

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 633.522:664.78.01

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.2/18>**Петраченко Д.О.**

Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України

Дудукова С.В.

Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України

ОГЛЯД ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ З ТОЧКИ ЗОРУ ПЕРЕРОБКИ

У статті відмічається, що процеси збирання, післязбиральної обробки та перероблення насіння конопель вимагають ретельного підходу, інноваційного обладнання та технологій, які враховують специфіку даної рослини. Визначено, що фізико-механічні характеристики насіння впливають на показники якості та ефективності роботи обладнання на всіх етапах його переробки. Метою статті є огляд та аналіз фізико-механічних характеристик насіння промислових конопель з точки зору переробки.

В результаті аналізу з'ясовано, що насіння конопель має середню довжину 4,49-5,21 мм, ширину 3,30-4,41 мм, товщину 2,65-3,30 мм. Збільшення вологості насіння на 21,73% призводить до збільшення довжини на 7,13%, ширини – на 9,42%, товщини – на 2,18%. Максимальна вологість насіння для посівного матеріалу дорівнює 13%, а для перероблення – 11%. Визначено, що маса 1000 насінин залежить від умов вирощування, сорту, фракції та складає 9,80-20,40 грам. Аналіз показав, що зі збільшення вологості маса 1000 насінин збільшується. З'ясовано, що об'ємна щільність насіння дорівнює 380,0-597,0 г/л, а зі збільшенням вологості насіння вона зменшується. Аналіз показав, що дійсна щільність насіння конопель знаходиться в межах 689,0-907,0 г/л, а зі збільшенням вологості насіння вона зменшується. Встановлено, що пористість насіння складає 34,66-45,64%, а зі збільшенням вологості (на 21,73%) пористість насіння збільшується (на 7,16%). Кут природного ухилу для насіння конопель 21,75°-27°, і зі збільшенням вологості насіння він збільшується. Визначено, що статичний коефіцієнт тертя в залежності від поверхні дорівнює 0,267-0,347. Зі збільшенням вологості насіння статичний коефіцієнт тертя для насіння конопель збільшується, при чому для всіх досліджуваних поверхонь.

У статті розкрито важливість розуміння фізико-механічних характеристик насіння промислових конопель при проектуванні та розробці обладнання та технологій. Розуміння та врахування фізико-механічних характеристик насіння промислових конопель у процесах збирання, післязбиральної обробки та переробки насіння може сприяти підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню якості продукції.

Ключові слова: коноплі, насіння, властивості, переробка, фізико-механічні характеристики.

Постановка проблеми. Конопляне насіння та продукти його переробки відіграють важливу роль у харчовій промисловості, зокрема, з точки зору продукції з високими поживними властивостями. Завдяки наявним в насінні вітамінам, мікроелементам, білкам, клітковині та незамінним жирним кислотам конопляне насіння має високу харчову цінність, а такі продукти його переробки, як ядро та олія можуть використовуватися в різних галузях харчової промисловості [1 с. 26–28].

Процес збирання, післязбиральної обробки та переробки насіння конопель вимагає ретельного підходу, сучасного обладнання та технологій, які враховують специфіку даної рослини. Фізико-механічні

характеристики насіння конопель мають вплив на ефективність роботи обладнання на всіх етапах його переробки. Вивчення фізико-механічних характеристик насіння є актуальним напрямом досліджень, а їх результати можуть сприяти розробці нових методів та підходів до очищення, розділення, сортування, обрушування та сепарації насіння. Це дозволить підвищити ефективність роботи обладнання, зменшити матеріальні та енергетичні витрати, а також забезпечити збереження корисних властивостей насіння та продуктів його переробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато науковців проводили дослідження щодо фізико-механічних характеристик насіння різ-

них сільськогосподарських культур [2–6]. В своїх роботах вони відмічають важливість вивчення механіко-технологічних характеристик насіння, їх вагомий вплив на процеси переробки, налаштування обладнання для досягнення оптимального рівня його роботи та якості одержаної продукції.

Під час роботи з насіннєвим матеріалом фізико-механічні характеристики мають важливе значення для визначення параметрів обробки, впливають на продуктивність, енергоспоживання та зношуваність робочих органів. Складання моделей та математичних залежностей, встановлення оптимальних та раціональних параметрів робочих органів, визначення режимів роботи устаткування неможливе без розуміння властивостей насіннєвого матеріалу [5–6]. Серед фізико-механічних характеристик насіння виділяють форму, розмір, питому вагу, зовнішню структуру оболонки, статичний коефіцієнт тертя тощо [6].

Формулювання цілей статті. Метою статті є огляд та аналіз фізико-механічних характеристик насіння промислових конопель, які впливають на процес збирання, післязбиральної обробки та перероблення насіння.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що форма та розмір насіння відрізняються не тільки між різними видами рослин, але і між сортами одного виду та навіть в межах одного сорту. Кожне насіння вимірюється за трьома геометричними параметрами: довжиною (L), шириною (B) та товщиною (T). Знаючи один заданий параметр можна розділити насіння за будь-яким з розмірів [7–8].

Насіння промислових конопель має наближену до еліптичної, округло-яйцеподібну форму, злегка стиснуте з боків. Розмір насінини істотно відрізняється в межах одного сорту [1, с. 26]. За даними [1, с. 8] насіння конопель має середню довжину в межах 4,49–5,21 мм, ширину 3,30–4,41 мм, товщину 2,65–3,30 мм. В роботі Саїні П. та інші (2022) відмічають наступні розміри насіння конопель: довжина 3,78–4,48 мм, ширина 2,80–3,48 мм, товщина 2,28–2,93 мм [9]. За даними Клевцова К. (2015) геометричні розміри насіння промислових конопель становлять: довжина 5,25 мм, ширина 3,60 мм, товщина 2,70 мм [10].

В роботі Тахері-Гараванд А. та інші (2012) зазначають, що на розмір насіння конопель істотний вплив має його вологість [11]. Збільшення вологості насіння на 21,73% (з 5,39 до 27,12%) призводить до збільшення осьових розмірів насінини: довжини на 7,13% (з 4,60 до 4,95 мм), ширини на 9,42% (з 3,56 до 3,93 мм) та товщини на 2,18% (з 2,93 до 3,23 мм).

Розмір насіння конопель виступає основним фактором при розділенні насіння на фракції, впливає на умови сортування та процес сепарації. Інформація про розміри насіння дозволяє визначити необхідні конструктивні розміри отворів у конструкції переробного та сортувального обладнання. Крім того, розуміння впливу розміру насіння на ефективність перероблення (обрушування) може сприяти розробці нових методів та технологій, які покращать процеси обрушування та зменшать час переробки сировини. Це може включати вдосконалення існуючого обладнання, розробку нових конструкцій, а також адаптацію технологій з інших галузей або культур.

Вологість насіння (W) є фізичною величиною, що визначає кількість води, яка міститься в насінні у відсотках до його сухої маси. Волога в насінні може міститися у вигляді конституційної вологи, яка хімічно зв'язана з насінням, та гігроскопічної вологи, яка вбирається з навколишнього середовища [12, с. 21]. Для насіння конопель згідно з ДСТУ [13] в залежності від напряму використання встановлено різні значення максимальної вологості. Для насіння, яке буде використовуватися в якості посівного матеріалу рекомендована вологість дорівнює 13,0%, а для насіння, що заготовляють для перероблення вологість становить 11,0%.

У контексті переробки вологість насіння може впливати на ефективність таких процесів, як очищення, сортування, обрушування, пресування. Вологість насіння впливає на величину коефіцієнта внутрішнього тертя [8, с. 48]. Надмірна вологість призводить до злипання насіння, утруднюючи сепарацію та підвищуючи енергозатрати на переробку. Також надмірна вологість може створювати сприятливе середовище для розвитку грибків та плісняви, які будуть погіршувати якість насіння в процесі зберігання.

Показник маси 1000 насінин (m_{1000}) відіграє важливу роль в оцінці якості насіння. Цей показник дає можливість визначити не тільки виповненість насіння, але й оцінити його однорідність та потенційну схожість [7]. Важливо зауважити, що маса 1000 насінин може змінюватися в залежності від умов вирощування, генетичних факторів, а також від фракційного розміру насіння та його вологості. Тому для отримання точної оцінки якості насіння слід враховувати ці фактори.

За нашими даними показник маси 1000 насінин для партії насіння промислових конопель товарного напряму селекції Інституту луб'яних культур (ІЛК) знаходився в межах 17,3–19,2 г при вологості насіння 8,3–10,1%. Встановлено, що

у крупнішого насіння більша маса і зі збільшенням вологості маса насінин зростає. В роботі [11] також зазначають, що зі збільшенням вологості конопляного насіння збільшується показник маси 1000 насінин. Так маса насіння збільшилась лінійно на 4,7 г (з 19,26 до 23,96 г) при збільшенні вологості на 21,73%.

В роботі [10] відмічається, що маса 1000 насінин становила 17,72 г. В дослідженнях [9] автори відмічають, що маса 1000 насінин знаходилась в межах 9,80–20,40 г. Для дрібного насіння маса 1000 насінин складала від 9,80 до 11,41 г, а для крупного – 15,17–20,40 г. Йіан та інші (2018) зазначають, що показник маси 1000 насінин становив 12,35–14,13 г за вологості насіння 9,0–15,0% [14].

Об'ємна щільність насіння відіграє роль у процесах сортування, очищення та переробки насіння. Розуміння значення об'ємної щільності може допомогти оптимізувати різні аспекти виробничого процесу та покращити якість продукції. Об'ємна щільність насіння (ρ_b) – це фізична величина, що визначає співвідношення маси до об'єму. Величина даного показника характеризує масу зерна (г) в одиниці об'єму (л). Використовується для оцінювання технологічних якостей насіння, розрахунку необхідних ємностей, визначення маси насіння в заданому об'ємі [7].

За нашими даними об'ємна щільність насіння промислових конопель становить 503,8–530 г/л. Зокрема, при вологості насіння 9,7% об'ємна щільність складала 504,7 г/л, а при вологості 8,7% – 520,2 г/л. Згідно з дослідженнями [10] об'ємна щільність насіння промислових конопель дорівнювала 513 г/л.

В роботі [9] зазначається, що середнє значення об'ємної щільності конопляного насіння знаходилось в межах 442,0–546,0 г/л. При чому для дрібного насіння мінімальне та максимальне значення об'ємної щільності складало 380,0 та 597,0 г/л відповідно. Для крупного насіння мінімальна об'ємна щільність дорівнювала 412 г/л, а максимальна – 593 г/л.

Результати досліджень [11] показують зменшення об'ємної щільності насіння конопель зі збільшенням його вологості. Автори зазначають, що зі збільшенням вологості насіння конопель на 21,73% його об'ємна щільність зменшується на 7,44 г/л. На думку авторів дана тенденція свідчить, що збільшення маси в результаті підвищення вологості зразка є нижчим, ніж супутнє об'ємне розширення.

Для насіння промислових конопель об'ємна щільність може слугувати індикатором його

якості, використовуватися для визначення параметрів пакування, адже впливає на кількість насіння, яку можна розмістити в обмеженому об'ємі. Також використовуватися при визначенні умов транспортування, розрахунку обладнання, бункерів, причепів тощо де необхідне чітке розуміння співвідношення маса-об'єм.

Дійсна щільність насіння (ρ) – це фізична характеристика, що вказує на його масу в грамах на одиницю об'єму в кубічних сантиметрах [7, с. 5]. Для встановлення дійсної щільності визначену пробу насіння занурюють у спеціальну рідину (толуол), яка добре змочує його поверхню [15].

В роботі [9] відмічається, що середнє значення для дійсної щільності насіння конопель знаходилось в межах 747,0–835,0 г/л. Для дрібного насіння мінімальне та максимальне значення дійсної щільності складало 689,0 та 907,0 г/л відповідно. Для крупного насіння мінімальна дійсна щільність дорівнювала 742 г/л, а максимальна становила 877 г/л.

Збільшення вологості насіння призводить до зменшення його дійсної щільності. При збільшенні вологості на 21,73% дійсна щільність насіння зменшилась на 132,28 г/л [11].

Знаючи об'ємну та дійсну щільність насіння конопель, можна визначити його пористість (ε) як відношення різниці дійсної та об'ємної щільності до дійсної щільності [6]. Пористість характеризує наявність в насінні пор, через які протікає газообмін між насінням та зовнішнім середовищем, має важливе значення для правильного тривалого зберігання.

Збільшення вологості насіння конопель призводить до збільшення його пористості. При збільшенні вологості насіння на 21,73% пористість насіння збільшується на 7,16% [11]. За даними [9] середнє значення пористості для насіння конопель знаходилось в межах 34,66–45,64%. Для дрібного насіння мінімальне та максимальне значення пористості дорівнювало 34,01 та 44,85% відповідно. Для крупного насіння мінімальна пористість дорівнювала 32,21%, а максимальна становила 47,25%.

Кут природного ухилу є властивістю насіння переміщатися вздовж поверхні, розташованої під деяким кутом відносно горизонту. Врахування даної властивості насіння, під час роботи з насінними масами, дозволяє мінімізувати затрати ручної праці в процесі переміщення насіння конвеєрами та пневмотранспортними установками, самопливом, під час завантаження та розвантаження бункерів, причепів тощо [16]. Кут при-

родного ухилу визначається як арктангенс відношення подвійної висоти до діаметра купи насіння, яка розміщена на круглій пластині [6].

Для насіння промислових конопель кут природного ухилу збільшується зі збільшенням вологості насіння. Згідно з результатами дослідження [11] при вологості насіння 5,39% кут природного ухилу дорівнював 21,75°, а при вологості насіння 27,12% кут природного ухилу збільшився до 23°. На думку авторів [11] при підвищеній вологості для насіння характерний ефект пластичності та злипання, в результаті чого виникає менша текучість та краща стабільність, що призводить до збільшення кута природного ухилу. В дослідженнях [7] відмічається, що при вологості насіння 7,7% кут природного ухилу дорівнював 27°.

Кут природного ухилу для насіння промислових конопель характеризує поведінку насіння при насипанні, транспортуванні, зберіганні. Він визначає найбільший кут, під яким може утворитись схил вільно насипаного насіння в стані рівноваги з горизонтальною площиною. Кут природного ухилу впливає на такі аспекти, як проектування бункерів та ємностей для зберігання насіння, транспортування насіння, роботу обладнання для сортування та очищення насіння, технологічні процеси його переробки.

Статичний коефіцієнт тертя – це показник, який характеризує відношення сили тертя до сили нормального навантаження між двома тілами, що перебувають у контакті та знаходяться в стані рівноваги. Статичний коефіцієнт тертя для насіння визначається, коли насінина, яка знаходиться на похилій поверхні, зі стану спокою переходить до стану руху в момент, коли рухома сила дорівнює максимальному значенню сили тертя. Статичний коефіцієнт тертя більший за коефіцієнт динамічного тертя, оскільки сила тертя, необхідна для початку руху тіла вища, ніж сила тертя, яка діє під час його руху. Значення статичного коефіцієнта

тертя залежить від матеріалів, що контактують, їх шорсткості, температури та вологості поверхонь. Статичний коефіцієнт тертя визначається як тангенс кута, при якому насіння починає ковзати по поверхні [7].

В [7] зазначається, що статичний коефіцієнт тертя насіння конопель для дерева складає 0,33–0,41, для сталі – 0,31–0,38, для гуми – 0,36–0,44. В роботі [11] відмічається, що статичний коефіцієнт тертя для насіння конопель збільшується зі збільшенням вологості насіння. При чому ця тенденція спостерігається для всіх поверхонь, які досліджували. При вологості 5,39% статичний коефіцієнт тертя дорівнював: 0,347 для скла, 0,286 для оцинкованого заліза, 0,267 для фанери. Зі збільшенням вологості насіння до 27,12% статичний коефіцієнт тертя збільшився і дорівнював 0,459 для скла, 0,438 для оцинкованого заліза, 0,410 для фанери.

Висновки. Розуміння фізико-механічних характеристик насіння промислових конопель відіграє важливу роль в проектуванні та розробці обладнання та технологій, що забезпечують високу якість та ефективність проведення технологічних операцій. Урахування фізико-механічних характеристик насіння допоможе адаптувати технологічне обладнання до конкретних умов виробництва, що дозволить досягти оптимальної якості продукції та мінімізувати втрати насіння під час обробки та переробки. Розуміння та врахування фізико-механічних характеристик насіння промислових конопель у процесах збирання, післязбиральної обробки та переробки насіння може сприяти підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню конкурентоспроможності продукції на ринку. Подальше вивчення властивостей насіння промислових конопель дозволить розробити більш ефективні методи сортування, очищення та обрушування насіння, що забезпечить кращу якість продукції та зниження витрат на виробництво.

Список літератури:

1. Коноплі: монографія / за ред. М.Д. Мигалія, В.М. Кабанця. Суми: Видавничий будинок «Еллада», 2011. 384 с.
2. Нанка О.В., Бакум М.В., Крекот М.М. Дослідження мінливості розмірних характеристик насіння зернових культур. *Інженерія природокористування*. 2019. № 2(12). С. 90-95
3. Фадеев Л. Пофракційність – обов'язкова складова при очищенні зерна та виробництві насіння. *Agroone* № 70 С. 10-12
4. Костецька К.В., Герасимчук О.П. Підвищення якості сої фракціонуванням насіння. *Вісник уманського національного університету садівництва*. 2022. № 1. С.70-76. doi: 10.31395/2310-0478-2022-1-70-76
5. Гошко З., Крунич О., Крунич Р. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів лісових горіхів. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. № 21. 2017. С. 30-37.
6. Алієв Е.Б., Лупко К.О. Морфологічні ознаки і фізико-механічні властивості насіння дрібнонасінних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2020. № 50 С. 27-35. doi: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.27-35>

7. Хайліс Г.А., Федорусь Ю.В. Механіка рослинних матеріалів. Луцьк, 2004. 302 с.
8. Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / за ред. С.С. Яцуна. Київ: Мета, 2003. 448 с.
9. Saini P., Panghal A., Mittal V., Gupta R. Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) bulk mass modeling based on engineering properties. *Journal of Food Process Engineering*. 2022. №45. doi:10.1111/jfpe.13929.
10. Клевцов К.М. Фізико-технологічні властивості і хімічний склад насіння льону та конопель. *Вісник Харківського національного технічного університету*. 2015. № 4. С. 104-110.
11. Taheri-Garavand A., Nassiri A., Gharibzahedi S. Physical and mechanical properties of hemp seed. *International agrophysics*, 2012. № 26(2). P. 211-215. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0031-9>
12. Думекно К.М., Павлюченко І.С. Фізико-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: курс лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2014. 39 с.
13. ДСТУ 7695:2015 Насіння конопель. Технічні умови. [Чинний від 2015-05-28]. Вид. офіц. ДП «УкрНДНЦ». Київ, 2015. 8 с.
14. Jian F., Yavari S., Narendran, R., Jayas D. S. Physical properties of Finola hemp seeds: clean and containing dockages. *Applied Engineering in Agriculture*. 2018. №34(6). P. 1017–1026. <https://doi.org/10.13031/aea.12853>
15. Bagherpour H., Minaei S., Khoshtaghaza M. Selected physico-mechanical properties of lentil seed. *Int. Agrophys.* 2010. № 24. P. 81-84.
16. Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М., Хилевич В.С. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Київ: Мета, 2002. 495 с.

Petrachenko D.O., Dudukova S.V. REVIEW OF PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL HEMP SEEDS IN TERMS OF PROCESSING

The article notes that the processes of harvesting, postharvest handling and processing of hemp seeds require a careful approach, innovative equipment and technologies that take into account the specifics of this plant. It was determined that the physical-mechanical properties of seeds affect the quality and efficiency of equipment operation at all stages of processing. The aim of this article is to review and analyze the physical-mechanical properties of industrial hemp seeds from a processing perspective.

As a result of the analysis, it was found that hemp seeds have an average length of 4.49-5.21 mm, width of 3.30-4.41 mm, and thickness of 2.65-3.30 mm. An increase in seed moisture on 21.73% leads to increase a length on 7.13%, width– 9.42%, and thickness– 2.18%. The maximum seed moisture content for sowing material should be 13%, and for processing - 11%. It was determined that the weight of 1000 seeds depends on growing conditions, variety, fraction, and ranges from 9.80 to 20.40 grams. The analysis showed that with an increase of the moisture content, the weight of 1000 seeds increases. It was found that the bulk density of seeds is 380.0-597.0 g/l and with increasing of seed moisture content, bulk density decreases. The analysis showed that it was found that the true density of hemp seeds ranged from 689.0 to 907.0 g/l and with an increase of seed moisture content, the true density decreases. It was founded that seed porosity is 34.66-45.64% and with an increase of the moisture content (on 21.73%), seed porosity increases (on 7.16%). The natural angle of inclination of hemp seeds is 21.75°-27° and with an increase of seed moisture content, the natural angle of inclination increases. It was founded that the static friction coefficient depending on the surface is 0.267-0.347. With an increase of seed moisture content, the static friction coefficient for hemp seeds increases, for all investigated surfaces.

The article reveals the importance of understanding of the physical-mechanical properties of industrial hemp seeds at designing and developing of equipment and technologies. Recognizing and considering of the physical-mechanical properties of industrial hemp seeds in harvesting, postharvest handling, and seed processing can contribute to increased production efficiency and product quality assurance.

Key words: hemp, seed, properties, processing, physical-mechanical characteristics.