УДК 633.522:664.3.032 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.1.22

Д. О. ПЕТРАЧЕНКО
кандидат технічних наук,
викладач відділення агроінженерії
Відокремлений структурний підрозділ «Глухівський агротехнічний фаховий коледж
Сумського національного аграрного університету»
ORCID: 0000-0002-1347-9562

ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЦИКЛІВ ОБРУШУВАННЯ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ У ВІДЦЕНТРОВОМУ МЕХАНІЗМІ

Обрушування насіння промислових конопель є важливим етапом його переробки, оскільки сприяє підвищенню біодоступності поживних речовин і розширює можливості використання у харчовій промисловості. У дослідженні розглянуто процес багаторазового пропуску насіння промислових конопель через відцентровий обрушувальний механізм із закритим робочим колесом та оцінено ефективність обрушування на різних етапах технологічного процесу. Для експерименту використовували насіння промислових конопель чотирьох зразків, вирощених у ґрунтово-кліматичних умовах Сумської області, які відрізнялися рівнем вологості (8,9–11,5 %) та масою 1000 насінин (18,32–19,49 г). Обрушування здійснювали без попереднього калібрування, а після кожного циклу визначали кількість недорушеного насіння та вихід готового ядра. Встановлено, що ефективність обрушування значною мірою залежить від фізико-механічних характеристик насіння, зокрема вологості, розміру та маси 1000 насінин. Підвищена вологість сприяє збільшенню пластичності оболонки, що ускладнює її руйнування під дією ударного навантаження. Водночас зменшення розміру насіння призводить до нерівномірного розподілу механічного навантаження, що збільшує кількість недорушеного насіння та вимагає більшої кількості циклів для досягнення необхідного рівня обрушування. Результати показали, що після першого циклу кількість недорушеного насіння залишалася високою (63,73–76,41 %), що потребувало повторної обробки. Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що після третього циклу понад 80 % початкової маси насіння зазнало обрушування, а подальші цикли незначно покращували результат, але були економічно недоцільними. Оптимальною кількістю циклів для ефективного обрушування визначено три, оскільки саме після цього етапу відбувається максимальне вилучення ядра за мінімальних витрат ресурсів. На основі отриманих результатів запропоновано спрямувати подальші дослідження на вдосконалення конструкції робочого колеса обрушувального механізму для зменшення необхідної кількості циклів та підвищення ефективності процесу.

Ключові слова: *промислові коноплі, обрушування, відцентровий механізм, насіння, вихід ядра, цикли обрушування.*

D. O. PETRACHENKO
Candidate of Technical Sciences,
Lecturer at the Department of Agroengineering
Separate Structural Subdivision “Hlukhiv Agrotechnical Professional College
of Sumy National Agrarian University”
ORCID: 0000-0002-1347-9562

STUDY OF THE NUMBER OF SHELLING CYCLES OF INDUSTRIAL HEMP SEEDS IN A CENTRIFUGAL MECHANISM

Hemp seed shelling is an essential stage of its processing, as it enhances the bioavailability of nutrients and expands its potential use in the food industry. This study examines the process of multiple passes of industrial hemp seeds through a centrifugal shelling mechanism with a closed impeller and evaluates the shelling efficiency at different stages of the technological process. For the experiment, hemp seeds from four different samples grown under the soil and climatic conditions of Sumy region were used. These samples varied in moisture content (8.9–11.5 %) and 1000-seed mass (18.32–19.49 g). The shelling process was conducted without prior seed calibration, and after each cycle, the amount of unshelled seeds and the yield of shelled kernels were determined. It was established that shelling efficiency largely depends on the physico-mechanical characteristics of the seeds, particularly moisture content, size, and 1000-seed mass. Increased moisture content enhances the plasticity of the seed coat, making it more difficult to break under impact loading. At the same time, a smaller seed size leads to an uneven distribution of mechanical stress, increasing the amount of unshelled seeds and requiring a higher number of shelling cycles to achieve the desired level of kernel separation. The results showed that after the first cycle, the percentage of unshelled seeds remained high (63.73–76.41 %), requiring additional processing. Data analysis revealed that after the third cycle, more than 80 % of the initial seed mass had undergone shelling, while further cycles had minimal impact on the final outcome and were economically inefficient. The optimal number of cycles for effective shelling was determined to be three, as this stage provides the maximum kernel yield with minimal resource

consumption. Based on the obtained results, it is recommended to direct further research towards improving the design of the shelling mechanism's impeller to reduce the required number of cycles and increase process efficiency.

Key words: *industrial hemp, shelling, centrifugal mechanism, seeds, kernel yield, shelling cycles.*

Постановка проблеми

Переробка насіння промислових конопель набуває все більшого значення, особливо в контексті технології обрушування, яка дозволяє відокремити ядро від зовнішньої оболонки. Традиційно обрушування використовувалося у виробництві рослинних олій для видалення небажаних компонентів, що негативно впливають на якість кінцевого продукту. Проте останнім часом сфера його застосування розширюється. У харчовій промисловості основна мета обрушування полягає у підвищенні біодоступності поживних речовин, що містяться у насіннєвому ядрі. Видалення оболонки сприяє ефективнішому засвоєнню корисних компонентів, що підвищує харчову цінність продукту.

Переробка насіння промислових конопель шляхом обрушування залишається відносно новим напрямом, що потребує детального вивчення. Існує нестача даних щодо оптимальних технологічних режимів та вибору обладнання для цього процесу. Тому науково обґрунтований вибір методу та параметрів обрушування є актуальним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності переробки насіння конопель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Переробка насіння шляхом обрушування відбувається із застосуванням машин, обладнаних різними типами робочих органів. Раціональний вибір конкретного типу робочого органу сприяє отриманню продукту високої якості та зменшує втрати на кожному етапі технологічного процесу. Вибір конкретного способу обрушування залежить від фізико-механічних властивостей насіння та біологічних особливостей культури, які можуть значно варіюватися навіть у межах одного сорту [1–2].

Серед відомих методів обрушування використовуються: тертя [3], розчавлювання [4], розколювання [5], неорієнтований багатократний [6–7] та орієнтовний однократний [8] удар. Кожен з методів ефективний для певних культур, однак не може вважатися універсальним. Наприклад, орієнтовний однократний удар відзначається високою продуктивністю та економічністю, що робить його привабливим для обрушування зерна спельти [9], плодів тунгового дерева [10] та волоських горіхів [11]. В основі цього методу лежить використання кінетичної енергії обертального руху, що забезпечує швидке відділення оболонки від ядра. Даний метод реалізовано у відцентрових механізмах.

Розроблений відцентровий механізм [12] показав високу ефективність і при обрушуванні насіння промислових конопель. Використання механізму забезпечує ефективну переробку та виділення ядра без попереднього калібрування насіння та регулювання його вологості. Він дозволяє отримувати вихід готового ядра в межах 28,0–38,0 % із засміченістю до 1,0 %.

Незважаючи на ефективність відцентрових обрушувачів, їх конструкційні параметри потребують подальшої оптимізації. Одним із ключових напрямів досліджень є визначення впливу кількості циклів пропуску конопляного насіння через механізм на процес обрушування та вихід ядра. Аналіз цього аспекту дозволить встановити оптимальні режими роботи обладнання та простежити особливості відокремлення оболонки на кожному етапі обрушування. Отримані результати сприятимуть формуванню науково обґрунтованих рекомендацій щодо вдосконалення технологічного процесу.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є визначення оптимальної кількості циклів обрушування партії насіння промислових конопель у відцентровому механізмі для забезпечення максимального виходу ядра.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для проведення дослідження використовували насіння промислових конопель чотирьох зразків, вирощене в ґрунтово-кліматичних умовах Сумської області. Зразки відрізнялися сортовою приналежністю, фізико-механічними характеристиками та умовами культивування, оскільки були вирощені на різних полях. Характеристика насіння представлена в табл. 1.

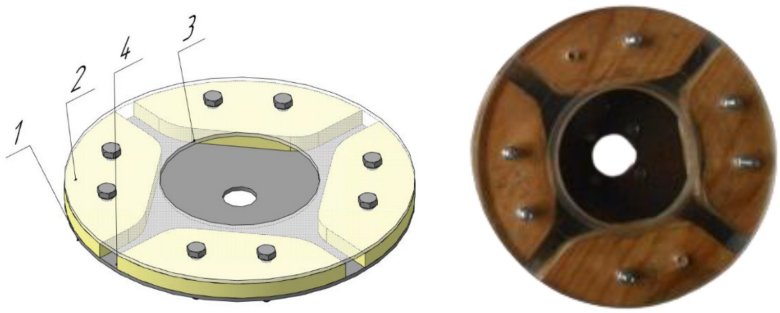
Таблиця 1

Характеристика насіння промислових конопель

Показник	Номер зразка			
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Вологість, %	8,9	9,3	9,2	11,5
Маса 1000 шт., гр	19,40	19,49	18,32	18,40
Пошкоджене насіння, %				
тріснуте	5,59	7,80	7,79	1,68
частково розрушене	0,94	1,25	1,24	0,47
Засміченість, %				
лушпиння	0,01	0,14	0,01	0,07
ядро	0,19	0,46	2,08	0,54

Відмітимо (табл. 1), що вологість зразків насіння варіювалася від 8,9 % до 11,5 %, що може впливати на процес обрушування. Маса 1000 штук насінин коливалася в межах 18,32–19,49 г, що свідчить про відмінності у структурних особливостях насіння. Засміченість зразків насіння лушпинням була незначною (0,01–0,14 %), однак вміст домішок ядра варіювався від 0,19 % до 2,08 %. У всіх без виключення досліджених зразках наявне в тій чи іншій кількості (1,68–7,80 %) пошкоджене насіння. Наявність пошкодженого насіння може бути результатом впливу робочих органів машин задіяних під час збирання та первинної доробки урожаю.

Обрушування насіння конопель проводили без попереднього калібрування насіння з використанням розробленого відцентрового пристрою [13]. Робочим органом пристрою є робоче колесо закритого секторального типу (рис. 1). Робоче колесо складається з двох дисків. Нижній диск має технологічний отвір для кріплення через маточину на вал електродвигуна. Верхній диск має завантажувальний отвір для подачі насіння. Між дисками знаходяться чотири сектори. В поєднанні диски та сектори разом утворюють чотири радіальні профільні отвори з гіперболічною формою бічних поверхонь, по яких рухається насіння.



а *б*

Рис. 1. Схема (*а*) та загальний вигляд (*б*) робочого колеса: 1 – нижній диск; 2 – верхній диск; 3 – завантажувальний отвір; 4 – профільний канал

Частота обертання робочого колеса в дослідах знаходилася в межах 6000 ± 200 хв$^{-1}$. Насіння подавалося зверху у вільному сипучому стані в завантажувальний отвір робочого колеса. Швидкість подачі 100 кг/год. Кожний зразок обрушували окремо. Кількість повторів для кожного зразка насіння п’ятикратна. Маса окремої наважки складала 1000 грамів. Процес обрушування насіння здійснювали шляхом багаторазового пропуску кожної наважки через експериментальний пристрій. У результаті утворювалася рушанка, що далі підлягала розділенню. Рушанку розділяли на зерноочисній машині (повітряно-решітний сепаратор) на такі фракції: 1 – недорушене та пошкоджене насіння; 2 – готові ядра; 3 – відходи.

Процес обрушування полягав в наступному. Зразок насіння пропускали через пристрій (перший цикл). Після обрушування одержану рушанку направляли на розділення в повітряно-решітний сепаратор. Виділене в процесі сепарації недорушене та пошкоджене насіння повторно піддавали обрушуванню (другий цикл). Всього для одного зразка використовували п’ять циклів. Оцінку ефективності процесу проводили після кожного циклу, аналізуючи співвідношення між обсягами недорушеного насіння, виділених ядер та відходів. Оброблення отриманих даних проводили в програмному середовищі Microsoft Excel відповідно до методики [14].

Результати обрушування насіння по циклах представлені на рис. 2–3.

Відмітимо значний вплив фізико-механічних характеристик насіння на ефективність процесу обрушування. Високий рівень вологості насіння сприяє підвищенню пластичності оболонки, що ускладнює її механічне руйнування в умовах ударного навантаження. Зменшення розміру насіння зумовлює нерівномірний розподіл ударного навантаження, що ускладнює процес відокремлення оболонки, збільшує кількість недорушеного насіння та потребує більшої кількості циклів для обрушування.

Аналіз зміни кількості обрушеного насіння (рис. 2) показує, що після першого циклу найбільший відсоток недорушеного насіння зафіксовано у зразків 3 (75,11 %) та 4 (76,41 %), що може бути наслідком їх меншої маси та підвищеної вологості. У зразків 1 та 2 цей показник був нижчим (68,58 % та 63,73 % відповідно), що свідчить про їхню кращу здатність до обрушування. Проте подальший розгляд даних демонструє, що після третього циклу 78–89 % початкової маси партії насіння вже зазнало обрушування і подальші цикли суттєво не змінюють кінцевий результат.

Аналіз зміни виходу ядра (рис. 3) показує, що після першого циклу максимальний вихід ядра спостерігався у зразка 2 (14,58 %), що може пояснюватися його найбільшою масою 1000 насінин (19,49 г) та оптимальним рівнем вологості (9,3 %). Натомість зразок 3 демонстрував найменший вихід ядра (10,32 %), що узгоджується з його підвищеним рівнем недорушу та меншою масою насінин.

У наступних циклах вихід ядра збільшувався, але після третього циклу приріст ставав значно меншим. Так у зразка 1 між другим та третім циклом вихід ядра зріс на 10,08 %, а між третім і четвертим – лише на 4,28 %.

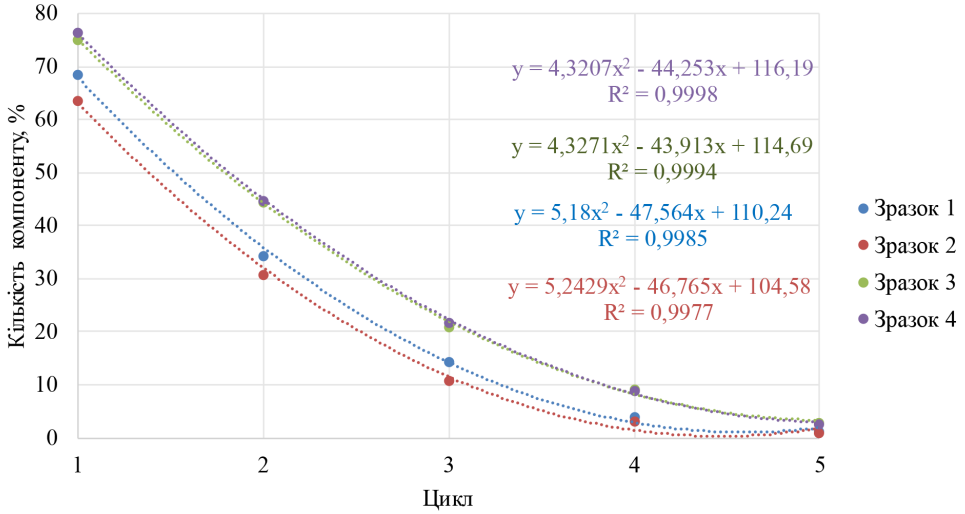


Рис. 2. Зміна кількості недорушеного насіння після кожного циклу обрушування

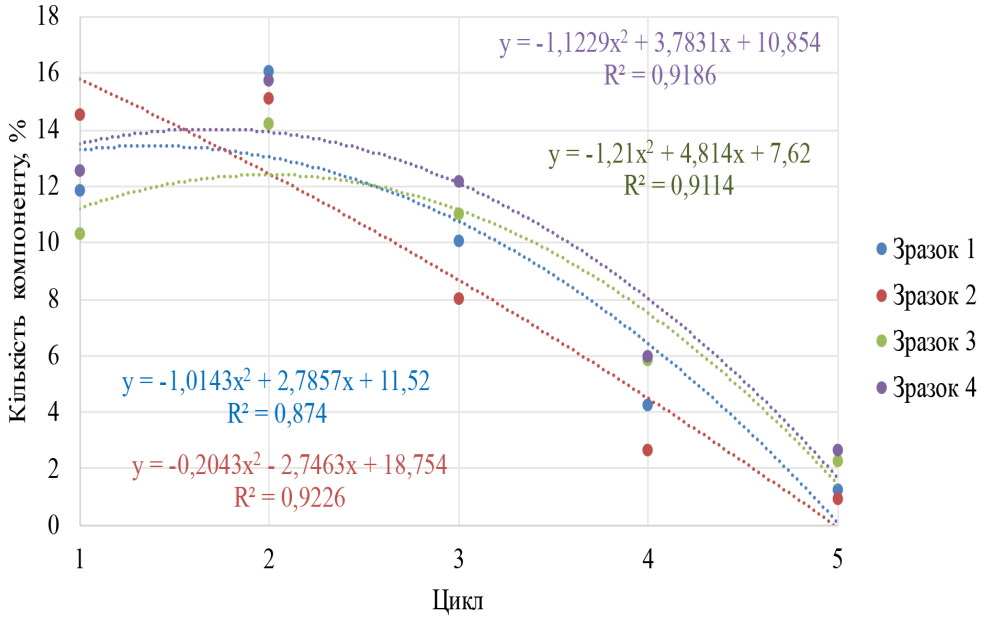


Рис. 3. Зміна виходу ядра після кожного циклу обрушування

Подібна тенденція спостерігається і для інших зразків, що свідчить про зниження ефективності подальшої переробки. Крім того, після третього циклу більша частина залишкового недорушу складалася з частково пошкоджених або важкообрушуваних насінин.

З огляду на отримані результати зазначимо, що для повного руйнування партії насіння, не залежно від його фізико-механічних характеристик, необхідно здійснити п'ять циклів. Однак проведення п'яти циклів обрушування не є доцільним з економічної точки зору. Оптимальним варіантом для ефективного обрушування є проведення трьох циклів. Адже саме після третього циклу отримали максимальний вихід ядра за мінімальних витрат ресурсів. Подальші цикли лише незначно покращують результати обрушування, але потребують додаткових енергетичних і часових затрат. Зокрема, п'ятий цикл дає приріст ядра менше ніж 3 %, що не компенсує витрати на додаткову переробку.

Висновки

Отримані результати підтверджують, що ефективність обрушування значною мірою залежить від вихідних фізико-механічних параметрів насіння. Насіння з вищою вологістю та меншою масою потребує більшої кількості циклів обрушування, тоді як насіння з більшою масою і середнім рівнем вологості демонструє кращі результати.

Збільшення кількості циклів обрушування сприяє поступовому зменшенню кількості недорушеного насіння та підвищенню виходу готового ядра. Однак аналіз динаміки процесу показав, що після третього циклу ефективність

подальшого обрушування суттєво знижується, а додаткові цикли не забезпечують значного приросту виходу ядра, що робить їх економічно недоцільними.

Список використаної літератури

1. Kabir A., Fedele O. (2018). A Review of Shelling, Threshing, De-Hulling and Decorticating Machines. Open Access Journal of Agricultural Research. 3. https://doi.org/10.23880/OAJAR-16000148

2. Prem Manjeet, Pragi S, Dabhi Kanak, Baria Anil. (2017). Pod Shelling Machines – A Review. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR). 7. 321–326.

3. Manjunath M. Ullegaddi, N. C. Mahandra Babu, Abdul Rahman Faisal, Miraz Mohammad, M. S. Shreenidhi, Syeda Anjum, (2021) Design and development of compact Foxtail millet deshelling machine, Materials Today: Proceedings, Volume 42, Part 2, Pages 781–785, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.314

4. Hasantabar, S., Seyedi, S., Kalantari, D. (2019). Design, construction and evaluation of a seed pod husker and testing with soybean and mung bean. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal, 21, 90–99.

5. Kang, Di., Wang, Y., Fan, Y., Chen, Z. (2018). Research and development of Camellia oleifera fruit sheller and sorting machine. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042051

6. Brian Baker Dehulling Ancient Grains: Economic Considerations and Equipment. Available at: https://eorganic.org node/13028

7. Khodabakhshian, R., Bayati, M. R., Shakeri, M. (2011). Performance Evaluation of a Centrifugal Peeling System for Pistachio Nuts. International journal of food engineering. Volume7, Issue4. https://doi.org/10.2202/1556-3758.2135

8. Complex Oilseed Processing. Available at: https://www.farmet.cz/en/complex-oilseed-processing

9. Baker, B. (2015). Dehulling ancient grains: economic considerations and equipment. Retrieved January 08, 2025, from https://eorganic.org/node/13028

10. V. Sharma, R. C. Pradhan, S. N. Naik, N. Bhatnagar, Subedar Singh. Evaluation of a centrifugal impaction-type decorticator for shelling tung fruits. Industrial Crops and Products, Volume 43, 2013, Pages 126-131. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.046

11. Bernik, Rajko & Stajnko, Denis & Demšar, Ivan. (2020). Comparison of the Kernel Quality of Different Walnuts (Juglans regia L.) Varieties Shelled with Modified Centrifugal ShellerVergleich der Kernqualität von verschiedenen Walnusssorten, geschält mit modifiziertem Zentrifugalschäler. Erwerbs-Obstbau. 62. 10.1007/s10341-020-00473-2

12. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Shevchuk, M., & Sheichenko, D. (2024). Study of roller and centrifugal methods of hemp seed shelling. Agricultural Machines, 50, 37–47. https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1333

13. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Rogovskii, I., Dudnikov, I., Shevchuk, V., Sheichenko, D., Derkach, O., Shatrov, R. (2024). Determining patterns in the separation of hemp seed hulls. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (130)), 54–68. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309869

14. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. (1992) Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Київ : НМК ВО, 320 с.

References

1. Kabir A., Fedele O. (2018). A Review of Shelling, Threshing, De-Hulling and Decorticating Machines. Open Access Journal of Agricultural Research. 3. https://doi.org/10.23880/OAJAR-16000148

2. Prem Manjeet, Pragi S, Dabhi Kanak, Baria Anil. (2017). Pod Shelling Machines – A Review. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR). 7. 321–326.

3. Manjunath M. Ullegaddi, N. C. Mahandra Babu, Abdul Rahman Faisal, Miraz Mohammad, M. S. Shreenidhi, Syeda Anjum, (2021) Design and development of compact Foxtail millet deshelling machine, Materials Today: Proceedings, Volume 42, Part 2, Pages 781–785, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.314

4. Hasantabar, S., Seyedi, S., Kalantari, D. (2019). Design, construction and evaluation of a seed pod husker and testing with soybean and mung bean. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal, 21, 90–99.

5. Kang, Di., Wang, Y., Fan, Y., Chen, Z. (2018). Research and development of Camellia oleifera fruit sheller and sorting machine. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042051

6. Brian Baker Dehulling Ancient Grains: Economic Considerations and Equipment. Available at: https://eorganic.org/node/13028

7. Khodabakhshian, R., Bayati, M. R., Shakeri, M. (2011). Performance Evaluation of a Centrifugal Peeling System for Pistachio Nuts. International journal of food engineering. Volume7, Issue4. https://doi.org/10.2202/1556-3758.2135

8. Complex Oilseed Processing. Available at: https://www.farmet.cz/en/complex-oilseed-processing

9. Baker, B. (2015). Dehulling ancient grains: economic considerations and equipment. Retrieved January 08, 2025, from https://eorganic.org/node/13028

10. V. Sharma, R.C. Pradhan, S.N. Naik, N. Bhatnagar, Subedar Singh. Evaluation of a centrifugal impaction-type decorticator for shelling tung fruits. Industrial Crops and Products, Volume 43, 2013, Pages 126–131. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.046.

11. Bernik, Rajko & Stajnko, Denis & Demšar, Ivan. (2020). Comparison of the Kernel Quality of Different Walnuts (Juglans regia L.) Varieties Shelled with Modified Centrifugal ShellerVergleich der Kernqualität von verschiedenen Walnusssorten, geschält mit modifiziertem Zentrifugalschäler. Erwerbs-Obstbau. 62. 10.1007/s10341-020-00473-2

12. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Shevchuk, M., & Sheichenko, D. (2024). Study of roller and centrifugal methods of hemp seed shelling. Agricultural Machines, 50, 37-47. https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1333

13. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Rogovskii, I., Dudnikov, I., Shevchuk, V., Sheichenko, D., Derkach, O., Shatrov, R. (2024). Determining patterns in the separation of hemp seed hulls. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (130)), 54–68. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309869

14. Khailis H.A., Konovaliuk D.M. (1992) Osnovy proektuvannia i doslidzhennia silskohospodarskykh mashyn. Kyiv : NMK VO, 320 s.