

ВІДГУК

*офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Паламарчука Ігоря Павловича
на дисертаційну роботу **Богомолова Олександра Олексійовича**
«Обґрунтування параметрів технологічного процесу сепарації насіння
проса на гравітаційних ударних сепараторах», що подана на здобуття
ступеня доктора філософії
з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве
машинобудування»*

На розгляд подано дисертаційну роботу, що складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст дисертації викладено на 148 сторінках друкованого тексту, який містить 53 рисунки та 24 таблиць; список використаних джерел складається із 144 найменувань, які розміщені на 16 сторінках; 23 додатки містяться на 13 сторінках.

1. Актуальність теми дисертації.

Післязбиральна обробка сипких сільськогосподарських культур є передумовою отримання високих урожаїв, Удосконалення її технології достатньо ефективно шляхом розробки процесів і обладнання для очищення та сепарації зернової та зернокруп'яної продукції, що реалізується на етапах попередньої, первинної та основної обробки з метою забезпечення максимальної біологічної цінності насіннєвого матеріалу, відокремлення насіння бур'янів та інших небажаних домішок. Серед перспективних напрямів вирішення даних завдань є вдосконалення конструкцій гравітаційних ударних, ударно-фрикційних, віброударних сепараторів, що обґрунтовує *актуальність* проведених досліджень у сучасних технологіях харчових і переробних виробництв.

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

Виконана робота відповідає Закону України від 12 жовтня 2010 р. №2623 – 14 «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», основні положення її були викладені у межах наукової школи «Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв»; держбюджетної тематики «Розробка інноваційних енергозберігаючих технологій, процесів та обладнання для сепарації, транспортування та здрібнення зерна з отриманням нових видів борошна та крупи» (державний реєстраційний номер №0121 U114567) та «Розробка апаратурно-технологічних рішень із виробництва багатоцільових функціональних харчових продуктів для людей, що перебувають у екстремальних умовах» (номер державної реєстрації 0124 U000402); госпдоговірної теми №55-23-24Д «Обґрунтування параметрів процесу сепарації зернових сумішей за сукупністю фізико-механічних властивостей» (номер державної реєстрації 0123U105326) та програми підготовки аспірантів, здобувачів наукового ступеня «доктор філософії» Державного

біотехнологічного університету відповідно до програм науково дослідних робіт на 2022-2025 роки. Доробки дисертанта складають розробку дослідних моделей та вимірювальної бази; проведення та опрацювання результатів теоретичних та експериментальних досліджень, підготовку публікацій.

3. Загальна характеристика роботи.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, зазначений особистий внесок здобувача, показані апробації результатів досліджень та доступне представлення їх у наукових виданнях.

Перший розділ *«Аналіз сучасного стану технологічних процесів та обладнання для сепарації насіння проса»* роботи містить основні структурні, фізико-механічні властивості проса; особливості агротехніки його вирощування, післязбиральної обробки, вимоги до підготовки насіння проса. Було відзначено, що у процесі очищення проса виділити насіння важковіддільні домішки бур'янів за аеродинамічними властивостям не вдається: навіть в ДСТУ допускається певний вміст важковідокремлювальної домішки для сировини, з якої виробляють продукти харчування.

Віброфрикційні сепаратори з неперфорованими робочими поверхнями дозволяють видаляти більший спектр небажаних домішок, але характеризуються невисокою продуктивністю при реалізації якісного розподілу лише за одношарового руху зерна. Застосування відомих фрикційних сепараторів відзначаються простотою конструкції, використанням тертя в якості рушійної сили, що покращує якість очищення. Достатньо перспективним напрямом виявляється застосування гравітаційного багатоярусного ударного сепаратору, що дає можливість мінімізувати енерговитрати на процес.

Проведений аналіз досліджень фрикційних процесів очищення показав, що насіння курячого проса та щетинника сизого можна виділити від проса, але з втратами основної культури. Подальший розвиток досліджуваних процесів передбачає комплексне використання таких факторів очищення, як форма, пружні та фрикційні характеристики, ударна взаємодія кулеподібних частинок та їх відбивання на вібраційних або ударних поверхнях; з пружно-пластичними та сферичними виступами.

До зауважень та пропозицій при викладенні 1 розділу можна віднести наступне:

- вважаю сумнівною необхідність представлення відомих конструкцій та схем сепараторів, що показані на рис.1.1 – 1.6 та докладний опис їх конструкції та принципу дії;
- було б більш доцільним у останньому пункті висновків показати тенденції розвитку процесів очищення насіннєвого матеріалу, зокрема, проса та обладнання для їх реалізації, замість чого певним чином дублюються завдання, що показані у вступі.

Другий розділ *«Теоретичні передумови сепарації насіннєвих сумішей за пружними та фрикційними властивостями»* присвячений обґрунтуванню та реалізації методів теоретичного аналізу досліджуваних процесів ударної сепарації сипких кульковидних мас. Розроблені методи математичного моделювання ґрунтуються на теоретичному дослідженні процесу ударної взаємодії кулькоподібного тіла з нахиленою поверхнею. Доведено, що рушійною силою такого процесу є обертаючий момент, що спонукає обертання кульки під час польоту після відскоку від робочої поверхні сепаратора; здолання опорів тертя та відбивання.

У ході математичного моделювання динамічного стискання кульковидних тіл була використана квазістатична теорія удару. За результатами аналізу була визначена залежність для обчислення сили стискання тіл при взаємодії. При виконанні математичного моделювання динамічного розтискання тіл були отримані залежності для сили удару при розтисканні тіл та тривалості удару. Результати обчислень параметрів удару дозволило здійснити порівняльний аналіз залежності деформації та контактної сили від часу при різних швидкостях руху часток продукції; залежно від різних форм поверхонь контактної взаємодії тіл. Такі дослідження дали можливість обґрунтувати режимні параметри ударної сепарації.

Моделювання ударного руху частинки по похилій площині з подачею у поперечному напрямку дало можливість візуалізувати траєкторії руху частинок при зміні рушійної сили, дальності та часу транспортування частинок вздовж горизонтальної осі координат. Також виконані теоретичні дослідження показали ефективність використання в якості фактора розділення висоти піднімання часток та їх моментів інерції.

До зауважень та пропозицій при викладенні 2 розділу можна віднести:

➤ незрозуміле представлення маси кульки у вигляді $m=0,14 \cdot 10^{-3}$ кг (стор.58);

➤ чому у формулі (2.13) на стор.60 сила тертя представляється виразом $F=m\omega$: можливо не показана похідна для кутової швидкості;

➤ мають місце певні технічні неточності: при розшифруванні параметрів, що входять у формулу (2.19), незрозуміла наявність параметру D у розшифровці (стор.62); у формулі (2.20) на стор.62 не зрозуміла розмірність частоти n : число обертів. Звичайно кутова швидкість вимірюється у кількості обертів (або радіан/с у системі SI) за одиницю часу.

У третьому розділі *«Програма і методика експериментальних досліджень»* представлені планування експериментальних досліджень та методологічні аспекти його реалізації. При виконанні завдань експериментальних досліджень була розроблена програма експериментальних досліджень, методики визначення основних фізико-механічних властивостей насіння проса та важковідокремлюваних бур'янів; здійснено формування вимірювальної бази, зокрема, приладів, реєструючої та регулюючої апаратури. Це дозволило оцінювати коефіцієнти тертя та відновлення швидкості під час

удару; визначати параметри часток продукції, зокрема, ваги 1000 насінин та їх розмірних характеристик, граничних кутів підйому насіння по похилій фрикційній вібраційній площині, траєкторій руху частинок по вібраційній фрикційній поверхні. В якості дослідних моделей машин були використані розроблені лабораторний гравітаційний багатоярусний ударний сепаратор, ударний сепаратор з поперечною подачею.

До зауважень та пропозицій та пропозицій при викладенні 3 розділу можна віднести:

- *формули (3.1) та (3.2) на стор.93 протиречать одна одній: технічна похибка у позначеннях;*
- *на мій погляд, у методичному розділі взагалі не потрібно показувати загально відомі залежності.*

У четвертому розділі **«Результати експериментальних досліджень сепарації насіння проса»** хочу відзначити наявність у дисертації глибокого та ґрунтового експериментального аналізу основних параметрів досліджуваних процесів сепарації при застосуванні вібраційних та ударних машин. Побудовані варіаційні криві товщини, ширини та довжини насіння виявили, що вторинне очищення насіння проса від важковідокремлюваних бур'янів за розмірами малоефективне та недоцільне, за винятком видалення частини курячого проса та щетинника сизого на решетах з довгими отворами. Варіаційні криві граничних кутів підйому по вібраційній неперфорованій поверхні дозволили обґрунтувати можливість практично повного відділення досліджуваного насіння від курячого проса, щетинника сизого.

Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів тертя показали ефективність процесів очищення насіння проса на поверхнях з листової сталі та технічної фанери. Встановлена можливість відділення насіння проса від важковідокремлюваних бур'янів по вібраційній фрикційній поверхні, що здійснюється найбільш ефективно з позовжньо поперечним кутом нахилу робочого органу. При використанні ударних процесів розділення обґрунтована можливість сепарації насіння проса за дальністю відскоку, але з втратами основної культури у відходи.

При використанні методів стохастичного моделювання були визначені раціональні параметри процесу сепарації насіння проса на гравітаційному багатоярусному сепараторі, за яких вихід очищеної фракції досягає 70%, із яких 43% першого класу. Для процесу сепарації насіння проса на гравітаційному ударному сепараторі з поперечною подачею були обґрунтовані кути деки та живильника для досягнення максимальної маси зерна в ємностях.

Для забезпечення мінімізації енерговитрат при сепарації зерна були складені алгоритми сепарації важкороздільних зернових сумішей. При використанні розробленого обладнання прогнозується ефективність очищення насіння таких дрібнонасіньєвих культур, як ріпак, гірчиця, просо, коноплі, овочеві, трави лікарські рослини, у яких важко відокремлюваних домішків більше 50%.

До зауважень до 4 розділу можна віднести те, що автор при викладенні висновків недостатньо конкретизував результати проведених досліджень цифровою інформацією, зокрема перші два пункти.

У п'ятому розділі «**Техніко-економічна ефективність удосконаленого гравітаційного сепаратора для сепарації насіння проса**» представлено результати оцінки та апробації розробок. Виробничі випробування гравітаційного сепаратора для очищення насіння проса, які проводились на базі СФГ «Калина» Чугуївського району Харківської області, виявили доцільність застосування гравітаційного сепаратора з розробленими робочими органами для додаткової обробки зерна в технологічних лініях по підготовці насіннєвого матеріалу.

На основі порівняльного аналізу експлуатації серійного сепаратору САД-1 та розробленої установки та відповідної методики розрахунку була проведена техніко-економічна оцінка ефекту від впровадження гравітаційного сепаратора для очищення насіння проса. Серед результатів виявили, що для певного річного завдання істотно покращиться якість сепарування, експлуатаційні витрати незначно скоротяться. Було рекомендовано збільшення та об'єднання робочих дек у пакети; встановлення додаткового блоку робочих органів; використання знімних дек для можливості очищення різних зернових сумішей.

Висновки до дисертації містять узагальнені наукові та практичні результати, отримані автором у процесі виконання дисертаційної роботи.

До зауважень при оформленні висновків можна віднести те, що прослідковується певна невідповідність між поставленими завданнями та їх вирішенням у основних висновках.

Мова дисертації українська, стиль викладення логічний, послідовний, з використанням загальноприйнятої науково-технічної термінології.

Дисертація оформлена відповідно до вимог ДАК України.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових досліджень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертація є логічною і аргументованою науковою працею, яка виконана з урахуванням сучасного рівня технологій процесів сепарації сипких культур, зокрема, насіннєвого матеріалу, розробленого оснащення ударного типу.

Мета роботи та задачі для її досягнення повністю відповідають представленим результатам досліджень. Висновки і рекомендації, що сформульовані дисертантом, підтверджуються матеріалами експериментальних досліджень, публікаціями у наукових виданнях, у тому числі й закордонних. Результати дисертації були апробовані на 10 наукових фахових конференціях.

На підставі вищевикладеного обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які містяться в дисертації, не викликає сумнівів.

6. Достовірність та новизна наукових положень, отриманих у дисертації

Достовірність і обґрунтованість результатів досліджень та отриманих висновків забезпечена використанням сучасних експериментальних ударних та вібраційних фрикційних сепараторів для очищення насіння проса від важковіддільних бур'янів; методик вимірювання та досліджень, методів математичного моделювання та статистичної обробки експериментальних даних з використанням комп'ютерних програм; що підтверджені апробацією отриманих результатів на наукових конференціях різних рівнів, а також у виробничих умовах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- встановлено нові ефекти щодо траєкторії руху сипких мас на неперфорованій роздільній поверхні в умовах ударної взаємодії кулеподібної частинки з нахиленою поверхнею на стадіях падіння та відбивання. На зміну параметрів процесу сепарації істотно впливають коефіцієнти тертя, кути нахилу відбивної площини, пружність насінневого матеріалу, форми граничних поверхонь тіл в області їх контакту на відміну від параметрів обертання частинки;
- встановлено, що позиційне тертя суттєво впливає на розраховані параметри удару, зменшуючи максимум зближення центрів мас тіл та збільшуючи максимум сили удару та тривалість динамічної взаємодії;
- проведене математичне моделювання дисипативного удару дозволило отримати залежність коефіцієнта відновлення від початкової швидкості удару; встановити, що різниця у висоті траєкторії руху сипких мас, а також зміни моменту інерції частинок становлять нові фактори розділу у процесі ударної сепарації частинок на похилій площині в поперечному напрямку.

7. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Практичну цінність даної роботи відображають наступні чинники:

- розроблено конструкцію гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора, в якому за рахунок збільшення класифікаційних факторів; здійснення подачі суміші на обидві опозитно встановлені роздільні поверхні першого ярусу значно збільшується продуктивність та ефективність процесу;
- результати наукових досліджень впроваджені у виробництво в компанії «Харчові технології» м. Харків;
- результати обґрунтування раціональних параметрів розроблених ударних сепараторів; пропозиції щодо зменшення енерговитрат на процес; можливості поліпшення ефективного очищення насіння проса від важко відокремлюваних бур'янистих домішок впроваджено у фермерському господарстві «Калина» Чугуївського району Харківської області, ТОВ «Компанія «Харчові технології» м.Харків та ТОВ «ЮР АГРО» м.Харків.
- розроблені методики та лабораторне оснащення для визначення коефіцієнтів тертя кочення та ковзання, граничного кута підйому насіння по віброфрикційній поверхні знайшли використання та впровадження у

навчальному процесі, зокрема, в лабораторіях Державного біотехнологічного університету;

➤ отримані у дисертації результати теоретичного та експериментального аналізу, розроблені схеми гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора та гравітаційного ударного сепаратора з поперечною подачею для очищення насінневого матеріалу від важковідокремлюваних бур'янистих домішок дозволили удосконалити технологічні лінії післязбиральної обробки зернових та зерно-круп'яних культур.

➤ результати досліджень можуть бути рекомендовані при проектуванні гравітаційних сепараторів для очищення насіння сипких сільськогосподарських культур у науково-дослідних і конструкторських організаціях.

8. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.

За матеріалами дисертації Кравченка О.Ю. опубліковано 30 наукових робіт, у тому числі: 10 статей у фахових та наукових спеціалізованих виданнях України, 1 стаття – у закордонних виданнях, що індексуються міжнародними науково-метричними базами; 15 тез доповідей у збірниках матеріалів Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференцій.

Вважаю, що вказані публікації повністю відображують зміст та результати дисертаційного дослідження.

9. Основні загальні зауваження до змісту дисертаційної роботи

За змістом та оформленням дисертаційної роботи поданих для рецензування, можна відзначити наступні зауваження.

1. Зауваження до окремих розділів представлено у загальній характеристиці роботи.

2. Показані у меті дисертаційної роботи (стор. 24, 25) результати носять дещо загальний характер, зокрема, не вказано про можливість зменшити енергоємність процесу сепарації зернових сумішей із застосуванням розроблених конструктивних та технологічних засобів. Серед шляхів досягнення показаних результатів не вказано про розробку ударних сепараторів, про що свідчать представлені 4 патенти України на корисну модель; про застосування математичного моделювання та експериментального аналізу для обґрунтування режимних параметрів досліджуваних процесів.

3. Поставлені завдання досліджень (стор. 25) мають відповідати пунктам основних висновків дисертації, зокрема, не спостерігаються завдання стосовно практичної апробації роботи та виконання техніко-економічного аналізу, чому присвячений окремий розділ дисертації.

4. На мою думку, закономірності зміни конструктивних параметрів гравітаційного багатоярусного ударного та ударного сепараторів з поперечною подачею (стор. 25) потрібно було віднести до предметів дослідження.

5. Встановлення можливості сепарації частинок за рахунок використання різниці у висоті їх траєкторії та від моменту інерції частинок (стор. 27) носить методичний аспект, тому не може бути у такій якості віднесено до пунктів наукової новизни для дисертації з технічних наук.

6. Спостерігалися певні структурні неточності при побудові дисертації: на мій погляд, при викладенні в окремому розділі теоретичних передумов досліджуваного процесу було б доцільним у підрозділі 2.1 дати матеріал з підрозділу 1.4. «Аналіз теоретичних досліджень процесів руху зерна по робочим поверхням віброфрикційних та ударних сепараторів»; на стор.64, окрім як у вступі, знову представляється мета роботи та ставляться завдання теоретичного дослідження; також на стор.55 – 56 у висновках до 1 розділу також показані завдання до теоретичного дослідження, хоча й у більш широкому виразі.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Богомоллова Олександра Олексійовича на тему «Обґрунтування параметрів технологічного процесу сепарації насіння проса на гравітаційних ударних сепараторах», відповідає паспорту спеціальності 133 – галузеве машинобудування.

Наведені у відгуку зауваження не зменшують загальне позитивне враження про виконану автором роботу.

Представлена дисертаційна робота Богомоллова О. О. є самостійною завершеною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати стосовно підвищення ефективності процесу очищення насіннєвого сипкого матеріалу від важковіддільних домішок бур'янів, зменшення енерговитрат на процес ударної сепарації та розробки обладнання для її реалізації.

За актуальністю обраної теми, обсягом та змістом виконаних досліджень, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірністю і новизною, а також повнотою їх викладення в опублікованих працях дисертаційна робота відповідає необхідним вимогам МОН та ДАК України, зокрема, згідно наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 а її автор, *Богомоллов Александр Олексійович*, заслуговує на присвоєння йому наукового ступеня доктора філософії галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Офіційний опонент –

доктор технічних наук,

професор кафедри процесів і обладнання

переробки продукції АПК Національного

університету біоресурсів і природокористування

України Міністерства освіти і науки України

І.П. Паламарчук

14.08.2026

Паламарчук І.П.
Член *Національного університету біоресурсів і природокористування України*
Барановська О.С.