалу робочого полотна, режимів термічної обробки, конструктивних особливостей агрегату або його кінематичної схеми. Такий підхід забезпечує можливість масштабування рішення на широкий клас зерноочисних машин, обладнаних плоскими коливальними решетами.

Очікуваний річний економічний ефект для господарства із посівною площею пшениці 100 га становить близько 138 тис. грн, при цьому строк окупності інвестицій (у межах 15–20 тис. грн) оцінюється в 3–4 місяці виробничого періоду. Основним чинником економічної доцільності є підвищення якості зерна з другого до першого класу.

Практичну апробацію результатів підтверджено переданням конструкторської документації до ТОВ «ТЕХНОПОЛЬ», впровадженням розробки в освітній процес ЦНТУ за спеціальностями «Агроінженерія» та «Галузеве машинобудування», а також наявністю відповідних актів виробничих випробувань.

Таким чином, рівень практичної значущості та ступінь впровадження отриманих результатів відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня – доктор філософії.

5. Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях

Результати дослідження відображено у 10 наукових публікаціях: 4 статтях у фахових виданнях, 5 тезах доповідей на міжнародних і

всеукраїнських науково-практичних конференціях, а також 1 патенті України на корисну модель.

Апробацію отриманих результатів проведено на 8 конференціях різного рівня, серед яких – міжнародні наукові заходи у Великобританії та Польщі.

Обсяг і рівень публікацій відповідають встановленим вимогам.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень

Теоретичні дослідження дисертації охоплюють два самостійних і взаємопов'язаних напрями: (а) геометрично-ймовірнісне моделювання процесу потрапляння прохідної частки у площину отвору; (б) динамічне моделювання руху зернової частки по поверхні коливального решета із зигзагоподібно розміщеними отворами.

У рамках першого напрямку здобувачем аналітично доведено, що поворот осей отворів на кут β збільшує повну поперечну проекцію отвору до величини $b_0 \cdot \cos\beta + l \cdot \sin\beta$. Встановлений критичний кут $\beta_{кр} \geq 4,6^\circ$ (для $l = 25$ мм, $b_0 = 2$ мм) є умовою, за якої поперечні проекції суміжних отворів перекриваються, а ймовірність потрапляння частки у зону дії хоча б одного отвору зростає від 50–60% до гарантованих 100% незалежно від поперечного положення частки на решеті. Математичне виведення виконано коректно із застосуванням апарату аналітичної геометрії.

Динамічна модель руху зернової частки по поверхні решета враховує кінематику плоскопаралельного руху решітного стану, силу тяжіння, нормальну реакцію опори та силу тертя ковзання. Встановлений раціональний діапазон кута напрямку коливань при куті тертя $\varphi = 21^\circ$ і кутах відхилення $\beta = 0-10^\circ$ фізично обґрунтований та узгоджується з відомими даними для серійних конструкцій.

Особливої уваги заслуговує теоретично обґрунтоване положення про те, що зигзагоподібна схема розміщення отворів практично не впливає на величину «живого» *перерізу* решета порівняно з традиційною конфігурацією за умови збереження однакових розмірів і кількості отворів. Отже,

запропоноване рішення не супроводжується виникненням побічних негативних ефектів.

Для перевірки теоретичних гіпотез розроблено коректну програму та методику досліджень на базі лабораторного сепаратора Petkus Wutha K 294A. Методологічною основою є центральний композиційний план другого порядку (ЦКП 2^3 + зіркові точки) – стандартний і широко апробований метод для задач такого рівня.

Дослідні зразки решітних полотен виготовлено з кутами, що забезпечують необхідне перекриття досліджуваного діапазону. Повний план ЦКП реалізовано у 20 дослідах з триразовим повторенням кожної точки. Відтворюваність підтверджено за критерієм Кохрена, значущість коефіцієнтів регресії – за t-критерієм Стюдента, адекватність моделей – за F-критерієм Фішера. Статистична обробка виконана у STATISTICA 12.

Встановлені регресійні моделі другого порядку адекватно описують поверхні відгуку. Оптимізація за методом функції бажаності Харрінгтона дозволила визначити раціональні параметри системи.

Таким чином, обґрунтованість наукових положень роботи не викликає сумнівів.

7. Структура та зміст дисертації, її завершеність і відповідність встановленим вимогам щодо оформлення

Дисертація містить вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список літератури (135 джерел, з яких 25 – іноземною мовою) та додатки. Загальний обсяг роботи становить 249 сторінок, із яких 192 відведено під основний зміст. До роботи включено 37 рисунків і 20 таблиць.

Структура дисертації побудована логічно: зміст кожного розділу відповідає поставленим завданням, а матеріал викладено послідовно й аргументовано.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, встановлено її зв'язок із сучасними потребами аграрного виробництва та переробки, окреслено

напряму дослідження. Чітко сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет роботи, охарактеризовано застосовані методи, розкрито наукову новизну, практичне значення та апробацію результатів.

Перший розділ присвячено критичному огляду існуючих методів і засобів сепарування зернових матеріалів, а також аналізу здобутків вітчизняних і зарубіжних науковців у сфері підвищення ефективності решітного розділення. На підставі проведеного аналізу автор сформулював наукову гіпотезу щодо можливості розкриття потенціалу класичних пробивних решітних полотен і окреслив завдання, що підлягають теоретичному й експериментальному вирішенню.

У другому розділі викладено теоретичну частину дослідження. На початковому етапі вирішено імовірнісну задачу, що підтвердила гіпотезу про можливість підвищення ефективності плоских коливальних решіт шляхом зигзагоподібного розміщення отворів. Далі з використанням детермінованого математичного апарату розроблено і розв'язано задачі руху частки по нерухомому та коливальному решету з поздовжньо відхиленими продовгуватими отворами.

Третій розділ охоплює програму й методику експериментальних досліджень – основні етапи та складові емпіричного визначення конструктивних і технологічних параметрів запропонованого решета. Наведено докладний опис лабораторного обладнання та методик проведення дослідів, що забезпечує достовірність отриманих результатів.

У четвертому розділі узагальнено результати лабораторних експериментів з визначення конструктивних і технологічних параметрів та підтверджено збіжність дослідних даних із теоретичними. Побудовано статистичну математичну модель процесу сепарації на оригінальному решеті, доведено її відтворюваність та адекватність. Встановлено вплив питомої подачі, частоти коливань і кута відхилення отворів на ефективність розділення зернового вороху, а також вплив засміченості й вологості матеріалу на якість очищення.

П'ятий розділ містить результати виробничої перевірки оригінальних рішень у порівнянні з серійними зразками в реальних умовах фермерських господарств на свіжозібраному зерні. Наведено техніко-економічне обґрунтування впровадження та підтверджено підвищення якості очищення основних зернових культур.

У **висновках** узагальнено результати виконаних досліджень, які повною мірою відповідають поставленій меті та визначеним завданням роботи. Вони мають логічно завершений і цілісний характер, відображають наукову новизну одержаних результатів і їх практичну цінність, а також містять обґрунтовані рекомендації щодо ефективного впровадження та використання розроблених рішень.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Попри загалом високу оцінку представленої роботи, сформувався ряд питань, які потребують ґрунтовного роз'яснення та доцільного врахування в подальших дослідженнях:

1. У оглядовому розділі дисертантом акцентовано увагу переважно на аналізі технологічного процесу функціонування решітних станів, тоді як конструктивному виконанню безпосередньо робочих органів та їх особливостям приділено уваги недостатньо. Крім того, для об'єктів оцінки бажано здійснювати порівняльну показників технологічної ефективності різних решітних поверхонь.

2. У розробленій математичній моделі динаміки руху частинки по поверхні решета використано спрощувальне припущення, згідно з яким розглядається переміщення одиничної непрохідної частки без урахування міжчастинкової взаємодії, шарової структури потоку та присутності прохідних фракцій. Таке допущення, хоча й забезпечує аналітичну зручність, певною мірою обмежує репрезентативність моделі та звужує сферу її практичного застосування, особливо за умов реальних багатокomпонентних сипких середовищ.

3. На рис. 2.5 наведено розрахункову схему руху непрохідної частинки, де для сили $F_{ш}$ прийнято напрям, протилежний додатному напрямку осі X. У формулі (2.9) це враховано через від'ємне значення її проєкції. Водночас за умов коливального руху робочої поверхні переміщення зернового шару має змінний, реверсивний характер, що супроводжується періодичною зміною напрямку відносного руху. За таких обставин напрям сили опору не може вважатися сталим і повинен визначатися відповідно до миттєвого напрямку швидкості частинки відносно поверхні. Це потребує додаткового обґрунтування прийнятого знаку сили $F_{ш}$ або уточнення математичного опису з урахуванням змінності кінематичних умов руху.

4. У процесі експериментальних досліджень недостатньо повно висвітлено вплив кута нахилу решета та амплітуди його коливань на ефективність сепарації. Водночас зазначені параметри є визначальними для перебігу процесу, тому їх варіювання та відповідний аналіз доцільно було б розглянути більш детально.

5. При визначенні економічного ефекту від упровадження запропонованого решета основний акцент зроблено на підвищенні якості продукції та зростанні класності зерна. Водночас поза належною увагою залишено можливе підвищення продуктивності зерноочисних машин, що є цілком імовірним за таких умов. Урахування цього чинника дозволило б більш повно оцінити економічну доцільність розробки, зокрема з позицій зміни питомих енерговитрат та загальної ефективності процесу.

Загальний висновок

На основі проведеного аналізу результатів досліджень вважаю, що дисертаційна робота **Бажана Ігоря Миколайовича** «Обґрунтування параметрів плоского коливального решета», яка подана до захисту у спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 - Механічна інженерія за спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування є завершеною науково-дослідною роботою.

Зміст дисертації за своїми актуальністю, науково-методичним рівнем, обґрунтованістю отриманих результатів, основними положеннями, опублікованими у фахових виданнях та матеріалах конференцій, науковою новизною та практичним значення відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Постанові Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022 р. (редакція від 08.05.2024 р.).

Недоліки, що наведені у зауваженнях, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження.

На основі викладеного вище вважаю, що автор дисертаційної роботи «Обґрунтування параметрів плоского коливального решета» **Бажан Ігор Миколайович** заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (13 «Механічна інженерія»).

Офіційний опонент:
доктор технічних наук, професор,
декан факультету мехатроніки
та інжинірингу Державного
біотехнологічного університету

Вадим БРЕДИХІН

