

УДК 631.358.3

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.167-178](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.167-178)

Г. В. Теслюк, доц., канд. техн. наук, В. В. Головченко

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: super-shm@ukr.net

Аналіз конструктивних особливостей машин для очищення насіння рицини

У статті проведено аналіз сучасного стану розвитку технологій очищення насіння рицини та виявлено основні недоліки існуючих рішень. Встановлено, що традиційні методи лушення, засновані на механічному впливі (тертя, стиснення, удар), мають низьку ефективність, призводять до значного пошкодження насіння та потребують удосконалення для підвищення якості очищення. Проведено класифікації принципів схем будови робочих зон машин для розлушування плоду та відокремлення насіння рицини та машин для очищення насінневої суміші. Встановлено, що під час технологічних операцій розлушування плоду і відокремлення насіння рицини утворюється суміш, яка містить три основні компоненти: нерозлушені або частково розлушені плоди (великі важкі компоненти), насіння рицини (середні компоненти) і лушпиння (маленькі легкі компоненти). У цьому випадку найкраще використовувати аеродинамічну сепарацію суміші з елементами решітного сепаратора. З урахуванням цього складено технологічну схему машини для очищення насіння рицини, основними робочими органами якої є нерухома гумова дека, рухомий вертикальний конусоподібний гумовий валок, решето і циклонний сепаратор. Надалі передбачено розробку конструкції машини для очищення насіння рицини на базі розробленої технологічної схеми, обґрунтування її конструктивно-технологічних параметрів, виготовлення і впровадження у виробництво.

рицина, насіння, плід, лушпиння, насіннева суміш, лушення, очищення, сепарація, технологічна схема, машина

Постановка проблеми. Згідно з останніми директивами щодо біоекономіки, виданими Європейським Союзом, промисловий сектор повинен більше покладатися на матеріали біологічного походження замість традиційних нафтових ресурсів [1–2], а аграрний сектор може сприяти досягненню цієї мети шляхом покращення використання продуктів переробки олійних культур [3]. Однак вирощування технічних культур викликає занепокоєння щодо використання земель і, як наслідок, конкуренції між продовольчими та непродовольчими культурами [4]. Можливість вирощування технічних культур на малопродуктивних землях може стати найкращим компромісом для досягнення майбутніх енергетичних цілей ЄС без скорочення земель, доступних для виробництва продовольства [5]. Таким чином, варто досліджувати ланцюги створення доданої вартості культур із низькими вимогами до ресурсів, щоб вирішити поточні проблеми для їх масштабного впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рицина (*Ricinus communis L.*) є перспективною непродовольчою культурою [6–7], яку можна вирощувати в умовах низького рівня ресурсного забезпечення в Україні, досягаючи врожайності насіння 1,6–1,8 т/га (сорт Олеся), 1,7–2,1 т/га (сорт Хортичанка), 1,5–1,7 т/га (сорт Хортицька 3) [8]. Крім того, рицинову олію можна використовувати для різних цілей, таких як виробництво біодизеля, косметики, фармацевтичних препаратів, фарб, лаків, мастил для двотактних двигунів або компонентів напівжорсткої піни для термоізоляції [9–12]. Її внесок у зменшення залежності ЄС і України від імпорту рослинної олії для промислових і енергетичних цілей може бути відчутним, якщо буде належним чином розвинуто ефективний внутрішній ланцюг постачання рицинової олії.

Ricinus communis L. відомий багатьма дикими та напівкультурними типами, які відрізняються генетичними та фенотипічними характеристиками, досягаючи висоти,

подібної до середнього дерева [13]. У рицини насіння росте всередині капсул, розташованих на одному або декількох китицях, які розвиваються поступово протягом життя рослини. Внаслідок цього дозрівання насіння на китицях є неоднорідним [14–16]. Це ускладнює механізацію збирання насіння рицини, і на ринку досі бракує спеціалізованих машин. Тому насіння доводиться збирати вручну, що збільшує витрати на виробництво рицинової олії та пов'язаних із нею побічних продуктів. Однак ручне збирання для насінневого матеріалу високих репродукцій є доцільним через невеликі об'єми [17–18]. Тоді виникає технічна задача виділення і очищення насіння рицини з плодів (капсул, коробочок). Узагальнена технологічна схема отримання насіння рицини наведена на рис. 1. Існуюче обладнання для обрушення, шеретування, очищення насіння інших культур [19–22] не можна використовувати через високу ймовірність травмування насіння рицини. Це пов'язано із відмінністю реологічних властивостей насіння рицини від інших культур [23–24].

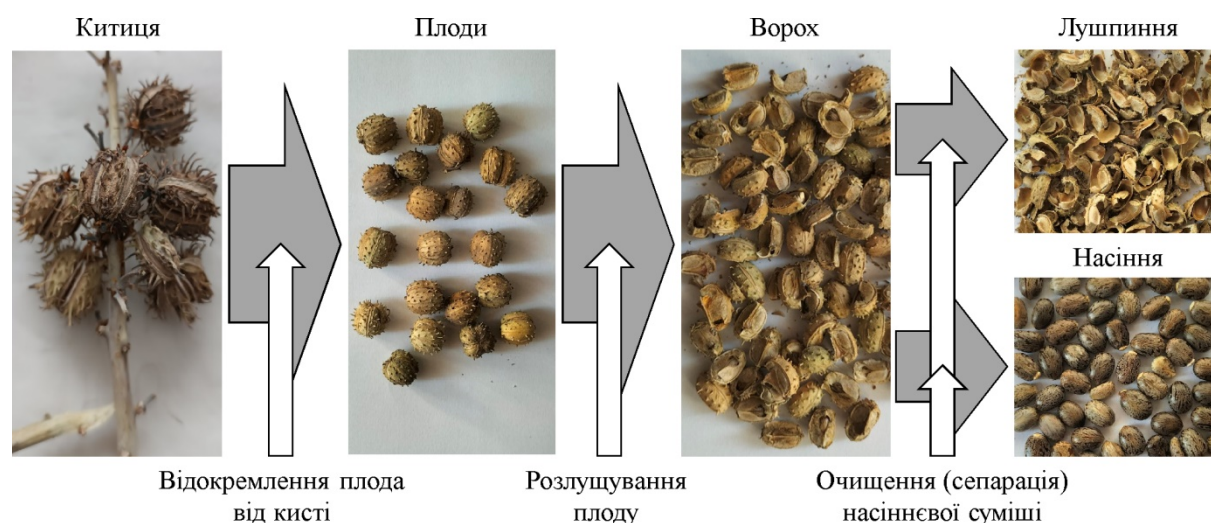


Рисунок 1 – Технологічні операції отримання насіння рицини

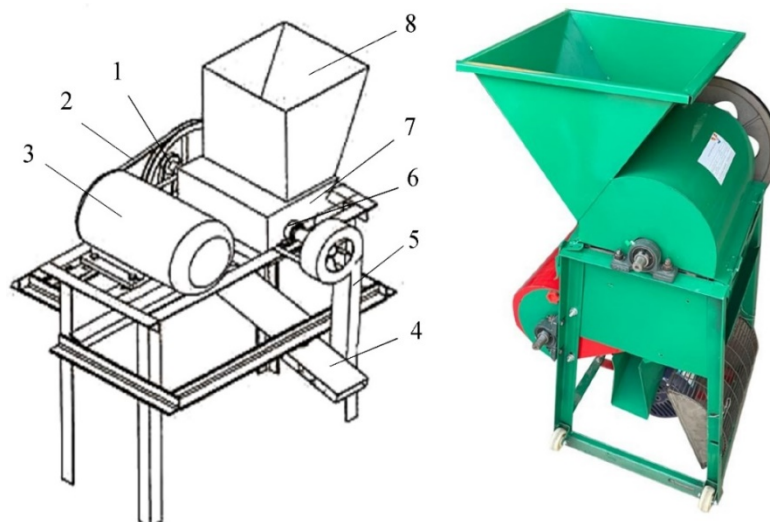
Джерело: розроблено авторами

Постановка завдання. Метою досліджень є проведення патентно-інформаційного аналізу і обґрунтування технологічної схеми машини для очищення насіння рицини.

Виклад основного матеріалу. Проведено патентно-інформаційний аналіз існуючих машин для виконання технологічної операції розлушування плоду і відокремлення насіння рицини.

В роботі [25] проведено оцінювання продуктивності локально розробленої машини для лущення плодів та відокремлення насіння рицини (рис. 2). Розробка машини була здійснена з метою зменшення трудомісткості, пов'язаної з переробкою рицинової олії. Машина складається з двох основних відсіків: блоку відокремлення та блоку лущення. Основним робочим органом блоку лущення є горизонтальний рифлений барабан. Недоліками наведеної машини є низька ефективність очищення, яка становить близько 48,7 %, що призводить до необхідності додаткового очищення насіння. Ефективність відокремлення та рівень вилучення насіння знижуються при збільшенні швидкості барабана, що обмежує продуктивність машини при роботі з великими обсягами сировини. Вищі швидкості також сприяють зростанню відсотка втрат насіння (0,98 % при 400 об/хв проти 0,50 % при 240 об/хв) і підвищують ризик механічного пошкодження насіння, що може впливати на його якість. Система

повітряного очищення недостатньо ефективна, тому потрібно вдосконалення системи аспірації. Машина працює краще з великим насінням рицини, тоді як дрібне насіння має більший відсоток невидаленого лушпиння, що потребує додаткових налаштувань. Крім того, через інтенсивне механічне навантаження на барабан, шків, ремені та інші рухомі частини можливе їх швидке зношування, що вимагатиме регулярного технічного обслуговування. Для підвищення ефективності роботи машини слід вдосконалити систему очищення, покращити налаштування для різних розмірів насіння та оптимізувати швидкісний режим для досягнення балансу між продуктивністю та якістю обробки.



1 – привідний шків; 2 – клиновий ремень; 3 – електродвигун; 4 – випускний жолоб; 5 – корпус вентилятора; 6 – корпус підшипника; 7 – блок лушення та відокремлення; 8 – завантажувальний бункер

Рисунок 2 – Машина для лушення плодів та відокремлення насіння рицини

Джерело: [25]

Роботи [26–27] охоплюють проектування, виготовлення та оцінку ефективності роботи машини для лушення насіння рицини. Машина була спроектована з загальною потребою в потужності 2,6 кВт і призначена для лушення вибраних сортів насіння рицини, що робить її придатною для малих і середніх виробників насіння рицини. Конструкція машини включає завантажувальний бункер, лущильний циліндр, решітчасту деку, підшипники, очищувальний блок, шків, вихід для насіння, вал і раму (рис. 3). Основними недоліками машини для лушення насіння рицини є її обмежена продуктивність, яка становить лише 12,19 кг/год, що може бути недостатнім для великих фермерських господарств або промислового використання. Високий рівень механічного пошкодження насіння (6,04%) може впливати на його подальше використання, особливо якщо насіння призначене для висадки або переробки в масло. Втрати насіння також є суттєвою проблемою, оскільки 2,89% насіння розсіюється або втрачається під час роботи машини, що знижує загальну ефективність процесу. Хоча машина виготовлена з локально доступних матеріалів, їх довговічність та зносостійкість можуть бути нижчими, ніж у промислових аналогів. Також вона має обмежену гнучкість у налаштуваннях, оскільки працює найкраще лише при конкретних параметрах (швидкість циліндра 220 об/хв, зазор 15 мм), що може бути неефективним для різних сортів насіння рицини з іншими характеристиками. Крім того, можливий високий рівень енергоспоживання, оскільки потужність машини становить 2,6 кВт, що

може бути витратним при тривалому використанні, особливо в регіонах із нестабільним електропостачанням.

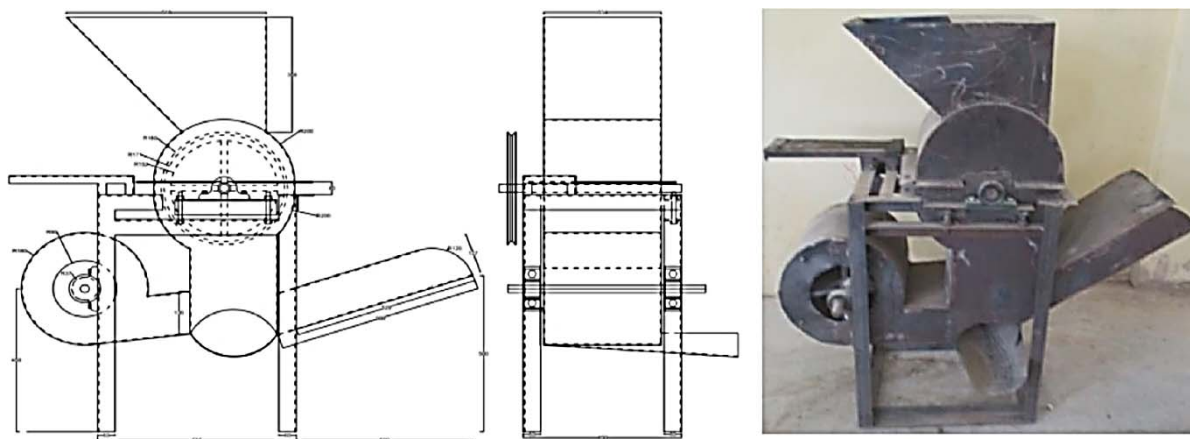


Рисунок 3 – Машина для лушення насіння рицини

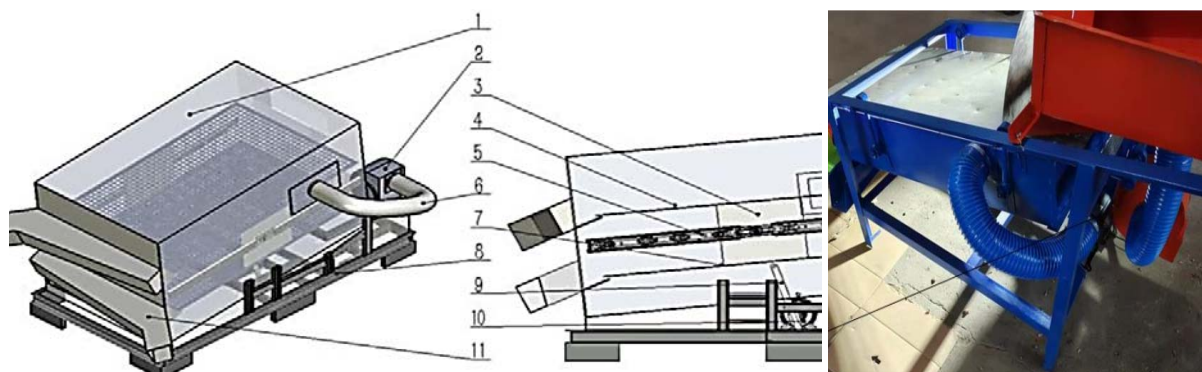
Джерело: [26-27]

В роботі [28] була спроектована та виготовлена валкова луцильна машина для насіння рицини типу CSSM-1, враховуючи всі активні частини з точки зору міцності та жорсткості. У цій роботі машина була модернізована до версії CSSM-2 для усунення всіх недоліків CSSM-1. Конструкція та характеристики були розроблені з урахуванням використання дрібного насіння рицини. Недоліки CSSM-1 полягали в недостатній ефективності лушення, очищення та сепарації, що вимагало модифікації конструкції. Механізм не був достатньо портативним і важким через більші розміри, а також були проблеми з надійністю і жорсткістю деяких компонентів. Висока маса та габарити обмежували можливості транспортування та експлуатації машини в різних умовах. Крім того, існувала необхідність у покращенні розподілу навантажень на вал і механізми, що могли б спричинити знос і поломки при інтенсивній роботі.

З метою поліпшення очисного ефекту луцильної суміші рицини в роботі [29] був розроблений повітряно-ситоподібний пристрій для очищення рицини (рис. 4). Він складається з області для очищення, вібраційного сита, випускного отвору, вентилятора, кривошипно-шатунного механізму, двигуна та рами. Основні недоліки пристрою для очищення насіння рицини включають обмеження у роботі з великими об'ємами матеріалу, складність налаштування оптимальних параметрів для різних умов та можливість забивання матеріалом, незважаючи на вдосконалення конструкції. Крім того, ефективність може змінюватися залежно від розміру отворів сита, що вимагає ретельного калібрування для мінімізації втрат насіння. Різноманітність в налаштуваннях повітряного потоку і вібрації може також впливати на якість очищення при різних умовах експлуатації.

Ряд патентів України на корисну модель [30–32] свідчать про деякий розвиток вітчизняної інженерної ідеї в напрямку розробки машини для попереднього очищення насіння рицини. Машина для попереднього очищення насіння рицини (рис. 5) складається з рами, бункера-живильника з регульованою заслінкою, лотка-живильника, барабана-решета, струшувача решета, пристрою для зниження витрат, очищувальної щітки, напрямних і конвеєрно-роторного решета. У лотку-живильнику на підшипникових опорах розташована пара прогумованих валків із можливістю регулювання зазору між ними. Ці валки обертаються в протилежних напрямках і мають різну кутову швидкість. Під ними встановлено пальцеві розпушувачі, що обертаються у

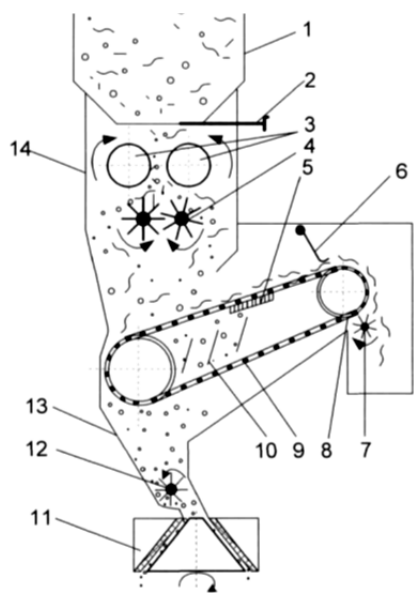
зворотному напрямку відносно валків. В патентах зазначений технічний результат, як підвищення ефективності післяживної обробки і сепарації насіння рицини. Однак при цьому у виробництво дана розробка не потрапила. Також відсутня інформація щодо експериментальних досліджень процесу роботи цього обладнання.



1 – очищувальна кімната; 2– вентилятор; 3 – вертикальні пластини; 4 – верхнє вібруюче сито; 5 – похила площина; 6 – канал; 7 – нижнє вібруюче сито; 8 – каркас; 9 – механізм кривошипно-колінчатий; 10 – двигун; 11 – вихідний отвір

Рисунок 4 – Повітряно-ситоподібний пристрій для очищення рицини

Джерело: [29]



1 – живильник; 2– регульована заслінка; 3 – прорезинені валки; 4 – пальцеві розрихлювачі; 5 – струшувач решета; 6 – витратознижуючий пристрій для обмеження висоти шару вороху; 7 – очищувача щітка; 8 – приводний барабан; 9 – конвеєрне решето; 10 – направляючі вороху; 11 – вальце-дековий очищувач; 12 – дозуючий пристрій; 13 – вивантажувальний лоток; 14 – лоток-живильник

Рисунок 5 – Машина для попереднього очищення насіння рицини

Джерело: [30–32]

Узагальнюючи проведений аналіз машин для розлушування плоду та відокремлення насіння складено принципові схеми будови робочих зон кожної групи машин (рис. 6).

До першої групи належать машини, у яких плід піддається луценню під дією тертя та зусиль стиснення між торцевими поверхнями двох дисків з абразиву або між

нерухомою декою та валком, що обертається. Зазначені машини відрізняються траєкторію руху плодів під час луцення та в часі впливу зусиль на них. Найпоширенішими є луцильні постави з нижнім бігуном, які мають вертикальну вісь, на якій обертається абразивний диск (бігун), тоді як верхній диск, паралельний нижньому, залишається нерухомим. Матеріал подається через отвір диску, який розташований зверху, та переміщується по спіралеподібній кривій і відходить у випускний патрубок за допомогою лопаток, прикріплених до диска. Сили, що діють при цьому способі механічного впливу на плід зводяться до стиснення та тертя кочення з ковзанням. Відносно переміщення плоду в міждисківому просторі постави забезпечується відцентровою силою. До цієї ж групи належать і вальцедеккові верстати, в яких плід піддається луценню між обертовим (піщаниковим) барабаном і нерухомо закріпленою декою, що прилягає до робочого валка з жорсткою або еластичною поверхнею. Плід, потрапляючи у робочу зону, поступово звужується від місця прийому до виходу, піддається дії комплексу зусиль – стиснення та тертя. При цьому час впливу на кожний плід менший порівняно з часом впливу в луцильних машинах, а траєкторія руху плоду наближена до частини кола.

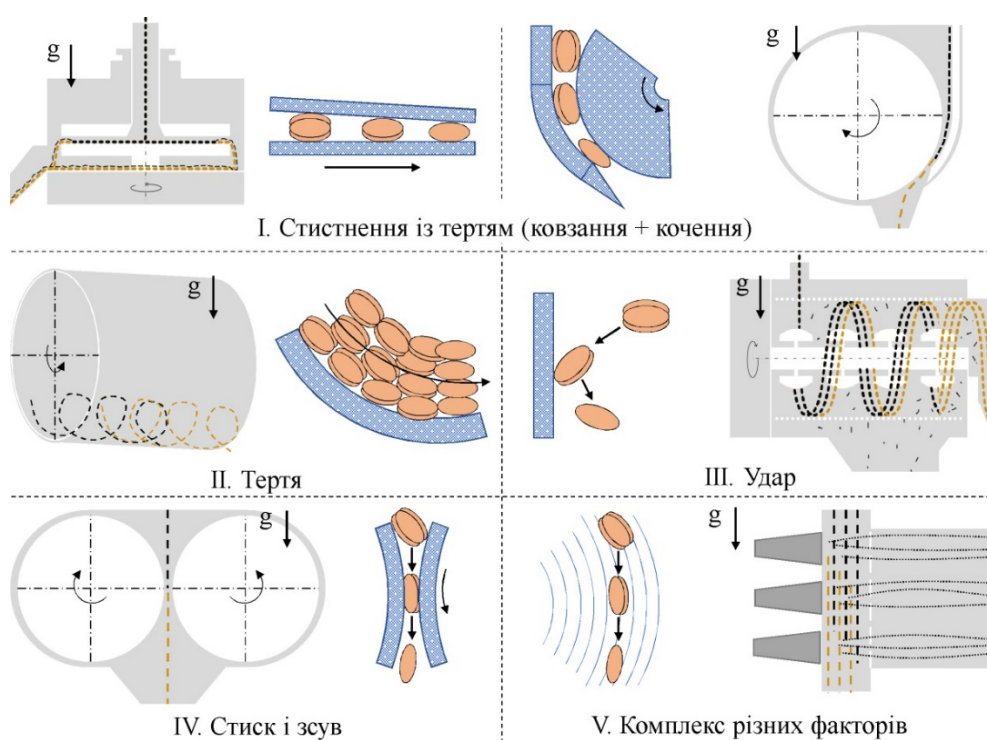


Рисунок 6 – Класифікація принципів схем будови робочих зон машин для розлушування плоду та відокремлення насіння

Джерело: розроблено авторами

До другої групи належать машини, у яких луцення відбувається за рахунок тривалого впливу сил тертя між плодами, та їх тертя об робочу поверхню дисків з абразиву і обичайку з перфараціями. Унаслідок інтенсивного мікрощування зовнішніх оболонок відбувається їх відділення. Для цього різновиду луцильно-шліфувальних машин характерним є обов'язкове заповнення робочої зони плодами. Лише за цієї умови створюються передумови для повного прояву сил тертя, що забезпечує ефективне видалення оболонок. Найпоширенішими є машини з горизонтальним розташуванням осі робочого вала. Плід шліфується на поверхні

робочого органу і по досягненню оболонки необхідної товщини відбувається лушення. Траєкторія руху плоду в робочій зоні цієї машини має вигляд гвинтової лінії.

До третьої групи належать машини, у яких плід лушиться під дією багаторазових ударів та інерційних сил. Це досягається за допомогою обертових бичів (лопатей), які відкидають насіння на тверду поверхню, внаслідок чого відбувається руйнування та відділення оболонок. Також плід може прискорюватися обертовим диском і вдарятися об нерухому кільцеву обичайку. До цього типу машин належать обоєчні машини, центробіжні лушильники, бичові машини тощо.

До четвертої групи входять машини, у яких лушення плода відбувається виключно внаслідок дії сил зсуву та стиснення. Використовують пару гумованих валків, що встановлені із зазначеним зазором і таких, що обертаються назустріч один одному із різною швидкістю. До обладнання цього типу належать різні конструкції лушильних машин із гумованими валками.

П'ята група машин відрізняється тим, що лушення плода відбувається під дією повітряного струменя, який створює комплекс різноманітних факторів, таких як перепади тиску, різниця швидкостей, дотичні сили та стрибки ущільнення. Ці явища виникають при обтіканні продукту високошвидкісним (звуковим або надзвуковим) потоком повітря. До цієї групи належать аеролушильні установки різних типів, які не мають рухомих робочих органів.

Узагальнюючи проведений аналіз машин для очищення насінневої суміші складено чотири групи їх принципівих схем (рис. 7).

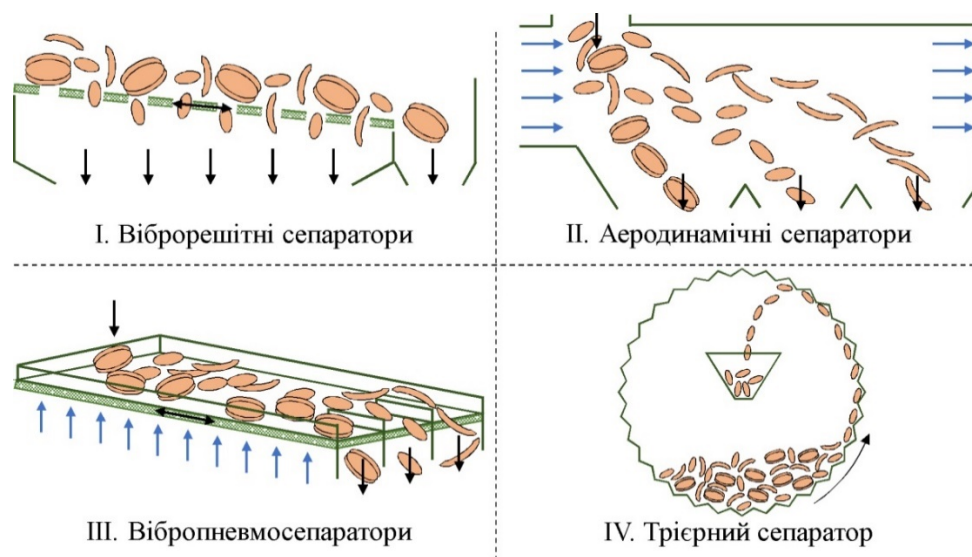


Рисунок 7 – Класифікація принципівих схем машин для очищення насінневої суміші

Джерело: розроблено авторами

Вібросітні сепаратори працюють на основі механічного розділення компонентів суміші за розмірами. Насіннева суміш подається на набори сит (решіт), які здійснюють коливальні рухи (вібрацію). Через отвори решіт проходять дрібні домішки (прохід), а великі залишаються зверху (схід). Процес може відбуватися в кілька етапів: перше сито видаляє великі домішки, наступні решета сортують насіння за розміром, у результаті отримують очищене насіння, розділене за фракціями. Основними перевагами такого сепаратора є висока продуктивність, простота конструкції та експлуатації, ефективне відсіювання механічних домішок.

Аеродинамічні сепаратори використовують потік повітря для розділення компонентів суміші за масою. Насіннева суміш подається в повітряний канал, де діє

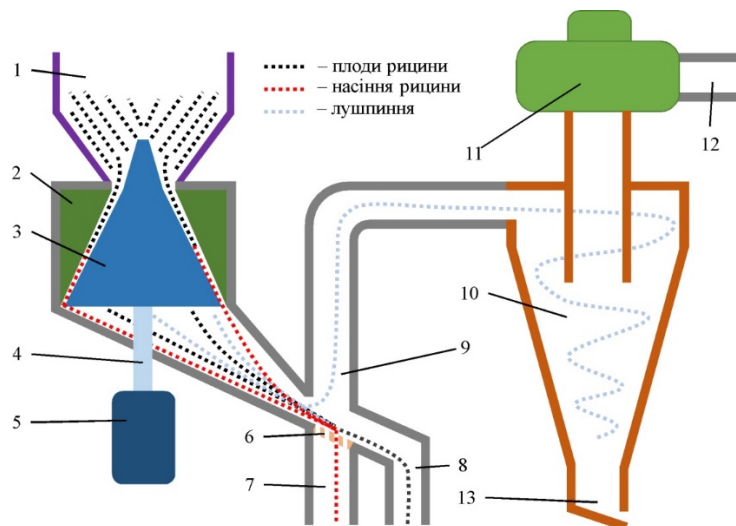
спрямований потік повітря: легкі домішки (лушпиння, пил) виносяться потоком в окрему камеру, важче насіння падає вниз і збирається в бункері, а деякі моделі мають багатоступеневі канали для точнішого розділення. До основних переваг таких сепараторів належить видалення пилу та дрібних органічних залишків, очищення насіння без механічних пошкоджень і висока ефективність при роботі з дрібним та легким насінням.

Вібропневмосепаратори поєднують механічне (вібраційне) та аеродинамічне очищення. Насіннева суміш переміщується на віброуючій поверхні у вигляді сітки, через яку поступає потік повітря. При цьому створюється псевдозріджений шар суміші. Суміш починає розділятися на компоненти за комплексом характеристик (маса, коефіцієнт тертя, аеродинамічні властивості). Основними перевагами таких сепараторів є поєднання двох ефективних методів очищення, висока якість очищення навіть складних сумішей та можливість регулювання інтенсивності вібрації та потоку повітря.

Трієрний сепаратор використовує різницю у формі та довжині насіння для відділення домішок. Насіння подається в обертовий барабан із комірками (трієрами), які захоплюють насіння певного розміру та транспортують його до спеціального жолоба, тоді як довші або коротші частинки залишаються у вихідному потоці та видаляються. Основними перевагами такого методу є висока точність розділення, видалення довгих (недозрілих) та коротких (битих) частинок, а також можливість сортування насіння різних культур.

Враховуючи те, що насіння рицини під час його відокремлення від плоду не повинно травмуватися, найбільш сприятливим способом є лушення плоду внаслідок дії сил стиснення та зсуву. Такої взаємодії можна досягти, використовуючи гумовий валок і нерухому гумову деку.

Під час технологічних операцій розлушування плоду і відокремлення насіння рицини утворюється суміш, яка містить три основні компоненти: нерозлушені або частково розлушені плоди (великі важкі компоненти), насіння рицини (середні компоненти) і лушпиння (маленькі легкі компоненти). У цьому випадку найкраще використовувати аеродинамічну сепарацію суміші із елементами решітного сепаратора. З урахуванням цього складено технологічну схему машини для очищення насіння рицини (рис. 8).



1 – завантажувальний бункер; 2 – нерухома гумова дека; 3 – конусоподібний гумовий валок; 4 – вал; 5 – мотор-редуктор; 6 – решето; 7 – патрубок для насіння; 8 – патрубок для нерозлушених або частково розлушених плодів; 9 – повітропровід; 10 – циклонний сепаратор; 11 – відцентровий вентилятор; 12 – патрубок для пилу; 13 – патрубок для лушпиння

Рисунок 8 – Технологічна схема машини для очищення насіння рицини

Джерело: розроблено авторами

Розроблена машина працює наступним чином: плоди рицини завантажуються у бункер, далі під дією сили тяжіння потрапляють у зазор між нерухомою гумовою декою і конусоподібним гумовим валком, який розміщено вертикально. Обертання валка забезпечує мотор-редуктор. Плоди рицини, проходячи через зазор, що звужується, розлушуються із відокремленням насіння рицини і лушпиння. Сформована насіннева суміш (нерозлушені або частково розлушені плоди, насіння рицини, лушпиння) потрапляє до зони, де встановлено решето. Нерозлушені або частково розлушені плоди сходять з решета і потрапляють у відповідний патрубок. В свою чергу, очищене насіння проходить через решето. Повітряний потік, створюваний відцентровим вентилятором, втягує лушпиння у циклонний сепаратор, де відбувається його накопичення та відділення пилоподібних домішок.

Розроблена машина має низку переваг:

- використання гумових елементів забезпечує делікатне лущення, що мінімізує пошкодження насіння і підвищує якість кінцевого продукту;
- поєднання решітного та аеродинамічного сепарування гарантує ефективне очищення насіння від лушпиння та нерозлушених плодів.

Висновки. В результаті патентно-інформаційного аналізу існуючих машин для виконання технологічної операції розлушування плоду і відокремлення насіння рицини встановлено їх недоліки: травмування очищеного насіння, обмеження у роботі з великими об'ємами матеріалу; складність налаштування оптимальних параметрів для різних умов та можливість забиття матеріалом.

Проведено класифікації принципів схем будови робочих зон машин для розлушування плоду та відокремлення насіння рицини та машин для очищення насінневої суміші.

Встановлено, що під час технологічних операцій розлушування плоду і відокремлення насіння рицини утворюється суміш, яка містить три основні компоненти: нерозлушені або частково розлушені плоди (великі важкі компоненти), насіння рицини (середні компоненти) і лушпиння (маленькі легкі компоненти). У цьому випадку найкраще використовувати аеродинамічну сепарацію суміші із елементами решітного сепаратора. З урахуванням цього складено технологічну схему машини для очищення насіння рицини, основними робочими органами якої є нерухома гумова дека, рухомий вертикальний конусоподібний гумовий валок, решето і циклонний сепаратор. Надалі передбачено розробку конструкції машини для очищення насіння рицини на базі розробленої технологічної схеми, обґрунтування її конструктивно-технологічних параметрів, виготовлення і впровадження у виробництво.

Список літератури

1. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the Loop—An EU Action Plan for the Circular Economy; COM/2015/0614; European Commission: Bruxelles, Belgium, 2015. <http://bastion.wum.edu.pl/wp-content/uploads/2013/09/Europe-2020-Flagship-Initiative-Innovation-Union.pdf>
2. Janiszewska D., Olchowski R., Nowicka A., Zborowska M., Marszałkiewicz K., Shams M., Giannakoudakis D.A., Anastopoulos I., Barczak M. Activated biochars derived from wood biomass liquefaction residues for effective removal of hazardous hexavalent chromium from aquatic environments. *GCB Bioenergy*. 2021. 13: 1247–1259. DOI: 10.1111/gcbb.12839
3. Park K., Sanjaya S.A., Quach T., Cahoon E.B. Toward sustainable production of value-added bioenergy and industrial oils in oilseed and biomass feedstocks. *GCB Bioenergy*. 2021. 13: 1610–1623. DOI: 10.1111/gcbb.12883
4. Gelfand I., Sahajpal R., Zhang X., Izaurralde R.C., Gross K.L., Robertson G.P. Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest. *Nature*. 2013. 493: 514–517. DOI: 10.1038/nature11811

5. Von Cossel M., Lewandowski I., Elbersen B., Staritsky I., Van Eupen M., Iqbal Y., Mantel S., Scordia D., Testa G., Cosentino S.L. Marginal Agricultural Land Low-Input Systems for Biomass Production. *Energies*. 2019. 12: 3123. DOI: 10.3390/en12163123
6. Zanetti F., Monti A., Berti M.T. Challenges and opportunities for new industrial oilseed crops in EU-27: A review. *Ind. Crops Prod.* 2013. 50: 580–595. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.08.030
7. Alexopoulou E., Papatheohari Y., Zanetti F., Tsiotas K., Papamichael I., Christou M., Namatov I., Monti A. Comparative studies on several castor (*Ricinus communis* L.) hybrids: Growth, yields, seed oil and biomass characterization. *Ind. Crops Prod.* 2015. 75: 8–13. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.07.015
8. Ведмедева К.В., Кавязіна М.Ю., Махова Т.В. Оцінка зразків рицини за господарсько – цінними ознаками. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2018. 26: 39-48. https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2018/26/Vedmedeva2_26.pdf
9. Carrino L., Visconti D., Fiorentino N., Fagnano M. Biofuel Production with Castor Bean: A Win–Win Strategy for Marginal Land. *Agronomy*. 2020. 10: 1690. DOI: 10.3390/agronomy10111690
10. Bateni H., Karimi K. Biodiesel production from castor plant integrating ethanol production via a biorefinery approach. *Chem. Eng. Res. Des.* 2016. 107: 4–12. DOI: 10.1016/j.cherd.2015.08.014
11. Ogunniyi D.S. Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresour. Technol.* 2006. 97: 1086–1091. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.03.028
12. Pędzik M., Janiszewska D., Rogoziński T. Alternative lignocellulosic raw materials in particleboard production: A review. *Ind. Crops Prod.* 2021. 174: 114162. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.114162
13. Anjani K. Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. *Ind. Crops Prod.* 2012. 35: 1–14. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.06.011
14. Vallejos M., Rondanini D., Wassner D.F. Water relationships of castor bean (*Ricinus communis* L.) seeds related to final seed dry weight and physiological maturity. *Eur. J. Agron.* 2011. 35: 93–101. DOI: 10.1016/j.eja.2011.04.003
15. Koutroubas S.D., Papakosta D.K., Doitsinis A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. *Eur. J. Agron.* 1999. 11: 227–237. DOI: 10.1016/S1161-0301(99)00034-9
16. Pari L., Latterini F., Stefanoni W. Herbaceous Oil Crops, a Review on Mechanical Harvesting State of the Art. *Agriculture*. 2020. 10: 309. DOI: 10.3390/agriculture10080309
17. Алієв Е.Б. Механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Запоріжжя. 2020. 530 с.
18. Алієв Е.Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС. 2019. 196 с. https://aliev.in.ua/doc/knigi/kniga_4.pdf
19. Петраченко Д.О., Мохер Ю.В., Коропченко С.П. Технологія оброщення насіння промислових конопель для малого бізнесу. *Scientific monograph*. Riga, Latvia: «Baltija Publishing». 2023. 645-671. DOI: 10.30525/978-9934-26-328-6-29
20. Теслюк Г.В. Обґрунтування технологічного процесу, параметрів та режимів роботи машини для виділення насіння гарбуза: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Дніпропетровськ. 2010. 147 с. <https://uacademic.info/ua/document/0410U001669>
21. Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Верхованцева В.О. Технологічне обладнання для виробництва рослинної олії. Електронний навчальний посібник. 2021. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_29/index.html
22. Шевчук В.В., Сукач О.М. Процеси і засоби для подрібнення насіння олійних культур: монографія. Львів: Львівський національний аграрний університет. 2018. 105 с. https://repository.lnup.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/558/1/Shevchuk_monograf.pdf
23. Дідур В.В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини в умовах малотоннажного підприємства: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Мелітополь. 2020. 504 с. http://www.tsatu.edu.ua/nauka/wp-content/uploads/sites/49/dyssertacyja-dydur-vv_.pdf
24. Yang L., Chen H., Xiao J., Fan Y., Song S., Zhang Y., Liu X. Research on Structural–Mechanical Properties during the Castor Episperme Breaking Process. *Processes*. 2021. 9: 1777. DOI: 10.3390/pr9101777
25. Balamı A.A., Adgidzi D., Kenneth C.A., Lamuwa G. Performance Evaluation of a Dehusking and Shelling Machine for Castor Fruits and Seeds. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2012. 2 (10): 44–48. DOI: 10.9790/3021-021014448
26. Yakubu A.U., Muhammad U.S., Isiaka M., Sada A.M., Saleh A. Development of Castor (*Ricinus Communis*) Seeds Shelling Machine. *Nigerian Journal of Engineering*. 2020. 27 (3): 28–34.
27. Yakubu A.U., Muhammad U.S., Ishiaka M., Muhammad S.A., Sale N.A. Development and Performance Evaluation of a Castor Seed (*Ricinus Communis*) Shelling Machine with a Winnowing System. *FUOYE Journal of Engineering and Technology (FUOYEJET)*. 2020. 5 (1): 2–5. DOI: 10.46792/fuoyejet.v5i1.430

28. Pius C.O., Nnaemeka S.P.O., Charles O., Vincent N.O., Chinenye A.I. Design Enhancement Evaluation of a Castor Seed Shelling Machine. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2014. 3 (7): 924–938. DOI: 10.9734/JSRR/2014/5557
29. Hou J., Liu X., Zhu H., Ma Z., Tang Z., Yu Y., Jin J., Wang W. Design and Motion Process of Air-Sieve Castor Cleaning Device Based on Discrete Element Method. *Agriculture*. 2023. 13(6): 1130. DOI: 10.3390/agriculture13061130

References

1. *European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the Loop—An EU Action Plan for the Circular Economy*; COM/2015/0614; European Commission: Bruxelles, Belgium, 2015. <http://bastion.wum.edu.pl/wp-content/uploads/2013/09/Europe-2020-Flagship-Initiative-Innovation-Union.pdf>.
2. Janiszewska, D., Olchowski, R., Nowicka, A., Zborowska, M., Marszałkiewicz, K., Shams, M., Giannakoudakis, D.A., Anastopoulos, I., Barczak, M. (2021). *Activated biochars derived from wood biomass liquefaction residues for effective removal of hazardous hexavalent chromium from aquatic environments*. *GCB Bioenergy*. 13: 1247–1259. DOI: 10.1111/gcbb.12839.
3. Park, K., Sanjaya, S.A., Quach, T., Cahoon, E.B. (2021). *Toward sustainable production of value-added bioenergy and industrial oils in oilseed and biomass feedstocks*. *GCB Bioenergy*. 13: 1610–1623. DOI: 10.1111/gcbb.12883.
4. Gelfand, I., Sahajpal, R., Zhang, X., Izaurrealde, R.C., Gross, K.L., Robertson, G.P. (2013). *Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest*. *Nature*. 493: 514–517. DOI: 10.1038/nature11811.
5. Von Cossel, M., Lewandowski, I., Elbersen, B., Staritsky, I., Van Eupen, M., Iqbal, Y., Mantel, S., Scordia, D., Testa, G., Cosentino, S.L. (2019). *Marginal Agricultural Land Low-Input Systems for Biomass Production*. *Energies*. 12: 3123. DOI: 10.3390/en12163123.
6. Zanetti, F., Monti, A., Berti, M.T. (2013). *Challenges and opportunities for new industrial oilseed crops in EU-27: A review*. *Ind. Crops Prod*. 50: 580–595. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.08.030.
7. Alexopoulou, E., Papatheohari, Y., Zanetti, F., Tsiotas, K., Papamichael, I., Christou, M., Namatov, I., Monti, A. (2015). *Comparative studies on several castor (*Ricinus communis* L.) hybrids: Growth, yields, seed oil and biomass characterization*. *Ind. Crops Prod*. 75: 8–13. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.07.015.
8. Vedmedeva, K.V., Kavyazina, M.Yu., Makhov, T.V. (2018). *Otsinka zrazkiv rytsyny za hospodars'ko – tsinnymy oznakamy [Evaluation of castor oilseed samples by economic and valuable characteristics]*. Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of the NAAS. 26: 39–48. https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2018/26/Vedmedeva2_26.pdf [in Ukrainian].
9. Carrino, L., Visconti, D., Fiorentino, N., Fagnano, M. (2020). *Biofuel Production with Castor Bean: A Win-Win Strategy for Marginal Land*. *Agronomy*. 10: 1690. DOI: 10.3390/agronomy10111690.
10. Bateni, H., Karimi, K. (2016). *Biodiesel production from castor plant integrating ethanol production via a biorefinery approach*. *Chem. Eng. Res. Des*. 107: 4–12. DOI: 10.1016/j.cherd.2015.08.014.
11. Ogunniyi, D.S. (2006). *Castor oil: A vital industrial raw material*. *Bioresour. Technol*. 97: 1086–1091. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.03.028.
12. Pędzik, M., Janiszewska, D., Rogoziński, T. (2021). *Alternative lignocellulosic raw materials in particleboard production: A review*. *Ind. Crops Prod*. 174: 114162. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.114162.
13. Anjani, K. (2012). *Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation*. *Ind. Crops Prod*. 35: 1–14. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.06.011.
14. Vallejos, M., Rondanini, D., Wassner, D.F. (2011). *Water relationships of castor bean (*Ricinus communis* L.) seeds related to final seed dry weight and physiological maturity*. *Eur. J. Agron*. 35: 93–101. DOI: 10.1016/j.eja.2011.04.003.
15. Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A. (1999). *Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate*. *Eur. J. Agron*. 11: 227–237. DOI: 10.1016/S1161-0301(99)00034-9.
16. Pari, L., Latterini, F., Stefanoni, W. (2020). *Herbaceous Oil Crops, a Review on Mechanical Harvesting State of the Art*. *Agriculture*. 10: 309. DOI: 10.3390/agriculture10080309.
17. Aliiev, E.B. (2020). *Mekhaniko-tehnolohichni osnovy protsesu pretsyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku [Mechanical and technological foundations of the process of precision separation of sunflower seed material]*: dissertation ... Dr. Tech. Sciences: 05.05.11. Zaporizhzhia. 530 p. [in Ukrainian].
18. Aliiev, E.B. (2019). *Fyzyko-matematychni modeli protsesiv pretsyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku: monohrafiya [Physical and mathematical models of processes of precision separation of*

- sunflower seed material: monograph*]. Zaporizhzhia: STATUS. 196 p. aliev.in.ua/doc/knigi/kniga_4.pdf [in Ukrainian].
19. Petrachenko, D.O., Moher, Y.V., Koropchenko, S.P. (2023). *Tekhnolohiya obrushennya nasynnya promyslovykh konopel' dlya maloho biznesu [Technology of crushing industrial hemp seeds for small businesses. Scientific monograph]*. Riga, Latvia: «Baltija Publishing». 645-671. DOI: 10.30525/978-9934-26-328-6-29 [in Ukrainian].
 20. Teslyuk, G.V. (2010). *Obgruntuvannya tekhnolohichnoho protsesu, parametriv ta rezhymiv roboty mashyny dlya vydilennya nasynnya harbuza [Justification of the technological process, parameters and operating modes of the machine for extracting pumpkin seeds]: dissertation ... candidate of technical sciences: 05.05.11. Dnipropetrovsk. 147 p.. <https://uacademic.info/ua/document/0410U001669> [in Ukrainian]*.
 21. Samoychuk, K.O., Palyanychka, N.O., Verkholtantseva, V.O. (2021). *Tekhnolohichne obladnannya dlya vyrobnytstva roslynnoyi oliyi [Technological equipment for the production of vegetable oil. Electronic textbook]*. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_29/index.html [in Ukrainian].
 22. Shevchuk, V.V., Sukach, O.M. (2018). *Processes and means for grinding oilseeds: monograph*. Lviv: Lviv National Agrarian University. 105 p. https://repository.lnup.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/558/1/Shevchuk_monograf.pdf [in Ukrainian].
 23. Didur, V.V. (2020). *Mechanical and technological foundations of deep processing of castor seeds in the conditions of a small-scale enterprise: dissertation ... Dr. Tech. Sciences: 05.05.11. Melitopol. 504 p. http://www.tsatu.edu.ua/nauka/wp-content/uploads/sites/49/dyssertacyja-dydur-vv_.pdf [in Ukrainian]*.
 24. Yang, L., Chen, H., Xiao, J., Fan, Y., Song, S., Zhang, Y., Liu, X. (2021). *Research on Structural–Mechanical Properties during the Castor Episperm Breaking Process*. *Processes*. 9: 1777. DOI: 10.3390/pr9101777.
 25. Balam, A.A., Adgidi, D., Kenneth, C.A., Lamuwa, G. (2012). *Performance Evaluation of a Dehusking and Shelling Machine for Castor Fruits and Seeds*. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2 (10): 44–48. DOI: 10.9790/3021-021014448.
 26. Yakubu, A.U., Muhammad, U.S., Isiaka, M., Sada, A.M., Saleh, A. (2020). *Development of Castor (Ricinus Communis) Seeds Shelling Machine*. *Nigerian Journal of Engineering*. 27 (3): 28–34.
 27. Yakubu, A.U., Muhammad, U.S., Ishiaka, M., Muhammmad, S.A., Sale, N.A. (2020). *Development and Performance Evaluation of a Castor Seed (Ricinus Communis) Shelling Machine with a Winnowing System*. *FUOYE Journal of Engineering and Technology (FUOYEJET)*. 5 (1): 2–5. DOI: 10.46792/fuoyejet.v5i1.430.
 28. Pius, C.O., Nnaemeka, S.P.O., Charles, O., Vincent, N.O., Chinenye, A.I. (2014). *Design Enhancement Evaluation of a Castor Seed Shelling Machine*. *Journal of Scientific Research and Reports*. 3 (7): 924–938. DOI: 10.9734/JSRR/2014/5557.
 29. Hou, J., Liu, X., Zhu, H., Ma, Z., Tang, Z., Yu, Y., Jin, J., Wang, W. (2023). *Design and Motion Process of Air-Sieve Castor Cleaning Device Based on Discrete Element Method*. *Agriculture*. 13(6): 1130. DOI: 10.3390/agriculture13061130.

Hennadii Tesliuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Valentyn Golovchenko**

Dnipro state agrarian and economic university, Dnipro, Ukraine

Development of Mechatronic Systems for Targeted Separation and Selection of Seed Material

The article analyzes the current state of development of castor seed cleaning technologies and identifies the main drawbacks of existing solutions. It has been established that traditional hulling methods based on mechanical impact (friction, compression, impact) have low efficiency, cause significant seed damage, and require improvement to enhance cleaning quality. A classification of the fundamental structural schemes of working zones in machines for hulling castor fruits, separating castor seeds, and cleaning seed mixtures has been conducted. It has been determined that during the technological operations of hulling castor fruits and separating seeds, a mixture is formed that consists of three main components: unhulled or partially hulled fruits (large heavy components), castor seeds (medium components), and husks (small light components). In this case, the best approach is to use aerodynamic separation of the mixture combined with elements of a sieving separator. Based on this, a technological scheme for a castor seed cleaning machine has been developed, with the main working elements being a stationary rubber deck, a movable vertical conical rubber roller, a sieve, and a cyclone separator. Further work includes the development of the machine's design based on the proposed technological scheme, justification of its structural and technological parameters, manufacturing, and implementation in production.

castor oil, seeds, fruit, husk, seed mixture, peeling, cleaning, separation, technological scheme, machine

Одержано (Received) 05.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 12.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 14.03.2025