Національна академія аграрних наук України

Інститут олійних культур

УДК 633.85–042.52:631.362

**обґрунтування адаптивних механотронних систем прецизійного цільового поділу та відбору насіннєвого матеріалу соняшнику**

**АЛІЄВ Ельчин Бахтияр огли** – кандидат технічних наук, старший дослідник, завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України

Реферат роботи

Запоріжжя – 2020

**Актуальність теми.** Станом на кінець 2019 р. в Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, зареєстровано більше 1400 сортів і батьківських компонентів соняшнику і лише 17 % вітчизняної селекції. Це свідчить про загрозу національній продовольчій безпеці України. Тому, згідно з Державною цільовою програмою розвитку аграрного сектору на період до 2020 року необхідне «…стимулювання збільшення виробництва добазового та базового насіння сільськогосподарських культур вітчизняної селекції…». Посівна площа соняшнику в 2019 р. становить близько 5,8 млн. га, на яку витрачено близько 29 тис. т посівного насіннєвого матеріалу.

Створення нових високопродуктивних гібридів і сортів соняшнику, екологічно стабільних і пластичних щодо різних умов обробітку, з розвиненим імунітетом проти хвороб і шкідників – вкрай тривалий і витратний процес. Тому систематизація селекційного матеріалу за спадковими ознаками значно скоротить шлях і час прийняття рішень, а механотронні системи поділу, відбору та класифікації матеріалу, значно знизять витри. Існуюче обладнання для виконання технологічних процесів сепарації насіння соняшнику за морфологічними (в тому числі маркерними) показниками та фізико-механічними властивостями до встановленої сортової чистоти (98,0–99,9 %) в селекційно-насінницькому процесі вимагає великих капітальних вкладень і значних питомих експлуатаційних витрат, що підвищує собівартість насіннєвого матеріалу. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є удосконалення існуючих технічних засобів шляхом створення систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами.

Виходячи з цього, розробка й удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику в структурі систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами є актуальною проблемою.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що складають основу роботи, проведено в Інституті олійних культур Національної академії аграрних наук України (ІОК НААН) згідно з планами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт: «Розробити сепаратор насіннєвого матеріалу олійних культур» (№ ДР 0116U4214005, 2016–2018 рр.), «Розробити науково-технологічні основи процесів очищення та розділення насіннєвого матеріалу олійних культур» (№ ДР 0116U003095, 2016-2020 рр.), «Розробити приладовимірювальний комплекс для автоматичного фенотипування насіння олійних культур» (№ ДР 0119U100121, 2019–2020 рр.).

**Мета дослідження:** підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва шляхом обґрунтування адаптивних механотронних систем цільового поділу та відбору насіннєвого матеріалу соняшнику.

**Задачі дослідження:**

* розробити прецизійну технологічну лінію процесів сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику на основі вимог до його якості та аналізу відповідного техніко-технологічного забезпечення;
* розробити фізико-математичну модель механіко-технологічного процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за аеродинамічними властивостями під дією повітряного потоку на основі чисельного моделювання та експериментальних досліджень;
* розробити фізико-математичну модель механіко-технологічного процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за геометричними розмірами під дією вібруючого решета на основі чисельного моделювання та експериментальних досліджень;
* розробити фізико-математичну модель механіко-технологічного процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за об’ємною масою під дією вібруючої поверхні на основі чисельного моделювання та експериментальних досліджень;
* розробити фізико-математичну модель технологічного процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за забарвленням поверхні сім’янок на основі чисельного моделювання та експериментальних досліджень;
* створити експериментальні зразки адаптивних систем керування аеродинамічним, віброрешітним, вібропневматичним і фотоелектронним сепараторами з раціонально узгодженими режимними параметрами;
* розробити структурну модель замкнутої системи автоматичного фенотипування насіння соняшнику;
* створити експериментальний зразок пристрою для автоматичного фенотипування насіння та обґрунтувати його раціональні конструктивно-режимні параметри;
* дослідити фактори інтенсифікації селекційного процесу соняшнику, провести експериментальну перевірку і визначити техніко-економічну ефективність застосування результатів досліджень.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за морфологічними показниками і фізико-механічними властивостями.

**Предмет дослідження:** насіннєвий матеріал соняшнику та умови і закономірності протікання технологічного процесу прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику.

**Методи дослідження.** В основу теоретичних досліджень покладено методи 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.

Експериментальні дослідження проводились з використанням математичного методу планування експерименту, методів натурних спостережень та експертних оцінок, а обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень здійснювались з використанням теорії ймовірності, кореляційно-регресійного аналізу.

Моделювання й обробка результатів досліджень здійснювались з використанням програмних пакетів STAR-CCM+ та Mathematica.

**Наукова новизна одержаних результатів.** *Вперше:*

* 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 насіннєвого матеріалу за якістю розподілу та продуктивністю ліній при мінімізації питомих витрат;
* визначено узагальнюючі коефіцієнти якості виконання технологічного процесу прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу (коефіцієнти заповнення та розподілу, сумарна концентрація насіння, показник забарвлення насіння);
* отримано математичні моделі технологічного процесу прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за його аеродинамічними властивостями, геометричними розмірами, об’ємною масою та забарвленням поверхні сім’янок, що описують зміни запропонованих коефіцієнтів якості в залежності від режимних параметрів;
* встановлено функціональні залежності і розроблено способи автоматизованого керування прецизійного механізованого процесу сепарації насіннєвого матеріалу на основі узгодження його режимних і технологічних параметрів;
* розроблено спосіб автоматичного фенотипування насіння соняшнику за його морфологічними показниками.

*Отримали подальший розвиток:*

* фізико-математичний апарат руху насіннєвого матеріалу, як гранульованого газу в повітряному потоці під дією вібруючої поверхні з урахуванням пружно-демпферної взаємодії.

*Удосконалено:*

* комплекс автоматизованого прецизійного техніко-технологічного забезпечення процесів сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику батьківських компонентів.

Наукова новизна одержаних результатів, лягла в основу технічних рішень, які захищені патентами України на винахід (№ 120231, 120235) і корисну модель (№ 136828, 136829).

**Основні науково–технічні результати.**В роботі вирішена проблема підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику. Розроблено механіко-технологічні основи проектування систем автоматизованого керування конструктивно-режимними параметрами технічного забезпечення технологічного процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику.

За вимогами до технологічних процесів очищення та розділення насіннєвої суміші для отримання насіннєвого матеріалу соняшнику батьківських компонентів (сортова чистота – 98,0–99,9 %) для всіх ланок селекційно-насінницького процесу розроблена раціональна прецизійна технологічна схема лінії процесів сепарації, яка включає автоматизацію технічних засобів. Для підвищення ефективності селекційно-насінницького процесу соняшнику щодо розробленої технологічної лінії додано пристрій для автоматичного фенотипування насіння, що дозволяє значно інтенсифікувати та скоротити селекційний процес та поліпшити проектування програми схрещування за рахунок біоінформативного аналізу даних і сортування насіння.

Чисельним моделюванням і емпіричними дослідженнями процесу сепарації насіннєвої суміші на малогабаритному аеродинамічному сепараторі (віялки) отримано залежності масового розподілу компонентів за об’ємною масою на виходах важких і легких компонентів ξh і ξl від ефективного діаметру насіння соняшнику Dp і швидкості повітря V. Окрім цього отримані залежності зміни об’ємних мас важких ρh і легких ρl компонентів від вищезазначених факторів досліджень. Отримані залежності дають змогу визначати швидкість потоку повітря V виходячи з необхідних об’ємних мас ρh і ρl та ефективного діаметру насіння соняшнику Dp.

За результатами чисельного моделювання і експериментальних досліджень механіко-технологічного процесу переміщення насіннєвого матеріалу соняшнику під дією повітряного потоку отримано залежності розподілу кожної фракції насіння по довжині області (середнє значення ; середньоквадратичне відхилення σ; коефіцієнт заповнення χ:; коефіцієнт розподілу δ) і споживаної потужності P від ефективного діаметра насінин Dp, швидкості подачі повітря V та подачі насіння Q.

На підставі результатів досліджень розроблено адаптивний аеродинамічний сепаратор із раціонально узгодженими режимними параметрами (подача насіння Q і швидкість повітря V) за рахунок використання програмного забезпечення на основі створеного алгоритму, який визначає технологічний процес сепарації насіннєвої суміші соняшнику за аеродинамічними властивостями з більш високою продуктивністю (q = 114±9 кг/год) і якістю (коефіцієнт розподілу δ = 96,3±2,6 %).

Чисельним моделюванням і експериментальними дослідженнями процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за геометричними розмірами під дією вібруючих решіт різних видів (пробивні, пруткові, точні) встановлено 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.

За результатами проведених досліджень розроблено 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, який дозволяє виконувати технологічний процес сепарації насіннєвих сумішей соняшнику за геометричними розмірами з більш високою продуктивністю (q = 189±13 кг/год) і якістю (сумарна концентрація насіння θ = 3,4±1,3 %).

Процес сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за об’ємною масою під дією вібруючої поверхні визначається 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.

На основі отриманих теоретичних і експериментальних залежностей розроблено 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, який дозволяє виконувати технологічний процес сепарації насіннєвих сумішей соняшнику за об’ємною масою з більш високою продуктивністю (q = 131±6 кг/год) і якістю (коефіцієнт розподілу δ = 95,5±1,5 %).

На базі чисельного моделювання та експериментальних досліджень технологічного процесу роботи фотоелектронного сепаратора було розроблено фізико-математичну модель, яка зв’язала середній інтервал часу між падаючим насінням t, сумарну концентрація насіння θ, продуктивність фотоелектронного сепаратора q і його споживану потужність P від подачі насіння Q, частоти коливань вібролотка ψ, частоти обертання барабана n, часової затримки спрацьовування форсунки Δt, чутливості фотодатчика λ. В результаті експериментальних досліджень блока виходу насіння фотоелектронного сепаратора встановлено експоненціальну залежність зміни ймовірності реагування газової форсунки p від інтервалу часу між падаючим насінням t.

На підставі результатів досліджень удосконалено фотоелектронний сепаратор із раціонально узгодженими режимними параметрами (подача насіння Q, частота коливань вібролотка ψ, частота обертання барабана n, часова затримка спрацьовування форсунки Δt, чутливість фотодатчика λ) за рахунок використання програмного забезпечення на основі створеного алгоритму, який дозволяє виконувати технологічний процес дворазової сепарації насіннєвої суміші соняшнику за забарвленням поверхні сім’янок із продуктивністю (q = 38±3 кг/год) і сумарною концентрацією насіння (θ = 1,2±0,1 %).

Розроблено математичну модель 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. Результати експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння різних сортозразків соняшнику дали змогу встановити середню похибку визначення геометричних розмірів насіння соняшнику (довжини L і ширини B) – 0,06 мм. Розрахунок коефіцієнтів калібрувальної характеристики вимірювання геометричних розмірів з використанням експериментального пристрою для автоматичного фенотипування в припущенні, що ця залежність є лінійною, було перевірено з використанням критерію Фішера F = 1,15 < F0,05(91, 100) = 1,39.

Встановлені гістограми розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB при різному освітлені. В результаті аналізу отриманих гістограм розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB встановлено, що у випадку однорідності кольору найбільш виразно видно дискретність каналів при червоному освітлені. При цьому гістограма має по одному максимуму для кожного каналу, який зміщується в залежності від забарвлення насіння. Так для чорного забарвлення R = 182–189, G = 194–202, B = 211–218, а для білого R = 112–118, G = 124–129, B = 133–139. Також 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. Враховуючи вищесказане можна визначити показник забарвлення насіння C, як матрицю частот f відповідних максимумів (max) в колірному просторі RGB при червоному освітлені насіння.

Розроблено матричний і стрічковий пристрої для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику за його морфологічними і маркерними ознаками. Пристрої налаштовані на високу точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшнику із визначенням їх форми і забарвлення та забезпечують низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури фенотипування (визначення, ідентифікації і сепарації) насіння.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати науково-технічної роботи у вигляді конструкторської та технічної документації фотоелектронного сепаратора впроваджені і використані на виробництві ПП «Агромех плюс» для виготовлення відповідного дослідного зразка. ТОВ «Атлант-Запоріжжя» прийняло для впровадження у виробництво науково-технічну продукцію – комплекти конструкторської та технічної документації на експериментальні зразки адаптивних аеродинамічного, віброрешітного і вібропневматичного сепараторів. Розроблена «Методика з визначення можливих максимальних втрат маси насіннєвої суміші кондитерського соняшнику при її очищені та розділені» і алгоритми розрахунку, які реалізовані в програмному пакеті Microsoft Excel передані і впроваджені у виробництво ТОВ «Снек-продакшн». ТОВ «Укрнасінняпром» прийняло для впровадження у виробництво науково-методичні рекомендації з виробничого контролю технологічних процесів очищення і розділення насіннєвого матеріалу соняшнику. Отримані експериментальні залежності використані і прийняті ФОП Лінчуком Є.В. в якості методичних засад для проведення налаштування і калібрування фотоелектронного сепаратора TAIHO 6SXZ-252 CCD COLOR SORTER. Пристрої для автоматичного фенотипування насіння олійних культур використовується при наукових дослідженнях в області селекції і генетики в ІОК НААН. ТОВ «Нікертор» отримало рекомендації з ремонту і технічного обслуговування машин і устаткування для сепарації, розділення і очищення насіння олійних і зернових культур у вигляді відповідних математичних залежностей, конструктивно-технологічних і електричних принципових схем. Розроблена методика визначення несортованого насіння соняшнику в насіннєвій суміші використовується ПП «ЛЕНДФОРТ ДНІПРО» під час закупівлі та прийманні насіннєвого матеріалу соняшнику різних сортів і гібридів.

*Масштаби реалізації:* Пропонована розробка буде реалізована в насінницьких підприємствах України. Загальна потреба галузі складає 20 одиниць на п’ять років з початку промислового виробництва.

**Техніко-економічні показники.** Пропонована раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику в порівнянні із традиційною 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 запобіганню втратам ліквідного насіннєвого матеріалу в процесі сепарації насіннєвої суміші.

**Досягнутий економічний ефект.** Питомий економічний ефект з ділянки розмноження батьківських компонентів гібриду соняшнику Пріоритет (площею 0,5 га) за умови вартості отриманого насіннєвого матеріалу F1 (80000 грн/т) складає 12006,86 грн/т. При цьому строк окупності додаткових капіталовкладень складає 1,76 років.

**Апробація результатів.** Основні результати роботи доповідались на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів (Україна, Вінниця, ДУ ІЗК НААН, 25 – 26 травня 2016 р.), на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва» (Україна, Тернопіль, ТДСГДС НААН, 30 листопада 2017 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна наука та освіта в ХХІ столітті: проблеми, перспективи та інновації» (Україна, Ніжин, ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», 17 – 18 травня 2018 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» (Республіка Білорусь, Мінськ, БГАТУ, 21 – 23 листопада 2018), на Міжнародній науковій інтернет-конференції «Олійні культури. Тенденції та перспективи» (Україна, Запоріжжя, ІОК НААН, 1 листопада 2016 р.), на Міжнародній науковій інтернет-конференції «Сучасні напрями селекції, технології вирощування та переробки олійних культур» (Україна, Запоріжжя, ІОК НААН, 16 листопада 2017 р.), на Internationals research and practice conference «Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences» (Republic of Poland, Radom, 27 – 28 грудня 2017 р.), на Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інноваційні технології та сучасні селекційні досягнення у виробництві олійної сировини» (Україна, Запоріжжя, ІОК НААН, 26 жовтня 2018 р.), на XVІІ Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях» (Україна, Львів-Дрогобич, Національний університет «Львівська політехніка», 11 – 12 жовтня 2018 р.), на V міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва» (Україна, Тернопіль, Тернопільської державної сільськогосподарської дослідної станції ІКСГП НААН, 30 травня 2019 р.), на Міжнародній науковій інтернет-конференції «Олійні культури: інновації та перспективи» (Україна, Запоріжжя, ІОК НААН, 14 травня 2019 р.), на Міжнародній науковій конференції «Наукові читання до 100-річчя від дня народження професора Івана Вікторовича Яшовського» (Україна, Чабани, ННЦ «Інститут землеробства НААН», 14 – 15 серпня 2019 р.); на ХІХ Міжнародній науковій конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (Україна, Дослідницьке, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 13 вересня 2019 р.).

**Кількість публікацій:** 53, в т.ч. 1 монографія, 33 статті (5 – у зарубіжних виданнях). Згідно бази даних Scopus загальна кількість посилань на публікації авторів, представлені в роботі, складає 5, h-індекс (за роботою) = 1; згідно бази даних Web of Science загальна кількість посилань – складає 4, h-індекс (за роботою) = 1; згідно бази даних Google Scholar загальна кількість посилань – складає 50, h-індекс (за роботою) = 4. Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 4 патентами (2 – на винахід). За даною тематикою подано на захист 1 докторську дисертацію (захист відбудеться 19.02.2010 у спеціалізованій вченій раді Д 64.832.04 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка).

Претендент, кандидат технічних наук,

старший дослідник, завідувач відділу

техніко-технологічного забезпечення

насінництва Інституту олійних культур

Національної академії аграрних наук України \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Е. Б. Алієв

Особу та підпис Алієва Е.Б. перевірено особою, уповноваженою навчальним закладом на таку перевірку: провідний фахівець відділу кадрів Інституту олійних культур НААН

Жигунова Олена Іванівна \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.П.

(прізвище, ім’я та по батькові) (підпис)