

Відгук

офіційного опонента д.т.н., проф. Завгороднього Олексія Івановича на дисертацію **Алієва Ельчина Бахтияра огли** на тему: «Механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Актуальність роботи. Проблема розробки й удосконалення техніко-технологічного забезпечення прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику є актуальною при виконанні селекційно-насінницького процесу. Забезпечення селекціонерів відповідним інструментарієм дозволить інтенсифікувати процес створення нових сортів і гібридів при зменшенні витрат. Про це свідчить те, що при виконанні селекційно-насінницького процесу важливим є використання маркерних ознак, які слугують для встановлення приналежності рослин до певного гібриду чи сорту (запобігання фальсифікації) та дозволяють швидко відібрати велику кількість рослин на різних етапах селекції. Забарвлення насіння і їх форма є якісними ознаками, які є стабільними у прояві, не залежить від факторів середовища і є показовими на даному етапі розвитку рослини. Існуюче обладнання для виконання технологічних процесів сепарації насіння соняшнику за морфологічними (в тому числі маркерними) показниками та фізико-механічними властивостями до встановленої сортової чистоти в селекційно-насінницькому процесі створення нових сортів або гібридів вимагає великих капітальних вкладень і значних питомих експлуатаційних витрат, що підвищує собівартість насінневого матеріалу. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми і є удосконалення існуючих технічних засобів шляхом створення систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертація виконана у відповідності до Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року, Закону України «Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу» №5478-VI (5478-17) від 06.11.2012 р., планами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт: «Розробити сепаратор насінневого матеріалу олійних культур» (№ ДР 0116U4214005, 2016–2018 рр.), «Розробити науково-технологічні основи процесів очищення та розділення насінневого матеріалу олійних культур» (№ ДР 0116U003095, 2016-2020 рр.), «Розробити приладовимірювальний комплекс для автоматичного фенотипування насіння олійних культур» (№ ДР 0119U100121, 2019–2020 рр.).

Наукове і практичне значення отриманих результатів. Дисертація Алієва Е.Б. є завершеною науковою роботою, яка характеризується високим рівнем актуальності, логічністю змісту та свідчить про особистий внесок здобувача в науку, містить наукову новизну і має теоретичне та практичне значення.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень автором підтверджено наукову гіпотезу, згідно з якою прецизійність цільового поділу та відбору насінневого матеріалу соняшнику за його морфологічними показниками і фізико-механічними властивостями визначає ефективність його використання в подальшому селекційно-насінницькому процесі.

Алієвим Е.Б. на підставі системного підходу визначено структуру адаптивного техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва соняшнику, що дозволяє здійснювати пошук слабких ланок в технологічних процесах доробки та біоінформативної систематизації насінневого матеріалу за якістю розподілу та продуктивністю ліній при мінімізації питомих витрат. Також автором запропоновані узагальнюючі коефіцієнти якості виконання технологічного процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу (коефіцієнти заповнення та розподілу, сумарна концентрація насіння) і отримані відповідні математичні моделі зазначеного технологічного процесу. Встановлені функціональні залежності покладені в основу розробленого способу автоматизованого керування прецизійної механізованої сепарації насінневого матеріалу на основі узгодження режимних і технологічних параметрів.

Ельчином Бахтияром огли розроблено спосіб автоматичного фенотипування насіння соняшнику за його морфологічними показниками, який має як наукове так і практичне значення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці: методики з визначення можливих максимальних втрат маси насінневої суміші кондитерського соняшнику при її очищенні та розділенні; конструкторської та технічної документації на експериментальні зразки адаптивних аеродинамічного, віброрешітного, вібропневматичного і фотоелектронного сепараторів; науково-методичних рекомендацій з виробничого контролю технологічних процесів очищення і розділення насінневого матеріалу соняшнику; методики визначення несортованого насіння соняшнику в насінневій суміші; пристрою для автоматичного фенотипування насіння олійних культур.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна. Базуючись на сучасному стані вирішення проблеми підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві, Алієвим Е.Б., шляхом застосування механотронних систем, проаналізовано існуючі наукові досягнення. Це дозволило визначити мету, об'єкт, предмет і поставити нові, доцільні і логічні завдання досліджень технологічного процесу сепарації насінневого матеріалу соняшнику.

Наукові положення, що винесені на захист ґрунтуються на методах чисельного моделювання з використанням основних положень теорій класичної механіки, газодинаміки, вібрації, ймовірності, пружності, моделей дискретних елементів, багатофазної взаємодії, лагранжевої багатофазності. При цьому застосовувались методи диференційного та інтегрального числення, математичні методи планування експерименту, методи натурних спостережень та

експертних оцінок. Обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень здійснювались з використанням теорії ймовірності, кореляційно-регресійного аналізу.

Наукові положення, теоретичні та практичні висновки й рекомендації, викладені в дисертації, обґрунтовані результатами теоретичних та експериментальних досліджень, в яких автор дає аргументований теоретичний аналіз побудованих моделей.

Висновок 1 розкриває суть проблеми та визначає шляхи підвищення ефективності селекційно-насінницького процесу соняшнику за рахунок розробки раціональної прецизійної технологічної лінії процесів сепарації насіння батьківських компонентів, яка включає автоматизацію технічних засобів.

Висновки 2 і 3 висвітлюють основні позитивні результати чисельного моделювання і експериментальних досліджень механіко-технологічного процесу переміщення насінневого матеріалу соняшнику під дією повітряного потоку. Порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також проведений розрахунок критерію Фішера дозволяє стверджувати про достовірність отриманих результатів.

Висновок 4 містить факти про розроблений адаптивний аеродинамічний сепаратор із раціонально узгодженими режимними параметрами (подача насіння Q і швидкість повітря V), що досягається за рахунок використання програмного забезпечення на основі створеного алгоритму.

Висновок 5 емпірично підтверджує отримані теоретичні залежності зміни сумарної концентрації θ , продуктивності q і споживаної потужності P калібрувальної машини від подачі насіння Q , кута нахилу решета α , частоти ψ і амплітуди коливань решета A . Згідно статистичної оцінки висновок 5 є достовірним і адекватним.

Висновок 6 містить факти про розроблений адаптивний віброрешітний сепаратор із раціонально узгодженими режимними параметрами (подача насіння Q , кут нахилу α і частота коливань ψ решета) за рахунок використання програмного забезпечення на основі створеного алгоритму.

Висновок 7 містить основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, згідно яких автор підтверджує висунуту локальну гіпотезу: процес сепарації насінневого матеріалу соняшнику за об'ємною масою під дією вібруючої поверхні оцінюється коефіцієнтом заповнення χ , коефіцієнтом розподілу δ , продуктивністю q і споживаною потужністю пневмовібросепаратора P , які залежать від подачі насіння Q , кутів нахилу вібруючої поверхні α та β , частоти коливань ψ , амплітуди коливань A та швидкості повітряного потоку V . Згідно статистичної оцінки висновок 6 є достовірним і адекватним.

Висновок 8 містить факти про розроблений адаптивний вібропневматичний сепаратор із раціонально узгодженими режимними параметрами (подача насіння Q , швидкість повітряного потоку V , частота

коливань деки ψ , кути нахилу деки α і β) за рахунок використання програмного забезпечення на основі створеного алгоритму.

У висновку 9 автором висвітлена розроблена фізико-математична модель, яка зв'язала середній інтервал часу між падаючим насінням t , сумарну концентрацію насіння θ , продуктивність фотоелектронного сепаратора q і його споживану потужність P з подачею насіння Q , частотою коливань вібрлотка ψ , частотою обертання барабана n , часовою затримкою спрацьовування форсунки Δt , чутливістю фотодатчика λ . Порівняння результатів чисельного моделювання та експериментальних досліджень дозволяють стверджувати про достовірність проведених досліджень.

Висновок 10 містить факти про удосконалений фотоелектронний сепаратор із раціонально узгодженими режимними параметрами (подача насіння Q , частота коливань вібрлотка ψ , частота обертання барабана n , часова затримка спрацьовування форсунки Δt , чутливість фотодатчика λ) за рахунок використання програмного забезпечення на основі створеного алгоритму.

У висновку 11 зазначається про результати використання математичної моделі замкнутої системи автоматичного фенотипування насіння соняшнику із реалізацією принципу відбракування за кількома параметрами (забарвлення, форма, геометричні розміри) за допомогою перетворювачів зображення, які реалізовані на визначенні забарвлення і контуру насіння у колірному просторі HSV. Дана модель підтверджена результатами експериментальних досліджень і перевірена з використанням критерію Фішера.

Висновок 12 містить результати досліджень гістограм розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB при різному освітленні. Автором виявлено, що у випадку двокольорового забарвлення насіння соняшнику на гістограмах спостерігається два максимуми, кожен з яких відповідає певному кольору. Частоти цих максимумів відповідають інтенсивності кожного з кольорів. Це спостереження дозволяє автору ввести новий показник забарвлення насіння S .

Висновок 13 містить факти про розроблені матричний і стрічковий пристрої для автоматичного фенотипування насінневого матеріалу соняшнику за його морфологічними і маркерними ознаками.

Висновок 14 містить техніко-економічні показники ефективності від впровадження раціональної прецизійної технологічної лінії процесів сепарації насінневого матеріалу на прикладі соняшнику, що підтверджують практичну значимість роботи і є достовірним.

Достовірність отриманих результатів підтверджується обґрунтованістю прийнятих припущень, коректним використанням математичного апарату, даними експериментальних досліджень.

Повнота викладу наукових положень дисертації в опублікованих роботах. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 47 наукових працях, у тому числі: 1 монографія; 21 стаття у спеціалізованих наукових виданнях України (з них 1 у виданні, що включено до міжнародних наукометричних баз); 4 публікації у закордонних виданнях; 13 матеріалів і тез у

збірниках доповідей наукових конференцій; отримано 4 патенти (з них 2 на винахід). Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладено у наукових роботах. У наукових роботах, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: проведення чисельного моделювання і експериментальних досліджень технологічних процесів; проведення аналізу процесу і складання відповідної системи диференціальних рівнянь; обґрунтування технологічної лінії прецизійної сепарації насінневого матеріалу; запропонування показників оцінки якості процесу сепарації.

Мова і стиль викладу матеріалу дисертації. Представлена дисертаційна робота Алієва Ельчина Бахтияра огли написана українською мовою, розділи взаємопов'язані, логічно і повністю розкривають поставлену мету. Дисертація є цілісною і завершеною роботою, яка містить нові наукові результати.

Структура і зміст дисертації. Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 559 сторінок, у тому числі 22 додатки на 161 сторінці. Обсяг основного тексту дисертації становить 398 сторінок, містить 156 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел нараховує 450 найменувань на 55 сторінках.

У **вступі** розкрита актуальність проблеми розробки й удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику в структурі систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами, а також визначені об'єкт та предмет, сформульовані мета та завдання дослідження, наведено основні напрями вирішення завдань, викладені положення, що визначають наукову новизну і практичну значущість роботи та особистий внесок здобувача, містяться відомості щодо публікацій та апробації результатів роботи.

У **першому розділі** дано перспективність використання прецизійної сепарації насінневого матеріалу в селекційному процесі, технологічна лінія процесів очищення та розділення насінневого матеріалу, способи сепарації насінневого матеріалу, аналіз технічного забезпечення технологічних процесів очищення та розділення насіння, аналіз основних морфологічних показників і фізико-механічних властивостей насінневої суміші соняшнику, аналіз наукових досліджень процесів сепарації насіння.

Автором запропонована раціональна прецизійна технологічна схема лінії процесів сепарації насінневого матеріалу соняшнику для всіх ланок селекційно-генетичного процесу, яка включає автоматизацію технічних засобів. Ефективність селекційного процесу соняшнику на стадії систематизації визначається, головним чином, пристроєм для автоматичного фенотипування насіння, яке дозволяє значно інтенсифікувати і скоротити за часом цей процес за рахунок біоінформативного аналізу даних. Таким чином, пристрій для фенотипування насіння може служити основою для розробки інформаційно-аналітичного програмного комплексу селекціонера.

У **другому розділі** наведено модель впливу агротехнологічних і техніко-технологічних параметрів на насінневу суміш і фізико-математичні моделі процесів сепарації насінневого матеріалу соняшнику за аеродинамічними властивостями, геометричними розмірами, об'ємною масою, забарвленням та його фенотипування. Запропоновані фізико-математичні апарати руху насіння в повітряному потоці, пружно-демпферної взаємодії насіння, «гранульованого газу» шару насінневого матеріалу, руху насіння по лопаті барабана фотоелектронного сепаратора.

Тут можна відмітити, що в результаті теоретичних досліджень складено систему диференціальних рівнянь руху насіння соняшнику, як гранульованого газу, в повітряному потоці під дією вібруючої поверхні з урахуванням пружно-демпферної взаємодії, що дає змогу визначити їх положення в просторі в залежності від фізико-механічних і реологічних властивостей. Представлена система диференціальних рівнянь покладена в основу фізико-математичного апарату чисельного моделювання зазначеного процесу.

Автором розроблено фізико-математичний апарат пружно-демпферної взаємодії насіння під дією вібруючого решета, який покладений в основу методу дискретних елементів і штрафного підходу для виявлення контактів та розрахунків сил контактної взаємодії насіння і поверхні решета. Розглянуті контакти насіння між собою і поверхнею решета при різних умовах демпфування, тертя та зчеплення. Створено фізико-математичний апарат дисипативного гранульованого газу шару насінневого матеріалу у стаціонарному стані, керованому вібраційними межами, для опису якого використані класичні теорії молекулярного газу та гідродинаміка.

У **третьому розділі** описано програму досліджень, наведено: методику лабораторних досліджень фізико-механічних і морфологічних властивостей насіння соняшнику; методики експериментальних досліджень процесу розділення насінневого матеріалу соняшнику за аеродинамічними властивостями, геометричними розмірами, об'ємною масою, забарвленням його околоплоддя; методику експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння; засоби статистичного оцінювання експерименту. Також наведено опис схем і загальні вигляди стендів і установок для проведення експериментальних досліджень.

У **четвертому розділі** подано результати лабораторних досліджень фізико-механічних і морфологічних властивостей насіння соняшнику; результати експериментальних досліджень процесу розділення насінневого матеріалу соняшнику за аеродинамічними властивостями, геометричними розмірами, об'ємною масою і забарвленням; результати експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння.

Тут можна відмітити наявність результатів досліджень, щодо залежності впливу вологості W_b насіння соняшнику сортозразків Інституту олійних культур НААН на ефективний діаметр D_p , масу 1000 насіння M_{1000} , об'ємну масу ρ , кут природного ухилу ϕ , коефіцієнт тертя f . В результаті досліджень аеродинаміки насіння соняшнику в повітряному потоці для різних фракцій

попередньо розділеного за розмірами матеріалу отримані залежності швидкостей витання V_a від геометричних параметрів насіння.

Окрім результатів експериментальних досліджень в цьому розділі наведено порівняння отриманих експериментальних моделей із моделями чисельного моделювання і їх взаємну кореляцію.

У **п'ятому розділі** наведено обґрунтування конструктивно-технологічних схем адаптивних аеродинамічного, віброрешітного, вібропневматичного та фотоелектронного сепараторів насіння соняшнику, способу і пристроїв для їх автоматичного фенотипування. Також в розділі приведено: обґрунтування автоматизованої системи керування потоком повітря; алгоритм і програмне забезпечення визначення фракційного складу насіння соняшнику за фотозображенням; калібрування блока вимірювання об'ємної маси; експериментальна перевірка експериментальних і макетних зразків створеного обладнання для сепарації насінневого матеріалу соняшнику.

Автором спираючись на отримані дані чисельного моделювання встановлено, що з використанням автоматизованого каскаду заслінок можна досягти вирівнювання швидкості повітряного потоку ($\pm 0,2-0,4$ м/с) в сепараційній камері аеродинамічного сепаратора, до складу якого може входити будь-який генератор потоку.

Також тут відмічено, що в результаті досліджень розроблено відповідне програмне забезпечення для визначення фракційного складу насіння за фотозображенням, які основані на його перетворенні з 24-розрядного (повнокольорового) в 1-бітове (чорно-біле) за допомогою методу сегментації, обробки на основі морфологічних операцій і з використанням детектора границь Кенні та перетворення Хафа автоматичного визначення контуру кожного насіння в 1-бітному зображенні з подальшим обчисленням довжини L , ширини B , площі S та довжини периметра P насіння.

У **шостому розділі** наведені розроблена методика визначення несортваного насіння соняшнику в насінневій суміші, впровадження результатів у виробництво його економічна оцінка.

Результати економічної оцінки показують, що запропонована раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насінневого матеріалу соняшнику має більш високі капіталовкладення (18,4 %) і відповідно до цього затрати на амортизацію, ремонт і ТО – 44,5 %, однак більш низькі затрати на електроенергію – 2,1 % і затрати на працю – 6,1 %. Окрім цього запропонована лінія в порівнянні із традиційною забезпечує додатковий економічний ефект по відношенню до вартості додаткових капіталовкладень – 58,5 %, який досягається за рахунок запобігання втратам ліквідного насінневого матеріалу в процесі сепарації насінневої суміші.

Недоліки та зауваження до роботи.

1. В дисертації слід було привести загальний перелік умовних позначень.
2. В першому розділі слід було привести аналіз сепараторів за комплексом фізико-механічних властивостей.

3. В другому розділі не зрозуміла дія оператора $\frac{d_a}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \overline{V}_a \cdot \overline{\nabla}$ на функцію радіус-вектора.

4. При чисельному моделюванні процесу сепарації під дією повітряного потоку автором зазначено використання 7 фракцій насіння однаковою кількістю. З тексту не зрозуміло, якими властивостями відрізняються зазначені фракції.

5. Адекватність отриманих рівнянь (2.41)-(2.42) не доцільно перевіряти за коефіцієнтом кореляції, так як вони мають не лінійний характер.

6. З тексту не зрозуміло яким чином були визначені числові дані результатів чисельного моделювання процесу переміщення насіння під дією повітряного потоку.

7. Вибір факторів та меж їх зміни при математичному плануванні експерименту доцільно було б обґрунтувати більш детально.

8. В результаті чисельного моделювання і експериментальних досліджень процесу переміщення насіння під дією вібруючої поверхні автором отримані значення продуктивності, які менші за значення подачі матеріалу. Слід було пояснити таку невідповідність.

9. В підрозділі «3.8 Засоби статистичного оцінювання експерименту» приведені загальноприйняті формули і залежності, хоча і приведені відповідні посилання. Слід було привести їх у додатках.

10. Отримані в 4 розділі закономірності слід було співставити із фізико-механічними властивостями насіння соняшнику різних сортів.

11. Обґрунтування автоматизованої системи керування потоком повітря (підрозділ 5.1.2) базується на твердженні про рівномірність розподілу повітря. Однак для ефективної роботи аеродинамічного сепаратора, можливо, необхідно забезпечити розподіл повітря за певної функцією.

12. У додатках слід було привести лістинг коду розроблених комп'ютерних програм.

13. Матеріали шостого розділу, а саме «Методику визначення несортваного насіння соняшнику в насінневій суміші» слід було продемонструвати на конкретному прикладі і привести у додатках.

14. За текстом зустрічаються друкарські помилки.

Вказані недоліки і зауваження не знижують наукової і практичної цінності дисертації і не впливають на позитивну оцінку роботи в цілому.

Висновок по дисертації. Дисертація Алієва Ельчина Бахтияра огли на тему «Механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику» є завершеним актуальним науковим дослідженням, в якому здійснено істотний внесок в розв'язання науково-прикладної проблеми розробки й удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику. Тема, зміст дисертації і автореферату відповідають паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. За актуальністю і науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень та практичних результатів,

ступенем апробації результатів дослідження на конференціях і в фахових наукових працях представлена дисертація повністю відповідає існуючим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук і п.п. 9, 10; 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 (зі змінами), та всім вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор **Алієв Ельчин Бахтияр огли**, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри вищої математики
Харківського національного технічного
університету сільськогосподарства
імені Петра Василенка

О.І. Завгородній

