



Д. О. Петраченко, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-1347-9562

*Відокремлений структурний підрозділ «Глухівський агротехнічний фаховий коледж
Сумського національного аграрного університету»*

e-mail: dpetrachenko@i.ua

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОБРУШУВАЧА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ ЯДРА НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ

Анотація. У роботі досліджено вплив ключових технологічних параметрів на ефективність механічного обрешування насіння промислових конопель. Установлено, що найбільший вплив на процес відділення оболонки від ядра має фракційний склад насіння: дрібна фракція насіння (<2,5 мм) забезпечує мінімальний вихід ядра (<10 %), середня фракція (2,5–3,0 мм) – до 17 %, а велика (>3,0 мм) – 20–22 %. Оптимальна частота обертання робочого органу становить 2 000 об/хв, оскільки перевищення цього значення спричиняє надмірне подрібнення ядра. Вологість насіння має незначний вплив на ефективність процесу обрешування, а її оптимальне значення визначено на рівні 16,3 %. Виявлено, що досліджувані фактори на процес обрешування насіння промислових конопель впливають незалежно, без суттєвої взаємодії між собою. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції обрешувальних пристроїв та розробки оптимальних технологічних режимів їх роботи.

Ключові слова: коноплі, фракція насіння, параметри обрешування, вихід ядра, відцентровий обрешувач.

Постановка проблеми. Останніми роками промислові коноплі (*Cannabis sativa* L.) набули широкого поширення в агропромисловому секторі завдяки їхній високій харчовій, технічній та екологічній цінності [1]. Насіння конопель містить значну кількість білків, незамінних жирних кислот та біологічно активних речовин, що робить їх важливим компонентом для харчової промисловості [2]. Зокрема, конопляне насіння використовується для виробництва олії, рослинного білка, функціональних харчових продуктів й обрешеного ядра. Однак для виготовлення конопляного ядра необхідно ефективно відокремити ядро від оболонки, що потребує відповідної технологічної обробки. З огляду на це, технологічна переробка насіння шляхом обрешування залишається важливим завданням через необхідність забезпечення максимального виходу готового продукту.

Механічне обрешування насіння є ключовим етапом у технологічному ланцюгу його переробки. Висока ефективність цього процесу дає змогу забезпечити максимальний вихід ядра з мінімальними втратами. Однією з основних проблем цього напрямку переробки є вибір раціональних режимів роботи обладнання для ефективного обрешування насіння. Відомо [3], що техніко-технологічні параметри обладнання та фізико-механічні властивості насіння значно впливають на ефективність процесу. Недостатня оптимізація цих факторів може призводити до зниження виходу ядра або підвищення кількості не обрешеного насіння.

Попередні дослідження [4] показали, що використання відцентрового механізму при обрешуванні насіння конопель забезпечує ефективність процесу відділення оболонки від ядра завдяки дії відцентрових сил та контрольованого механічного впливу. Водночас вплив режимних параметрів на вихід обрешеного ядра та ефективність його відокремлення від оболонки залишається недостатньо вивченим, що зумовлює необхідність подальших досліджень. Оптимізація технологічних режимів цього процесу дасть змогу забезпечити максимальну ефек-



тивність механічного відокремлення ядра, підвищити якість кінцевої продукції та зменшити кількість відходів. З огляду на це, виникає потреба в проведенні комплексних досліджень, спрямованих на визначення оптимальних параметрів роботи відцентрового обрешувача для насіння промислових конопель.

Аналіз останніх досліджень. Розробка обладнання для механічного обрешування насіння різних культур є важливим аспектом агропромислової переробки зернових та технічних культур. Оптимізація цього процесу дає змогу підвищити вихід ядра, зменшити технологічні втрати та покращити якісні характеристики кінцевого продукту. У низці досліджень розглядалася можливість використання універсальних механізмів, здатних працювати з різними видами насіння, однак такі підходи стикаються з низкою технологічних обмежень. Так для обрешування спелі й емеру були випробувані пристрої, первісно призначені для обробки вівса, рису, ячменю, сояшника та конюшини. Дослідження показали, що їх застосування без відповідних адаптацій не забезпечує належної ефективності процесу. Зокрема, без внесення конструктивних змін відбувалося зниження якості обрешеного продукту, підвищення втрат та значне зменшення продуктивності обладнання [5]. Подібні негативні результати отримані й при спробах застосування стандартних механізмів для обрешування насіння спелі, що не тільки знижувало вихід, а й призводило до надмірного пошкодження продукту [6].

При механічному обрешуванні насіння сояшника встановлено, що ефективність процесу залежить від типу використовуваного механізму та його конструктивних особливостей [7]. Використання повітряно-струменевих ударних обрешувачів показало вищу ефективність при роботі з високолейновими та ліновими сортами сояшника, але лише за умови точного регулювання тиску та рівня вологості насіння [8]. Це підтверджує важливість добору оптимальних параметрів обрешування, оскільки відхилення від визначених значень може спричинити як недообрешення, так і надмірне подрібнення ядра.

Подібні закономірності спостерігаються й при обрешуванні інших культур. Так, у випадку переробки насіння гороху голубиною експериментально встановлено, що досягнення ефективного відокремлення оболонки можливе лише за умови правильного співвідношення між параметрами механізму та фізико-механічними характеристиками сировини [9]. В іншому разі спостерігається зниження виходу продукту й збільшення втрат.

Отже, кожен вид насіння вимагає специфічних параметрів роботи обладнання, що підтверджує неможливість розробки універсального механізму, який би забезпечував високу якість обрешеного ядра для всіх видів культур. Наявні механізми не забезпечують універсального підходу до обробки насіння з різними фізико-механічними характеристиками. Для ефективного обрешування кожного виду насіння необхідні спеціалізовані технологічні рішення й адаптовані режими роботи обладнання. Це особливо актуально для насіння промислових конопель, яке відрізняється складною геометричною формою та специфічними властивостями його структурних компонентів.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Мета дослідження – оцінити вплив основних технологічних факторів на ефективність процесу механічного відокремлення оболонки та визначити оптимальні умови для виходу ядра. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції обладнання та оптимізації режимів його роботи.

Основна частина. Дослідження процесу обрешування проводили на насінні промислових конопель сорту «Глєсія», вирощеного на виробничих посівах Інституту луб'яних культур НААН України. Для визначення фізико-механічних властивостей насіння застосовували загальноприйняті методики та стандартні дослідницькі прийоми [10]. Сортували насіння за розміром з використанням лабораторних решіт із подовженими отворами розміром 3,0×20 мм та 2,5×20 мм. Насіння подавали на решета, які здійснювали зворотно-поступальні коливання,



що забезпечувало його розділення на три фракції: велика ($>3,0$ мм), середня ($2,5-3,0$ мм), дрібна ($<2,5$ мм). Кожна виділена фракція насіння досліджувалася окремо. Для визначення маси насіння та складників рушанки використовували електронні ваги.

Вологість насіння визначали за допомогою лабораторної сушильної шафи. У дослідженні застосовували насіння з такими рівнями вологості: 8,8 %, 16,3 % та 21,6 %. Збільшення вологості здійснювали протягом трьох діб штучним шляхом методом розпилення води. Після зволоження насіння піддавали природному підсушуванню до такого стану, щоб воно не мало видимих слідів води та зберігало сипучість у вільному стані. Кожна партія насіння з певним рівнем вологості оброблювалася окремо.

Процес обрушування насіння конопель здійснювали за допомогою експериментального відцентрового пристрою власної конструкції [3]. Кожен зразок насіння обробляли окремо. Маса наважки для кожного варіанта обрушування 200 г. Дослідження проводили шляхом виконання серії експериментів. Повторюваність для кожного варіанта п'ятикратна.

Насіння в обрушувач подавали зверху через спеціальний завантажувальний отвір у сипучому стані. При контакті з робочим колесом, що оберталося з визначеною частотою, насіння змінювало напрямок руху та з певною силою вдарилося об стінки відбивної деки. Після проходження через пристрій отриману рушанку – суміш обрушених та необрушених частинок насіння – піддавали подальшому поділу за допомогою повітряно-решітного сепаратора.

У процесі досліджень використовували такі конструктивні параметри: зазор між робочим колесом та відбивною декою становив 15 мм, діаметр робочого колеса – 236 мм. Частота обертання робочого органу варіювалася на рівнях 1500, 2000 та 2500 об/хв.

Ефективність процесу оцінювали після кожного експериментального циклу, аналізуючи кількість отриманого обрушеного ядра. Опрацювання отриманих даних виконували в програмному середовищі Statistica 10.0, що давало змогу провести детальний статистичний аналіз отриманих результатів.

Для оцінки впливу основних технологічних параметрів на процес обрушування насіння промислових конопель проведено багатофакторний експеримент третього порядку (ПФЕ³). У процесі дослідження розглядалися три основні фактори: частота обертання робочого колеса (N), фракція насіння (D), вологість насіння (W) (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні факторів та їх натуральні значення

Фактор	Натуральне позначення	Інтервал варіювання	Натуральні рівні варіювання		
			верхній	нульовий	нижній
Частота обертання, об/хв.	N	500	2500	2000	1500
Фракція насіння, мм	D	0,5	$>3,0$	2,5-3,0	$<2,5$
Вологість насіння, %	W	5,3-7,5	21,6	16,3	8,8

Як функцію відгуку використовували вихід ядра (R) після обрушування, що характеризує ефективність відокремлення ядра від оболонки та є одним з ключових параметрів при оцінці продуктивності процесу. Цей показник визначався як відношення маси обрушеного ядра до маси початкової наважки насіння, виражене у відсотках. Це давало змогу об'єктивно оцінити рівень руйнування оболонки та ступінь вилучення ядра. Високі значення виходу ядра свідчили про ефективність механізму обрушування, тоді як низькі показники вказували на неповне обрушування або надмірне подрібнення ядра.

У результаті проведення повного факторного експерименту отримано рівняння регресії (1), (2), (3), що описують вплив основних факторів – вологості насіння (W), фракції насіння (D) та частоти обертання робочого колеса (N) – на вихід ядра (R). На основі цих рівнянь побудовано тривимірні моделі (рис. 1), що відображають залежності виходу ядра від комбінацій досліджуваних факторів.

$$R = 45,9049 - 31,1766 \times D - 0,3078 \times W + 6,7 \times D^2 + 0,0787 \times DW + 0,0094 \times W^2 \quad (1)$$

$$R = -113,0583 + 0,1249 \times N + 0,4147 \times W - 3,0167 \times 10^{-5} \times N^2 - 0,0003 \times NW + 0,0094 \times W^2 \quad (2)$$

$$R = -119,0911 + 0,1442 \times N - 11,1856 \times D - 3,0167 \times 10^{-5} \times N^2 - 0,0094 \times ND + 6,7 \times D^2 \quad (3)$$

За результатами дослідження відзначено, що кожен із факторів має різний ступінь впливу на ефективність процесу обрушування. Найбільше на процес обрушування впливає фракційний склад насіння (D), середній – частоти обертання робочого колеса (N), а найменший – вологість

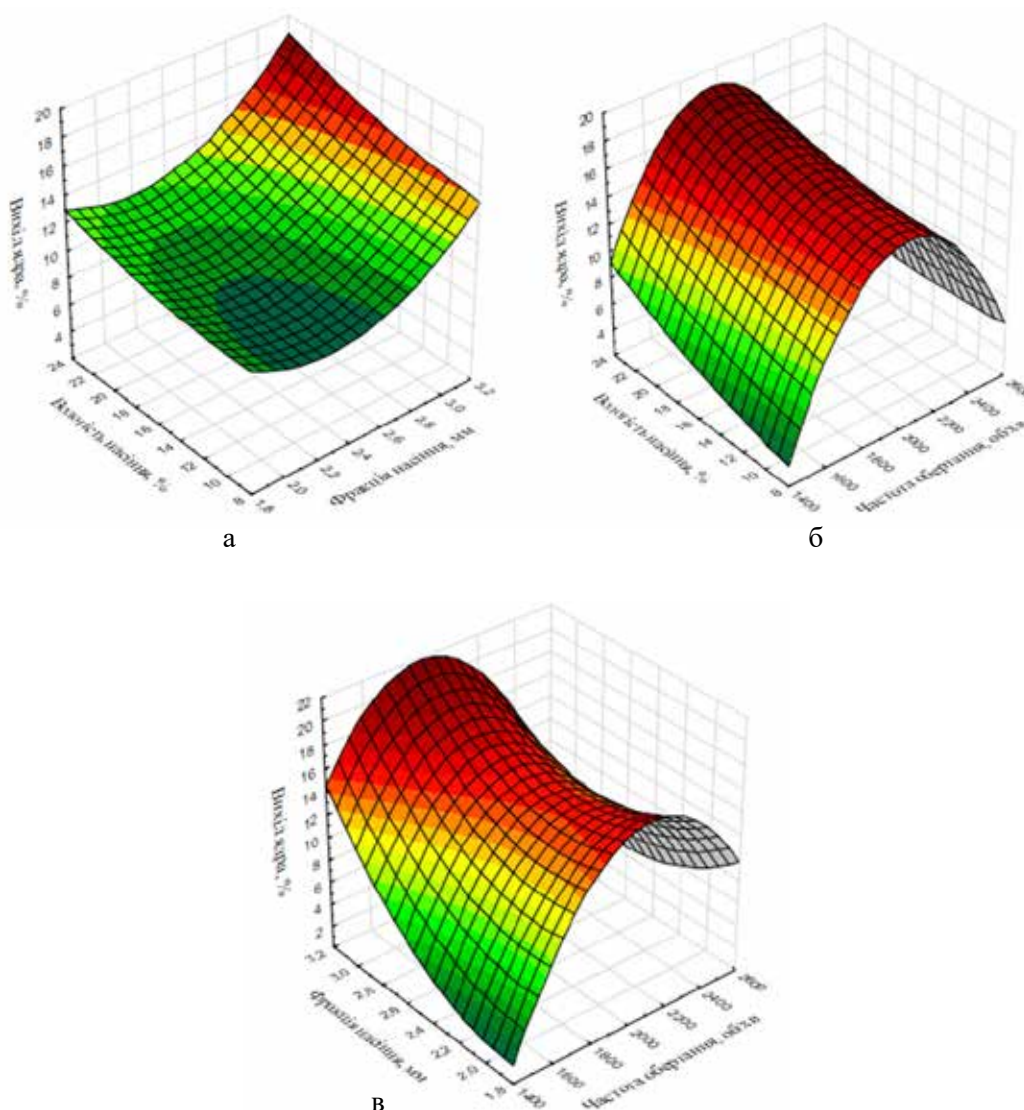


Рис. 1. Поверхні відгуку ефективності обрушування насіння конопель залежно від досліджуваних факторів: а – вологість насіння – фракція насіння; б – вологість насіння – частота обертання; в – фракція насіння – частота обертання



насіння (*W*). Взаємодія між факторами виявилася незначною, що свідчить про те, що кожен параметр впливає на процес обрушування відносно незалежно.

Відмічено, що збільшення вологості насіння призводить до незначного збільшення виходу ядра, однак вплив цього фактору є мінімальним порівняно з іншими дослідженими параметрами. За вологості 8,8 % вихід ядра становить у середньому 13–14 %, тоді як за вологості 21,6 % вихід збільшується до 16–17 %. Це свідчить про те, що підвищена вологість може сприяти зменшенню міцності оболонки та полегшує її відокремлення. Водночас надмірне підвищення вологості призводить до утворення більшої кількості недоруш, що знижує якість кінцевого продукту. Тому можна відмітити, що оптимальним для цих умов обрушування є вологість насіння на рівні 16,3 %. Адже саме при цьому значенні спостерігається краще співвідношення між виходом ядра та мінімізацією відходів.

Фракційний склад насіння найбільше впливає на процес обрушування. При використанні дрібної фракції насіння (<2,5 мм) вихід ядра не перевищує 10 %. Це може бути наслідком високої міцності дрібного насіння та його недостатнім руйнуванням при контакті з відбивною декою машини. Водночас для середньої фракції (2,5–3,0 мм) вихід ядра збільшується до 12–17 %, що свідчить про покращення ефективності обрушування. Найбільш високий вихід спостерігається для фракції більш ніж 3,0 мм, де частка обрушеного ядра досягає 20–22 %. Це може бути наслідком того, що більше за розміром насіння має тоншу оболонку, що полегшує її відокремлення в процесі механічного впливу. Так, кращі результати досягаються при використанні фракції більш ніж 3,0 мм, оскільки при цьому забезпечується найбільший вихід обрушеного ядра.

Частота обертання робочого колеса є другим за значущістю фактором, який впливає на ефективність процесу обрушування. За частоти обертання 1500 об/хв вихід ядра становить у середньому 12–14 %, що недостатньо для ефективного обрушування. Збільшення частоти до 2000 об/хв дає змогу підвищити вихід до 16–18 %, що свідчить про покращення ступеня відокремлення оболонки. Однак подальше підвищення частоти обертання до 2500 об/хв призводить до зменшення виходу ядра до 9–11 %, що пояснюється підвищеним рівнем подрібнення та збільшенням частки відходів. Так, оптимальна частота обертання для процесу обрушування становить 2000 об/хв, оскільки саме при цьому значенні забезпечується більший вихід ядра.

Аналіз взаємодії між факторами показав, що суттєвого комбінованого ефекту не спостерігається. Підвищення вологості насіння значно не впливає на зміну виходу ядра за різних рівнів частоти обертання. Аналогічно зміна частоти обертання суттєво не впливає на ефективність обрушування для різних фракцій насіння. Це свідчить про те, що кожен із факторів має відносно незалежний вплив на процес обрушування конопляного насіння.

Висновки. Установлено, що найбільше на вихід ядра впливає фракційний склад насіння – збільшення розміру насіння сприяє покращенню ефективності обрушування. Середній вплив має частота обертання робочого колеса, оскільки її підвищення до певного рівня збільшує вихід ядра, але надмірне збільшення призводить до підвищеного рівня подрібнення. Найменший вплив спостерігається для показника вологості насіння, яка має лише незначний ефект на процес відокремлення оболонки.

Для забезпечення максимального виходу ядра при використанні механізму з діаметром робочого колеса 236 мм і зазором між колесом та декою 15 мм визначено такі оптимальні параметри: фракція насіння більш ніж 3,0 мм, частота обертання робочого колеса 2000 об/хв та вологість насіння 16,3 %. Саме ці умови допомагають досягти найбільш ефективного відокремлення ядра за мінімального рівня утворення відходів.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції відцентрового обрушувача та оптимізації режимів його експлуатації. Подальші дослідження доцільно спря-



мувати на аналіз впливу геометрії робочих органів, а також вивчення особливостей подання сировини для підвищення ефективності процесу обробування насіння промислових конопель.

Список використаних джерел

1. Bárta J., Roudnický P., Jarošová M., Zdráhal Z., Stupková A., Bártová V., Krejčová Z., Kyselka J., Filip V., Říha V., Lorenc F., Bedrníček J., Smetana P. Proteomic profiles of whole seeds, hulls, and dehulled seeds of two industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars. *Plants*. 2023. Vol. 13. <https://doi.org/10.3390/plants13010111>
2. Oseyko M., Sova N., Yefimov V., Petrachenko D. Chemical composition of seeds of industrial Ukrainian hemp varieties. *Ukrainian Food Journal*. 2024. Vol. 13(3):542-556. DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-8
3. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 2 (1 (128)), P. 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>
4. Petrachenko D. Results of crushing of industrial hemp seeds depending on seed size and moisture. *Bast and Technical Crops*. 2020. Vol. 8 (13). P. 58–65. [https://doi.org/10.48096/btc.2020.8\(13\).58-65](https://doi.org/10.48096/btc.2020.8(13).58-65)
5. Lazor J. The organic grain grower: Small-scale, holistic grain production for the home and market producer. Chelsea Green Publishing, Inc. White River Junction, VT, 2013 p.
6. Wright G. Selling grains at the farmers market. Paper presented at the NOFA-NY Winter Conference. Saratoga Springs, NY. January 24, 2014.
7. Design and Evaluation of a Sunflower Dehuller to Aid in Precision Planting. North Dakota State University. Available at: <https://www.ndsu.edu/fileadmin/aben/SunflowerDehusking.pdf>
8. Design, Fabrication and Performance Evaluation of Centrifugal Sunflower Dehuller for Small-Scale Enterprises in Developing Countries. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. <https://doi.org/10.1080/20421338.2019.1573956>
9. Influence of Seed:Water Ratio and Shredding Time on Dehulling Process of Pigeon Pea (*Cajanus cajan*). Herald Open Access. <https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100083>
10. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості ДСТУ 4138-2002 Київ: Держспоживстандарт України. 2004 р.
11. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. 1992. Київ : НМК ВО. 320 с.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2025 р.

D. Petrachenko

Separate Structural Unit "Hlukhiv Agrotechnical Vocational College of Sumy National Agrarian University"

IMPACT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A CENTRIFUGAL SHELTER ON THE EFFICIENCY OF KERNEL EXTRACTION FROM HEMP SEEDS

Summary

The study examines the influence of key factors, such as seed fraction size, rotor speed, and raw material moisture content, on the efficiency of kernel separation from the hull. The research was conducted using an experimental centrifugal sheller, which allowed for the determination of optimal operating parameters to achieve maximum kernel yield. It was established that the seed fraction size is the most critical factor in the shelling process. The small fraction (<2.5 mm) provides a minimal kernel yield (<10 %). The medium fraction (2.5–3.0 mm) demonstrates an increase in yield up to 17 %, while the large fraction (>3.0 mm) ensures the highest kernel extraction rate of 20–22 %. The optimal rotor speed was determined to be 2000 rpm. Reducing this parameter to 1500 rpm decreases the efficiency of hull destruction, while increasing it to 2500 rpm leads to excessive kernel fragmentation, resulting in higher waste production and reduced final product quality. An analysis of seed moisture content showed that this parameter has a secondary effect, as moisture levels within the range of 8.8 %–21.6 % have only a slight impact on



kernel yield. The optimal moisture content was determined to be 16.3 %, at which the best balance between shelling efficiency and minimizing the amount of unshelled product is achieved. It was found that the studied technological parameters affect the shelling process independently, without significant interaction between them. This allows for the determination of optimal operating modes of the equipment by varying each factor separately. The obtained results can be used to improve the design of shelling devices and to develop optimal technological regimes for mechanical shelling of industrial hemp seeds, aiming to minimize processing losses and maximize the yield of high-quality kernels.

Keywords: hemp, seed fraction, shelling parameters, kernel yield, centrifugal sheller.