

## ТРІЄРНИЙ СЕПАРАТОР НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ ДРІБНОНАСІННЄВИХ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Е.Б. Алієв<sup>1</sup>, К.О. Лупко<sup>2</sup>, О.В. Белка<sup>1</sup>, О.Ю. Алієва<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

<sup>2</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет

У статті наведено розроблену конструктивно-технологічну схему мехатронної системи трієрного сепаратора. Відмінність запропонованої системи від традиційної полягає в тому, що фотокамера фіксує траєкторію польоту насінин. Ця інформація обробляється у блоці керування, який в свою чергу змінює частоту обертання мотор-редуктора і, як наслідок, барабана із чарунками, кут нахилу лотка, кут повороту заслінки із кроковим двигуном бункера-дозатора. Дані маніпуляції із режимними параметрами трієрного сепаратора дозволяє підлаштовувати його до зміни складу насіннєвої суміші, тим самим підвищуючи якість сепарації. Окрім цього, через автоматичне підлаштування режимних параметрів трієрного сепаратора, участь оператора установки в процесі сепарації практично нівелюється, що зменшує трудові витрати.

**Ключові слова:** сепаратор, трієр, насіння, олійні культури, аналіз, конструктивна схема.

**Вступ.** Важливою задачею агропромислового виробництва залишається збільшення асортименту насіннєвого матеріалу для задоволення зростаючих потреб фермерських господарств різної форми власності. При досягнутому рівні виробництва насіннєвого матеріалу зростає навантаження на насіннєочисну техніку, що призводить до порушення технології його потокової післязбиральної обробки (Shevchenko et al. 2018).

Якість насіннєвого матеріалу після обробки у значній мірі визначається відповідністю технічних засобів об'єму та раціональній технології післязбиральної обробки насіння (Aliiev 2018). Тому обробка насіння в існуючих технологічних лініях не дозволяє здійснювати відбір високоякісного насіння без витрат та забезпечити ефективність його очистки від домішок за довжиною.

У закладах України, що займаються селекційно-насінницькою роботою для очищення насіння різних сільськогосподарських культур, зібраних з дослідних ділянок, застосовуються в якості базових машин трієри, виготовлені більше 20 років тому. Фізично машини зношені, а конструкції потребують модернізації.

Аналіз результатів, отриманих науковцями і фахівцями Bühler Schmidt-Seeger, Denis Prive, NEUERO Farm- und Fördertechnik GmbH, PETKUS Technologie GmbH (Німеччина), Zanin F.lli s.r.l. (Іспанія), Westrup (Данія), Акурек (Туреччина), показав існування великого різноманіття технологій і технічних засобів післязбиральної переробки насіння і підготовки насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур. Однак, навіть запропонований комплексний підхід, що включає використання універсальних очисних машин, не дає змогу

систематизувати і розробити науково-технологічні основи процесів очищення та розділення насіння ряду сортозразків олійних культур, таких як льон, гірчиця, ріпак, рижій, шавлій, амарант та ін. (Aliiev 2018). Одним із варіантів вирішення цієї задачі є удосконалення існуючих технічних засобів для сепарації шляхом створення мехатронних систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами.

Тому метою досліджень передбачено аналіз трієрних сепараторів насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур і розробку відповідної мехатронної системи їх керування, застосування якої дозволить виконувати технологічний процес сепарації з меншими питомими експлуатаційними витратами і більш високою продуктивністю.

Сортування насіння – важливий етап у загальному процесі обробки насінневого матеріалу. У насінневій суміші зібраної з полів наявні такі домішки, як стебла, листя, мінеральні домішки та ін. Крім цього, у насінневому матеріалі будуть наявні: насіння низької якості інших культур, биті та зіпсовані насінини основної культури, насіння бур'янів (Schmidt 2007).

Якість насінневого матеріалу зростає завдяки його обробці шляхом видалення домішок та надлишку вологи. В основу машин для сепарації покладені фізичні відмінності характеристик, які можуть існувати між насінням культурних рослин та іншими небажаними частинками. Сортування насіння можна розглянути як підзадачу сепарації та покращення якості насінневого матеріалу.

Результат розділення залежить від різних індивідуальних фізичних властивостей насіння. Прикладами таких фізичних характеристик є: розмір, довжина, вага, форма, колір тощо. Проведення огляду фізичних характеристик різних видів насіння має важливе значення для подальшого налаштування сучасних насіннеочисних машин та для розробки нових видів машин (Tavakoli et al. 2009). Було опубліковано декілька таких оглядів, узагальнення яких дозволило сформувати сучасну технологічну лінію процесів сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур за їх фізико-механічними характеристиками (рис. 1). Нові методи визначення цих характеристик продовжують розвиватися.

Всі способи сепарації насінневого матеріалу можна розділити за відповідними фізико-механічними властивостями насіння (Zaika et al. 1978): за аеродинамічними властивостями (у пневматичних колонках та інших повітряних каналах); за розмірними характеристиками (ширині та товщині на решетах із круглими і прямокутними отворами, довжині – на трієрах); за щільністю або об'ємною масою (на пневматичних столах, пневмовібросепараторах) за властивостями поверхні та формі (на гірках, фрикційних сепараторах); за пружністю (на відбивних сортувальних столах); за електрофізичними властивостями (у діелектричних сепараторах, сепараторах у полі коронного розряду); за кольором (фотосепаратори).

Існують деякі попередні дослідження в області механічного відділення насіння та його оптимізації. Наприклад, (El-Awady et al. 2009) досліджували удосконалення віялки та очисної машини для рису з метою зменшення кількості домішок та втрати ліквідного насіння. Було розроблено прототип віялки та регресійні моделі, завдяки яким дослідники зробили висновки щодо вибору основних параметрів, таких як швидкість повітря, вологість та швидкість подачі.

Іншими дослідниками було (Simonyan et al. 2010) розроблено математичну модель ефективності очистки в стаціонарній молотарці. Модель застосовує принципи розмірного аналізу в якості теоретичної бази. Також використано розмірний аналіз (Casandroiu et al. 2009) для математичного моделювання процесу очистки на плоских решетах.

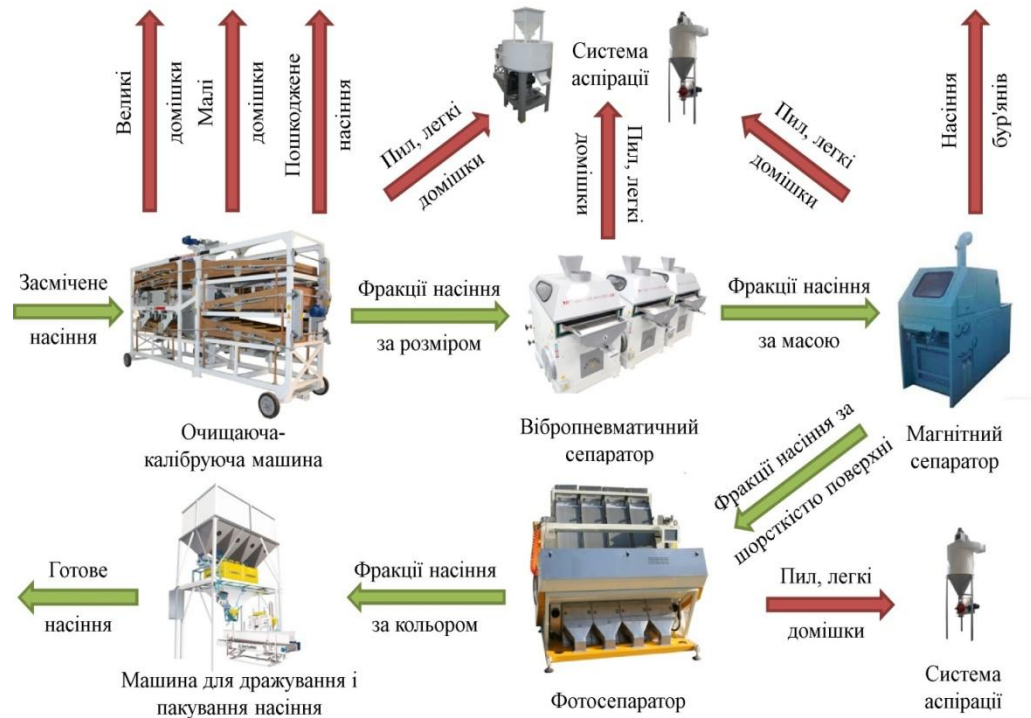


Рис. 1 Сучасна технологічна лінія процесів сепарації насіннєвого матеріалу олійних культур

У дослідженнях (Yuan et al. 2006), щодо керування пневмосепараторами для отримання найбільш оптимального результату, був застосований гібридний інтелектуальний підхід, що включав використання штучної нейронної мережі та генетичних алгоритмів. Пневматичний сепаратор був розроблений (Panasiewicz et al. 2012) та проаналізований використанням подрібнених сумішей трьох сортів люпину. Дослідники визначили кореляції між параметрами процесу розділення та ефективністю процесу розділення. Автоматизоване моделювання та контролювання аспектів після збору врожаю також інтенсивно досліджувались для систем сушіння насіння та сортування (Studman et al. 2001). Останнім часом проявляється інтерес до застосування методів штучного інтелекту для контролю таких процесів.

Циліндр з чарунками використовується для сортування або покращення якості насіння з використанням довжини, як головної відмінної ознаки. Чарунковий циліндр розділяє насіннєву масу, що направляється, на 2 фракції: «довгі» насінини та «короткі» насінини.

Також існують інші машини для сортування насіння. Наступна машина, що використовується після циліндричного сепаратора – гравітаційний сепаратор.

Цей агрегат розділяє насіння на основі його ваги.

Необхідно, щоб насінини були відносно однорідні за фізичними характеристиками або довжиною – будь-які, які може захопити циліндр з чарунками. Дослідники (Balascio et al. 2001) моделювали гранульований потік на стіл гравітаційного сепаратора. Рух частинок моделювався, як стохастичний процес.

У подальшому аналізі будуть використовуватися технології цифрового зображення та методи комп'ютерного сканування (або аналізу зображення) в якості механізму емпіричної вибірки деяких відповідних вихідних змінних чарункового циліндра.

Робота в суміжних областях, таких як штучний інтелект та розпізнавання об'єктів, ведеться як мінімум 60 років, починаючи з моменту винаходу перших цифрових комп'ютерів. З того часу дані області розвинулись та в цих напрямках проводиться велика кількість досліджень. З часом вони дали початок галузі комп'ютерного сканування – область досліджень, що направлена на розробку методів вилучення візуальної інформації, закодованої пікселями цифрового зображення. Метою є отримання цифрової або символічної інформації, що необхідна для прийняття рішень. Як основна, так і прикладна дисципліна комп'ютерних наукових досліджень, ця галузь значною мірою покладається на методи геометрії, статистики, фізики, теорії навчання тощо для отримання візуальної інформації з даних, що зберігаються у пікселях.

Автоматизація та оптимізація перевірки та класифікації насіння за допомогою комп'ютерного сканування/аналізу зображень залишаються важливими, особливо для неінвазивного тестування схожості насіння. Нещодавно лінійка обладнання для сортування насіння доповнилась застосуванням простої форми аналізу зображення – розділення за кольором.

Така машина класифікує певні види насіння в залежності від їхнього кольору за допомогою різноманітних датчиків. Машини для сортування насіння використовуються в кінці процесу механічної обробки.

Класифікація насіння, що не рухається, зазвичай розглядається як проста задача розпізнавання об'єктів. Дослідники (Douik et al. 2010) зверталися до проблеми класифікації насінневих культур, зосередивши увагу на різноманітних ознаках та класифікаторах. Штучна нейронна мережа була одним із застосованих класифікаторів.

Дискримінантний аналіз використовувався у контрольній класифікації. Досить популярний та в цілому успішний підхід із контрольованого дискримінантного аналізу був використаний для оцінки якості пшениці. У дослідженнях (Douik et al. 2011) дуже ретельно підійшли до оцінки якості та класифікації насіння ячменю. В роботі використовувалась оцінка розміщення, орієнтації, напрямку та оцінка структури поверхні окремих зерен ячменю.

Згадані до цих пір дослідження об'єднує те, що вони не стосуються фактичного фізичного розділення насіння. Замість цього, дослідження було зосереджене на задачі аналізу зображень для класифікації насіння, яке було статично розміщено перед камерою. Основна увага приділялась розробці нових машин для сортування – зазвичай на основі розділення за кольором в якості орієнтиру.

Розроблено (Xun et al. 2006) автоматичну систему сортування насіння на основі машинного сканування для автоматизованої класифікації насіння червоної

та білої пшениці. Система була здатна обробляти 15 насінин у секунду з точністю понад 92 % (система могла обробляти 15 насінин у секунду із коефіцієнтом класифікації понад 92 %). Аналогічну систему розроблено (Pearson 2009) для перевірки пшениці та інших зернових культур. Система була здатна обробляти 30 насінин у секунду із точністю від 95 до 99 %. Експеримент проводився з використанням червоного та білого зерна пшениці.

Розроблено (Pearson 2006) ще один недорогий експрес-пристрій для сортування на основі зображень, що здатний обробляти 75 насінин у секунду. Незначні відхилення кольору та невеликі дефекти поверхні насіння були основним критерієм для класифікації. Цікавою новинкою в сортуванні насіння став запатентований пристрій. Ідея, що стала основою цього винаходу – машина для сортування гранул, в основі якої лежать експлуатаційні характеристики циліндричного трієра.

Представлений аналіз дає змогу стверджувати про необхідність удосконалення трієрних сепараторів базуючись на автоматизованому керуванні його параметрів із використанням фото- або відео-фіксації процесу сепарації насінневого матеріалу із подальшою обробкою.

**Матеріали і методи досліджень.** В якості відмінної фізичної характеристики в чарунковому циліндрі використовується довжина насіння. Зазвичай насінневий матеріал, що направляється до машини, розділяється на 2 групи: «довге» насіння та «коротке». Чарункові циліндричні машини відомі, як трієри. Вони виконують процес сортування насіння за довжиною.

Рис. 2 представляє собою графічне зображення процесу ідеального розділення в чарунковому циліндрі за довжиною. Зверху розташований графік двох нормальних розподілень із різними середніми та стандартними відхиленнями. Це приклади можливого розподілення насіння за довжиною у вхідній суміші.

У центрі розташоване коло, що зображує чарунковий циліндр. Процес очищення залежить від декількох параметрів: насіннева суміш, налаштування машини, а також перешкоди, які можна виміряти та не можна (контрольовані та неконтрольовані).

Вхідна суміш двокомпонентна – «довгі» та «короткі» насінини. Останні 2 графіка розділення показують два індивідуальні розділення «довгих» і «коротких» насінин на окремі складові.

Сценарій, зображений на рис. 2 дуже спрощений і його можна визнати нереальним. Розділення вхідного матеріалу за довжиною у більшості випадків не може бути статистично змодельованим, як ідеальна двокомпонентна суміш «довгих» та «коротких» насінин. Більш реалістичний спосіб статистичного моделювання розділення вихідного матеріалу за довжиною – використання розділення суміші нормальних випадкових величин із відповідною щільністю суміші.

Робочим органом циліндричного чарункового трієра є похилий сталевий циліндр з чарунками конкретної форми та розміру. Ці чарунки щільно

розташовані на внутрішній поверхні циліндра. Такий циліндр зазвичай виготовляють зі сталюого листа, що має на поверхні поглиблення.

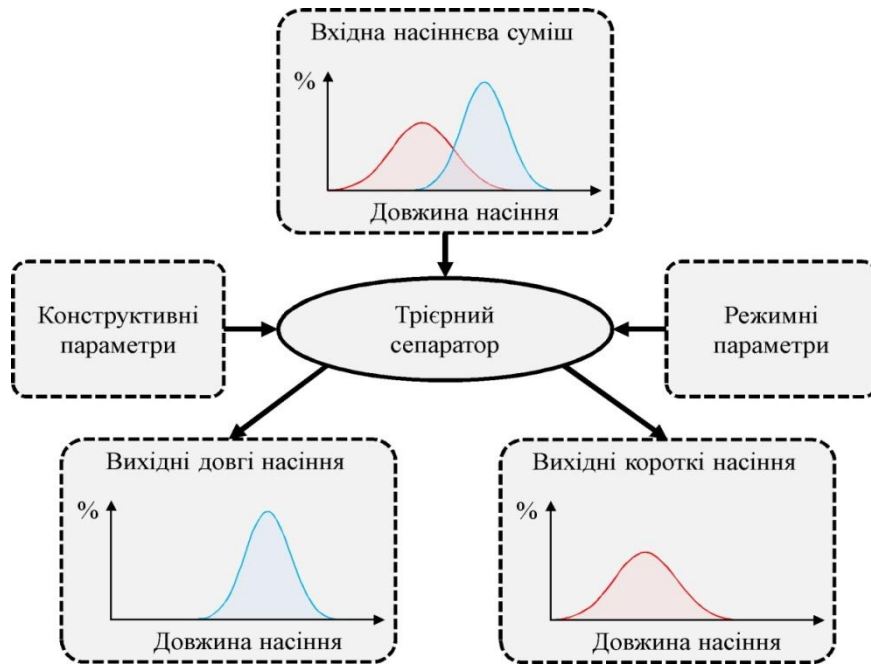
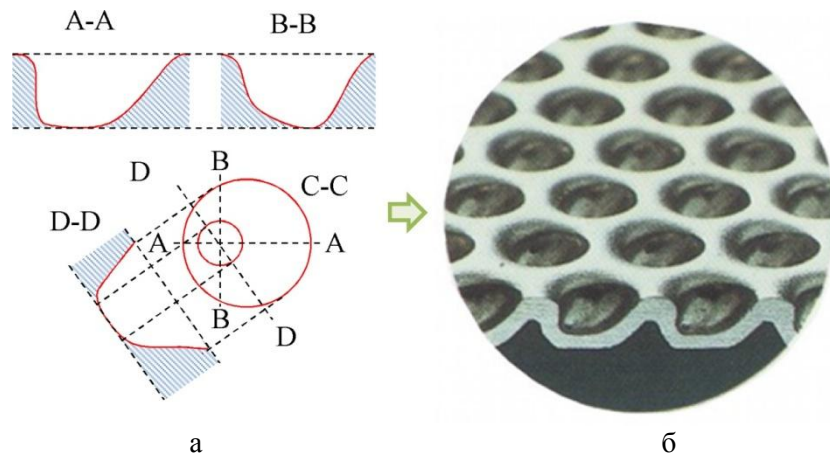


Рис. 2 Концептуальна модель процесу роботи чарункового трієрного сепаратора

Циліндри мають поглиблення з ідентичними геометричними розмірами або близькі до тих, що зображені на рис. 3.



а – геометрія штампованих чарунок у формі краплі на внутрішній поверхні циліндра; б – фотографія чарунок у формі краплі

Рис. 3 Геометрія та фото проштампованих чарунок у формі краплі на внутрішній поверхні циліндра

Огляд принципу роботи трієрного циліндричного сепаратора представлений на рис. 4. Поки циліндр обертається із постійною швидкістю, насіння поступає до циліндра безперервно з піднятого кінця (наприклад, за допомогою віброживильника). Насіння падає на дно циліндра, де в подальшому утворюється шар насіння.

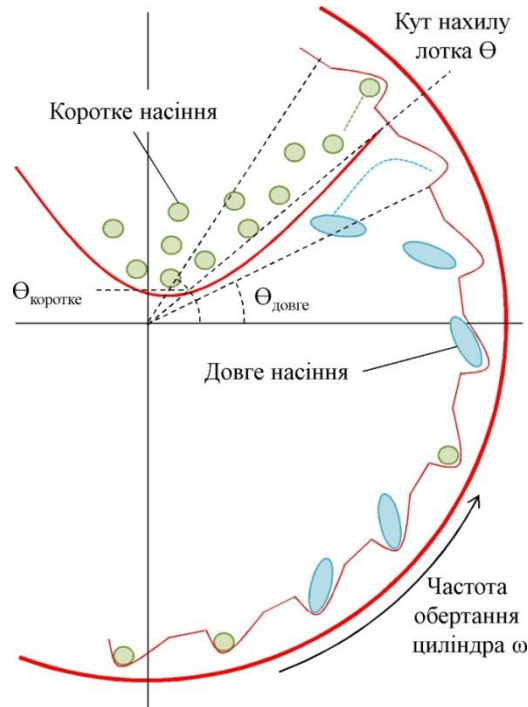


Рис. 4 Циліндр із чарунками, вид спереду

Вхідний матеріал складається з насіння та інших крупних компонентів, які не поміщаються у чарунки. У такому випадку на них впливає тертя з поверхнею циліндра між чарунками. Як варіант, вони можуть поміститися, але через їхню більшу довжину центр ваги не буде знаходитись у чарунках. Ці два сценарії, як правило, призводять до низького рівня спокою під час обертання.

Інші насінини та інша дрібна фракція (пил, бите насіння) досить малі і не поміщаються у чарунки (де вони б знаходились у стані спокою деякий час, перед тим як випасти з чарунок). Особливо це стосується насіння з довжиною, рівною або меншою глибини чарунки. Центр ваги таких насінин, як правило, знаходиться всередині чарунок, а значить насінини надійно закріплені у чарунці під час обертання.

Наступні дві фракції матеріалу, утворені під час безперервного обертання циліндра. «Непіднята» фракція – фракція матеріалу з низькою опорою у стані спокою в чарунці при обертанні. Насіння в цій фракції переноситься за напрямком обертання циліндра та під певним кутом випадає з чарунки. Ця частина вихідних даних називається невибраною фракцією. «Піднята» фракція – фракція матеріалу з високою опорою в стані спокою під час обертання. Під час обертання насінини знаходяться в чарунках до певного кута вильоту, після

досягнення якого насінини випадають із чарунок. Така фракція називається «піднятою». Як правило, через різницю опори в стані спокою  $\theta_{\text{довге}}$  менше, ніж  $\theta_{\text{коротке}}$ . Звідси назва «піднята» і «непіднята». Це очікуване фізичне явище згадується, як «явище підйому».

Чарунковий циліндр також оснащений збірним бункером, що встановлений на осевій опорі циліндра. Цей збірний бункер регулюється та має робочий кут із горизонталлю.

Частинки «піднятої» фракції з внутрішньої поверхні циліндра випадають і потрапляють до збірного бункера за умови, що його робочий кут для цього був правильно відрегульований. Ці захоплені частинки, що класифікуються, як «короткі» насінини, переносяться та виводяться із загальної маси. Частинки «непіднятої» фракції не потрапляють до збірного бункера. Ці частинки, класифіковані як «довгі» насінини, падають на дно циліндра і виводяться з похилого циліндра через нижній кінець.

Важливим моментом є відмінність між процесами розділення і сортування. Процес розділення – розділення за довжиною, що виконується шляхом обертання чарункового циліндра. Процес сортування – результат уловлювання збірним бункером «піднятої» фракції і пропускання «непіднятої» фракції.

Внутрішня поверхня циліндра з чарунками є важливою частиною машини, і ця частина відповідає за фактичне розділення «піднятої» і «непіднятої» фракції. Таким чином, ефективність розділення не залежить від існуючого збірного бункера, який працює як форма регульованої пам'яті внутрішньої поверхні циліндра. Можливість сортування, з іншого боку, залежить від збірного бункера, оскільки без нього ефективність розділення швидко «зникає».

Щоб зробити висновок про правильність розділення «довгих» та «коротких» насінин, потрібно знати фактичні дані вихідного матеріалу. Іншими словами, оператор обладнання повинен знати, який результат сортування повинен бути. Наприклад, якщо вихідний матеріал складався з суміші цілого і битого зерна ячменю, оператор очікує в «короткій» фракції бите зерно, а ціле зерно – в «довгій» фракції.

Визначення формальних показників продуктивності циліндричного чарункового трієра не є тривіальним. Оптимальним результатом сортування може бути, такий, що має мінімальне «перекриття» розподілу насіння між двома вихідними підгрупами у вихідному матеріалі. Це можна розглядати, як форму «критерію оптимальності» для чарункового циліндра. «Перекриття» можна визначити, як кількість «коротких» насінин, що потрапили до «довгих», плюс кількість «довгих» насінин, що потрапили до «коротких».

**Результати досліджень та їхнє обговорення.** Циліндр із чарунками доступний у двох різних масштабах: промисловий масштаб та лабораторний масштаб.

Серед промислових циліндричних трієрів найвідомішими є трієри марки БТС, БТХМ, БТС та сучасні трієри серії Westrup A/S, TR (рис. 5, 6).

Недоліками циліндричних трієрів є невисока ефективність у зв'язку з тим, що вони потребують спеціального налаштування для оптимального режиму роботи для очищення насіння різноманітних сільськогосподарських культур, змінюється також частота коливання трієрного жолоба, який виводить насіння з



трієрного циліндра, а при зменшенні частоти коливання жолоба зменшується або зовсім призупиняється його транспортна здатність. Тому такий трієр неможливо використовувати для очищення складних насінневих сумішей, які необхідно розділити за допомогою невеликих обертів трієрного циліндра. Ще одним недоліком є малий термін роботи приводних та підтримуючих роликів, зібраних у вигляді пакетів з плоских прогумованих дисків. У результаті зносу контактних поверхонь роликів порушується плавність ходу трієрів, що є причиною вібрації та зниження ефективності сепарування. Ще одним суттєвим недоліком циліндричних трієрів є велика потужність і, як наслідок, високі енергозатрати.



Рис 5 Промисловий циліндричний чарунковий трієр (серія Westrup A/S, TR)

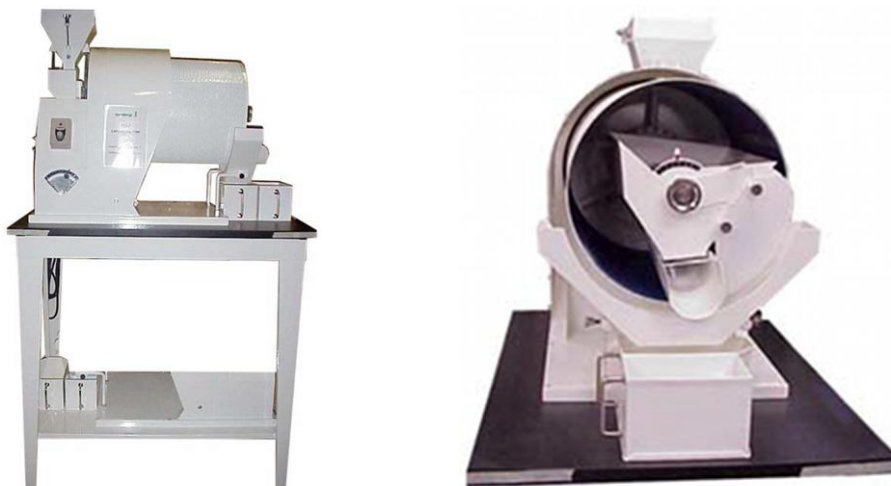


Рис. 6 Лабораторний циліндричний чарунковий трієр (модель Westrup LA-T)

Для усунення недоліків циліндричних трієрів науковцями з різних країн була проведена велика кількість досліджень.

У роботі (Grochowicz 1980) представлено відносно прості моделі руху насіння в чарунковому циліндрі. У цих моделях насінина моделюється, як безрозмірне тіло. Крім того, моделювання проводиться тільки у двох вимірах – за умови, що рух насінини обмежений площиною, що перпендикулярна осі обертання циліндра. Зазвичай використовуються два основні варіанта: діаграми сил, що діють на насінину між чарунками та всередині чарунки. Активний елемент чарунок спрощений до невеликої площі більш похилої поверхні. Подія,

коли насіння залишає поверхню або чарунку, виражається тривіальними еквівалентами сил, що включають сили тертя та сили нормального тиску (залежно від швидкості обертання циліндра  $\omega$  та прискорення вільного падіння  $g$ ).

У дослідженнях (Grochowicz 1980) також представлено більш складну модель для «довгих» та «коротких» насінин всередині чарунки. Ця модель враховує точки опори в чарунці, які будуть відрізнятись для кожного типу насіння. Ці моделі дають визначення для  $\theta_{\text{довге}}$  та  $\theta_{\text{коротке}}$ . Більш того, враховуючи те, що вони залежать від конкретних біологічних параметрів (довжина насінин, коефіцієнт тертя, вологість та ін.) вірогідно, що діапазони  $\theta_{\text{довгого}}$  і  $\theta_{\text{короткого}}$  перетинаються, що ускладнює повне розділення.

Спостереженню, ідентифікації системи та моделюванню існуючих пристроїв для сортування насіння, таких як чарунковий циліндричний трієр, за допомогою такої сучасної технології, як комп'ютерне сканування та інших комп'ютерних технологій, приділяли певну увагу в пізніші роки, хоча і обмежено.

Основи сучасної конкретної літератури з аналізу циліндричних трієрів представлені наступними роботами.

У роботі (Fouad 1980) автор вніс свій вклад у ранній та важливий аналіз, мабуть, найскладнішого і найменш зрозумілого параметра чарунки циліндра – аналіз чарунок циліндричної форми (в роботі описані, як клітинки). У висновках надано рекомендації щодо найоптимальніших діапазонів параметрів форми чарунок.

У роботі (Berlage et al. 1984) дослідник продовжив удосконалювати чарунковий циліндричний трієр. Розроблений новий чарунковий пристрій (в лабораторному масштабі), оснащений перфорованим металом з чарунками круглої форми. Нова модель була оснащена самоочищувальним пристроєм у вигляді щітки, що оберталась разом із циліндром та видаляла насіння, що залишалось у чарунках. У висновках згадується, що на розділення впливали головним чином швидкість обертання циліндра  $\omega$ , нахил циліндра, а також робочий кут збірного бункера  $\alpha$ .

У роботі (Churchill et al. 1989) вчені зробили кілька цікавих та ранніх спроб досягти відтворюваного набору правил («система підтримки прийняття рішень») для розділення за довжиною з використанням чарункового циліндричного трієра (масштабований в лабораторії). Було використано три різні швидкості обертання  $\omega$ , три різні робочі діаметри чарунок  $d$  (тут називаються «кишеннями» замість «чарунок») і три різні робочі кути збірного бункера  $\alpha$ . Для вимірювання довжини попередньо очищеної пшениці Стівенса застосували систему раннього комп'ютерного аналізу. Автори дійшли висновку, що всі три параметри мали значний вплив на розділення за довжиною насіння у «піднятій» фракції («коротке» насіння) та не мали значного впливу на розділення за довжиною насіння у «непіднятій» («довге» насіння) фракції.

У роботі (Choon-Ki et al. 2009) циліндричний чарунковий трієр (лабораторно масштабований) використано для пошуку оптимальних умов роботи щодо видалення розбитого рису. Було використано 41 різний сорт рису, три різні робочі діаметри відступу  $D$  та три різні налаштування робочого кута збірного бункера  $\alpha$  (швидкість обертання  $\omega$ , вірогідно, не змінювалася). Робота

була підсумована шляхом надання рекомендацій щодо робочого діаметра чарунок для різних сортів рису.

Огляд важливих законів механіки що регулюють рух «довгих» та «коротких» насінин у циліндрі з чарунками представлено у роботі.

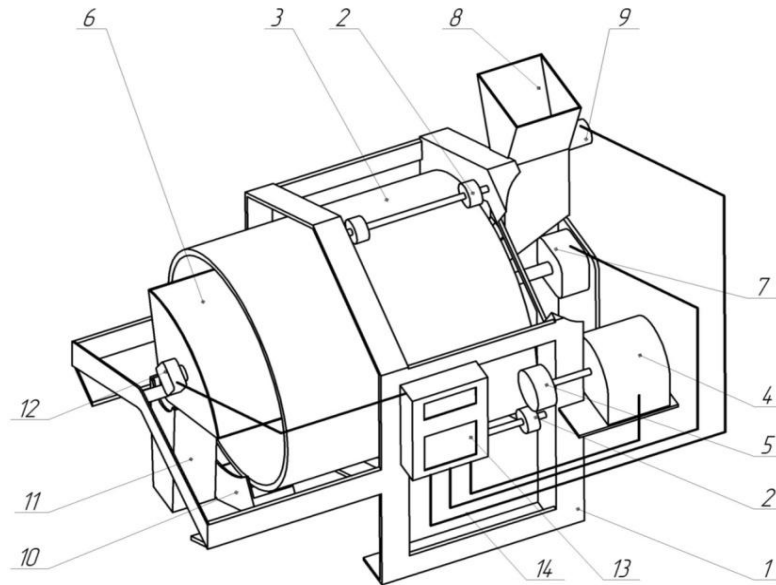
Ця робота (Sorica et al. 2009) є надзвичайно актуальною і містить кілька важливих висновків. Швидкісна камера була встановлена перед лабораторно масштабованим циліндром із чарунками. Застосовано використання змінних із самих чарунок для побудови фізичної моделі, що використовується для моделювання кута падіння та параболічних траєкторій «коротких» насінин (домішок). Показана хороша кореляція між моделлю та реальністю, і це незважаючи на спрощення припущень у математичній моделі, таких як використання точкових мас та нехтування будь-якими силами опору насіння.

Оскільки науковцями проводились дослідження універсальних очисних машин, а в галузі очищення різних сортозразків насіння дрібнонасінневих культур дослідження не проводились, актуальною задачею залишається удосконалення існуючих технічних засобів для сепарації шляхом створення мехатронних систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами.

Для вирішення даної задачі запропоновано конструктивно-технологічну схему мехатронної системи трієрного сепаратора (рис. 7), який складається з рами 1, в якій встановлені підтримуючі ролики 2. В середину рами на роликах встановлено барабан із чарунками 3. На задній частині рами 1 встановлено мотор-редуктор 4, вал якого через привідний ролик 5 дотикається до барабану із чарунками 3. В середині барабану із чарунками 3 встановлено лоток 6, який закріплено до рами 1 під горизонтальним кутом із можливістю обертатися навколо своїх вісі. Задня частина лотка 6 кріпиться до валу крокового двигуна 7, яких жорстко встановлено на рамі 1. На задній частині рами 1 встановлено бункер-дозатор 8, який дозує насінневу суміш за допомогою заслінки із кроковим двигуном 9. На передній частині рами 1 під барабаном із чарунками 4 встановлено забірник більшого насіння 10, під лотком 6 забірник меншого насіння 11. На передній частині лотка 6 встановлено фотокамеру 12, об'єктив якої направлений в середину барабана із чарунками 3. На рамі 1 закріплено блок керування 13. До блока керування 13 по засобах електричних проводів 14 підключено мотор-редуктор 4, кроковий двигун 7, кроковий двигун заслінки 9 і фотокамера 12.

Відмінність запропонованої мехатронної система трієрного сепаратора від традиційного полягає в тому, що фотокамера 12 фіксує траєкторію польоту насінин (рис. 8).

Ця інформація обробляється в блоці керування, який у свою чергу змінює частоту обертання мотор-редуктора 4 і як наслідок барабана із чарунками 3, кут нахилу лотка 6, кут повороту заслінки із кроковим двигуном 9 бункера-дозатора 8. Дані маніпуляції із режимними параметрами трієрного сепаратора дозволяють підлаштувати його до зміни складу насінневої суміші, тим самим підвищуючи якість сепарації. Окрім цього, через автоматичне підлаштування режимних параметрів трієрного сепаратора, участь оператора установки в процесі сепарації практично нівелюється, що зменшує трудові витрати.



1 – рама; 2 – підтримуючі ролики; 3 – барабан із чарунками; 4 – мотор-редуктор;  
5 – привідний ролик; 6 – лоток; 7 – кроковий двигун; 8 – бункер-дозатор;  
9 – заслінка із кроковим двигуном; 10 – забірник більшого насіння; 11 – забірник меншого насіння; 12 – фотокамера; 13 – блок керування; 14 – електричні проводи

Рис. 7 Конструктивно-технологічна схема мехатронної системи трієрного сепаратора

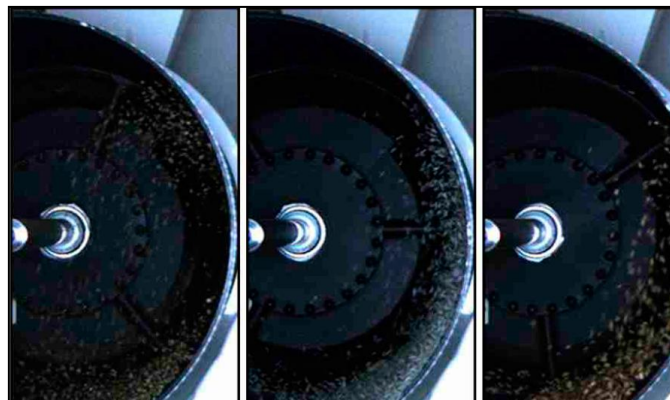


Рис. 8 Фотофіксація траєкторії польоту насінин мехатронної система трієрного сепаратора

### **Висновки**

Представлений аналіз технічного забезпечення процесу сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур дає змогу стверджувати про необхідність удосконалення трієрних сепараторів базуючись на

автоматизованому керуванні його параметрами з використанням фото- або відео-фіксації процесу сепарації насінневого матеріалу із подальшою обробкою.

Встановлено, що визначення формальних показників продуктивності циліндричного чарункового трієра не є тривіальним. Оптимальним результатом сортування може бути, такий, що має мінімальне «перекриття» розподілу насіння між двома вихідними підгрупами у вихідному матеріалі. Це можна розглядати, як форму «критерію оптимальності» для чарункового циліндра. «Перекриття» можна визначити, як кількість «коротких» насінин, що потрапили до «довгих», плюс кількість «довгих» насінин, що потрапили до «коротких»

За результатами аналізу розроблено конструктивно-технологічну схему мехатронної системи трієрного сепаратора. Відмінність запропонованої системи від традиційної полягає в тому, що фотокамера фіксує траєкторію польоту насінин. Ця інформація обробляється в блоці керування, який в свою чергу змінює частоту обертання мотор-редуктора і, як наслідок, барабана із чарунками, кут нахилу лотка, кут повороту заслінки із кроковим двигуном бункера-дозатора. Дані маніпуляції із режимними параметрами трієрного сепаратора дозволяють підлаштувати його до зміни складу насінневої суміші, тим самим підвищуючи якість сепарації. Окрім цього, через автоматичне підлаштування режимних параметрів трієрного сепаратора, участь оператора установки в процесі сепарації практично нівелюється, що зменшує трудові витрати.

### **References**

Aliiev EB (2019) Physical and mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph: STATUS. ISBN 978-617-7759-32-3. Zaporizhzhia. 196

Balascio C, Misra M, Johnson H (1988) Stochastic modeling of granular flow in seed sorting. *Mathematical and Computer Modelling*. 523–527

Berlage A., Bilslund D, Brandenburg N, Cooper T (1984) Experimental indent cylinder for separating seeds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 27 (2): 358–361

Casandroi T, Popescu M, Voicu G (2009) Developing a mathematical model for simulating the seeds separation process on the plane sieves. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*. 17–28

Chhabra M, Reel P (2011) Morphology based feature extraction and recognition for enhanced wheat quality evaluation. *Contemporary Computing*. Springer Berlin Heidelberg. 168: 41–50

Choon-Ki L, Song J, Yun J, Seo J, Lee J, Kim J, Jeong G, Kim CK (2009) The optimum operating conditions of indented cylinder length grader to remove broken rice based on varietal characteristics. *Korean Journal of Crop Science*. 54: 366–374

Churchill D., Berlage A., Bilslund D., Cooper T (1989) Decision-support system development for conditioning seeds with indent cylinder. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 32: 1395–1398

Douik A, Abdellaoui M (2010) Cereal grain classification by optimal features and intelligent classifiers. *International Journal of Computers, Communications and Control*. 506–516

El-Awady M, Yehia I, Ebaid M, Arif E (2009) Development of rice cleaner for reduced impurities and losses. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 15–20

- Fouad H (1980) The effect of cell configuration on length grading of beans. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 25: 391–406
- Grochowicz J (1980) Machines for cleaning and sorting of seeds. *Department of Agriculture*. 374
- Panasiewicz M, Sobczak P, Mazur J, Zawi'slak K, Andrejko D (2012) The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials. *Journal of Food Engineering*. 603–608
- Pearson R (2006) Nonlinear empirical modeling techniques. *Computers & Chemical Engineering*. 1514–1528
- Pearson T (2009) Hardware-based image processing for high-speed inspection of grains. *Computers and Electronics in Agriculture*. 12–18.
- Schmidt L (2007) *Seed processing in: Tropical Forest Seed*. Springer Berlin Heidelberg. 67–142
- Simonyan K, Mudiare O, El-Okene A, Yiljep Y (2010) Development of a mathematical model for predicting the cleaning efficiency of stationary grain threshers using dimensional analysis. *Applied Engineering in Agriculture*. 189–195
- Shevchenko I, Aliev E (2018) Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 1 (54): 129–138
- Sorica C, Pirna I., Bracacescu C, Marin E, Postelnicu E (2012). Cinematic analysis of particle of impurity in conditioning process of grains into indented cylinder separators. *Engineering for Rural Development*. 60–66.
- Studman C (2001) Computers and electronics in postharvest technology – a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 30. 109–124
- Tavakoli M, Tavakoli H, Rajabipour A, Ahmadi H, Gharib-Zahedi SMT (2009) Moisture-dependent physical properties of barley grains. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 84–91
- Xun Y, Zhang J, Li W, Cai W (2006) Automatic system of seeds refined grading based on machine vision. *Intelligent Control and Automation, WCICA. The Sixth World Congress on*. 9686 –9689
- Yuan J, Yu T, Wang K (2006) A hybrid intelligent approach for optimal control of seed cleaner. *IFIP International Federation for Information Processing*. 780–785
- Zaika P, Maznev G (1978) Separation of seeds by a complex of physical and mechanical properties. *Moskva. Colossus*. 287

## ТРИЕРНЫЙ СЕПАРАТОР СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА МЕЛКОСЕМЕННЫХ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Э.Б. Алиев<sup>1</sup>, К.О. Лупко<sup>2</sup>, Е.В. Белка<sup>1</sup>, О.Ю. Алиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт масличных культур Национальной академии аграрных наук Украины*  
<sup>2</sup>*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет*

**В статье разработана конструктивно-технологическая схема мехатронной системы триерного сепаратора. Отличие предложенной система от традиционной заключается в том, что фотокамера фиксирует траекторию полета семян. Эта информация обрабатывается в блоке управления, который в свою очередь изменяет частоту вращения мотор-редуктора и, как следствие, барабана с ячейками, угол**

наклона лотка, угол поворота заслонки с шаговым двигателем бункера-дозатора. Данные манипуляции с режимными параметрами триерного сепаратора позволяют подстраивать его к изменению состава семенной смеси, тем самым повышая качество сепарации. Кроме этого, из-за автоматической подстройки режимных параметров триерного сепаратора, участие оператора установки в процессе сепарации практически нивелируется, что уменьшает трудовые затраты.

**Ключевые слова:** сепаратор, триер, семена, масличные культуры, анализ, конструктивная схема.

## **TRIER SEPARATOR OF SEED MATERIAL OF SMALL SEED OIL CROPS**

**E. Aliiev<sup>1</sup>, K. Lupko<sup>2</sup>, E. Belka<sup>1</sup>, O. Aliieva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

<sup>2</sup>*Dnipro State Agrarian and Economic University*

The purpose of the research is to analyze the trier separators of seed seeds of small-seeded crops and to develop an appropriate mechatronic control system, the use of which will perform the separation process with lower specific operating costs and higher productivity. The presented analysis of the technical support of the process of separation of seed material of small-seeded crops allows to assert the need to improve trier separators based on automated control of their parameters using photo or video recording of the process of separation of seed material with further processing. It is established that the definition of formal performance indicators of a cylindrical honeycomb trier is not trivial. The article develops a structural and technological scheme of a mechatronic system of a trier separator. The difference between the proposed system and the traditional one is that the camera fixes the trajectory of the seed flight. This information is processed in the control unit, which in turn changes the speed of the gear motor and, as a consequence, the drum with cells, the tilt angle of the tray, the angle of rotation of the damper with the stepping motor of the metering hopper. These manipulations with the operating parameters of the indented separator make it possible to adjust it to changes in the composition of the seed mixture, thereby increasing the quality of separation. In addition, due to the automatic adjustment of the operating parameters of the indented separator, the participation of the plant operator in the separation process is practically leveled, which reduces labor costs.

**Key words:** separator, trier, seeds, oilseeds, analysis, constructive diagram.