

УДК 633.1:681.78

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.36-46>

С.П. Степаненко, ст. наук. співр., д-р техн. наук, **А.Я. Кузьмич**, ст. досл., канд. техн. наук, **А.М. Борис**, ст. досл., канд. техн. наук, **В.І. Днесь**, ст. досл., канд. техн. наук, **Д.А. Волик**, асп.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України, сел. Глеваха, Україна

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

А.А. Кузьмич, студ.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Дослідження фізико-механічних та оптичних характеристик зернових матеріалів

Дослідження виконувалося на основі експериментальних даних щодо основних фізико-механічних характеристик пшениці та її оболонки. Подано структурно-функціональну схему і опис приладу для визначення оптичних характеристик зернових матеріалів. Встановлено, що зі збільшенням вологості зростають і досліджувані показники: коефіцієнт тертя, кут природного укусу та коефіцієнт внутрішнього тертя. Отримано значення спектральних коефіцієнтів відбиття випромінювання видимого діапазону від зернових матеріалів та коефіцієнтів пропускання випромінювання від висоти шару матеріалу.

пшениця, зерно, коефіцієнт тертя, вологість, оптичні характеристики

Постановка проблеми. Ефективна підготовка зернових матеріалів в процесі післязбиральної обробки зерна значно спрощує технологічний процес сортового поділу, фракціонування, що є особливо актуальним для малих підприємств із обмеженими ресурсами та низькою продуктивністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сепарування зерна дозволяє видалити більшу частину зовнішніх оболонки разом із мікрофлорою та мінеральними домішками і в подальшому поділити його на фракції, які будуть використані для різних технологічних операцій (фураж, посів, кормова суміш і т.д.) [1, 2]. Нині найпоширенішими є технічні засоби для сепарування, що діють на основі тертя матеріалу по робочій поверхні та впливу на нього повітряного середовища [3, 4]. Вони відрізняються простотою конструкції, високою ефективністю та доступною ціною, що робить їх придатними для малих виробництв. У таких машинах зерно переміщується по шорстких робочих поверхнях, зокрема по перфорованому решету [5]. На кінематику руху зернин, їх траєкторію, а також на конструктивні та режимні параметри машини значно впливають фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу і відокремлюваних оболонки, домішок, що залежать не тільки від рівня вологості, а і від оптичних характеристик того чи іншого матеріалу суміші (ціле зерно, подрібнене зерно, полова, оболонка тощо) [6, 7]. Очевидно, що ідентифікації зернових матеріалів та їх оптичні характеристики, а також подальші дослідження процесу сепарування (очищення), неможливе без врахування змін фізико-механічних властивостей зернових матеріалів під впливом вологості, освітленості, поглинання та відбивання світлових променів у вузьких діапазонах світла [8–11].

© С.П. Степаненко, А.Я. Кузьмич, А.М. Борис, В.І. Днесь, Д.А. Волик, А.А. Кузьмич, 2024

Постановка завдання. Метою даного дослідження є експериментальне вивчення залежності фізико-механічних параметрів зерна пшениці від рівня вологості та оптичних характеристик: коефіцієнта тертя по перфорованій поверхні, кута природного укусу та коефіцієнта внутрішнього тертя, коефіцієнта поглинання та відбивання світлових променів від зернівок.

Виклад основного матеріалу. Фізико-механічні властивості матеріалу, такі як швидкість витання, коефіцієнт тертя по поверхні решета (металу), коефіцієнт внутрішнього тертя та кут природного укусу, значною мірою впливають на траєкторії та кінематичні параметри переміщення зерен. Ці параметри залежать від вологості та впливають на оптичні характеристики зерна, а встановити взаємозв'язок можна лише шляхом експериментальних досліджень.

У ході дослідження були визначені наступні фізико-механічні характеристики зернового матеріалу: вологість (W), коефіцієнт тертя по перфорованій сталевій поверхні (f) та кут природного схилу (ϵ).

Рівень вологості зерна пшениці вимірювали за допомогою вологоміра ВСП-100. Контроль вологості проводився термогравіметричним методом із застосуванням сушильної шафи та електронних ваг «DigitalPocketScale» [12].

Для визначення коефіцієнта тертя по сталевій перфорованій поверхні використовували стандартну методику з нахиленою площиною (рис.1), на якій була встановлена шкала [13].



Рисунок 1 – Загальний вигляд нахиленої площини, для визначення коефіцієнта тертя
Джерело: розроблено авторами

Фіксували кут, при якому починається сповзання зразка, що розташований на робочій поверхні нахиленої площини, під час поступового відхилення її від горизонтального положення.

Цей кут φ є граничним між станом спокою та рухом зразка по нахиленій поверхні і визначає коефіцієнт тертя спокою [14]:

$$f = \tan \varphi \quad (1)$$

Кут природного схилу, що характеризує взаємну рухливість частинок матеріалу, визначали за ДСТУ 2422-94 методом витікання з воронки бункера (рис. 2) [15].



Рисунок 2 – Загальний вигляд природного схилу пшениці, яка витікає з воронки бункера
Джерело: розроблено авторами

Коефіцієнт внутрішнього тертя δ для легкозсипних матеріалів, таких як зерно, обчислювали за формулою

$$\delta = \tan \psi \quad (2)$$

де ψ – кут природного схилу.

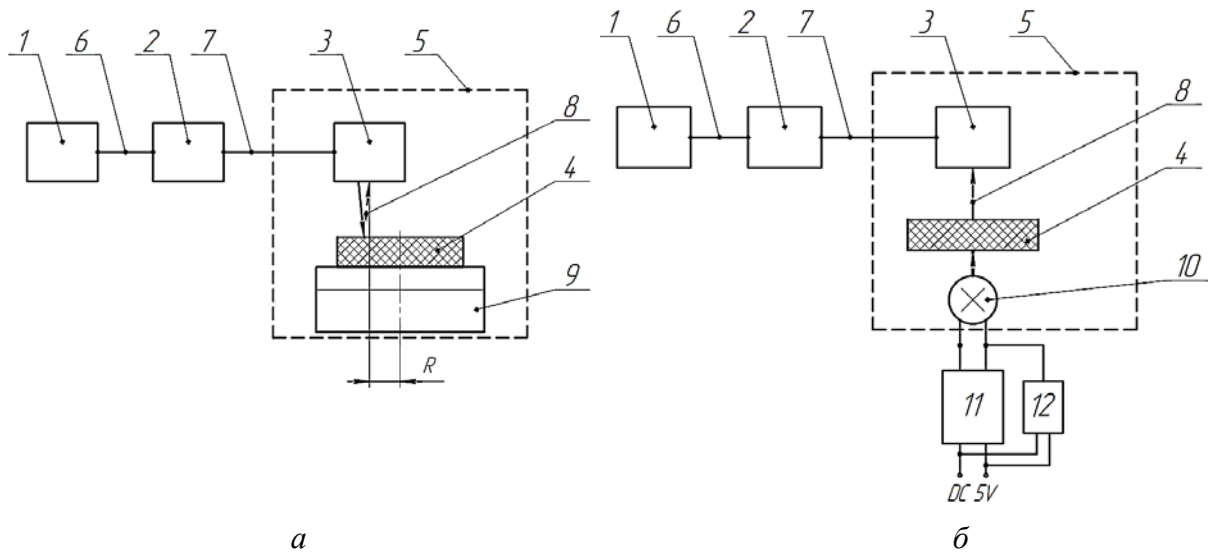
Зерно пшениці та продукти його очищення за добу до експериментів зволожували в целофанових мішках: до зерна, в залежності від початкової вологості, додавали розрахункову кількість води за таблицями [16], закривали мішки і залишали на добу. У експериментах використовували зерно пшениці сортів Білоцерківської дослідно-селекційної станції.

Результати експерименту визначали при різних значеннях одного фактора, з фіксованими значеннями інших (однофакторний експеримент). Достовірність результатів складала 95%. Експерименти повторювали тричі [17].

Статистичну обробку отриманих даних виконували за допомогою комп'ютерних програм «Microsoft Excel» та «StatSoft Statistica».

Для дослідження оптичних характеристик зернових матеріалів була розроблена установка, схема якої наведена на рис. 3

Установка для визначення оптичних характеристик зернових матеріалів базувалась на використанні цифрових мультиспектральних датчиків. Для управління роботою мультиспектрального датчика використана плата Arduino Uno, запрограмована на дискретне зчитування інформації з датчика та передачі даних в послідовний порт ПК. Кількість замірів – не менше 100 для одного дослідження. Для зчитування даних з послідовного порту, візуалізації даних та запису їх на жорсткий диск комп'ютера розроблена програма на мові програмування Python. Для усунення впливу зовнішнього освітлення, дослідний зразок та мультиспектральний датчик були розміщені всередині світлонепроникного екрана.



- 1 – ПК; 2 – плата ArduinoUno; 3 – цифровий мультиспектральний датчик; 4 – скляна чашка Петрі з зерновим матеріалом; 5 – світлонепроникний екран; 6 – кабель USB; 7 – шина I2C; 8 – випромінювання ближнього інфрачервоного та видимого діапазонів; 9 – обертова платформа; 10 – світлодіод, або інфрачервоний діод; 11 – DC/DC перетворювач; 12 – вольтметр

Рисунок 3 – Схема установки для визначення оптичних характеристик зернових матеріалів в режимі відбивання (а) та режимі пропускання (б)

Джерело: розроблено авторами

Для дослідження зернових матеріалів використані скляні чашки Петрі діаметром 100 мм та висотою 15 мм. При дослідженні в режимі відбивання чашку Петрі з зерновим матеріалом встановлювали концентрично на поверхні циліндричної обертової платформи, яку розміщували зі зміщенням осі обертання відносно матриці мультиспектрального датчика на величину R , що становила 20–25 мм (рис.3, а). Джерелом випромінювання при дослідженнях був штатний світлодіодмультиспектрального датчика.

При дослідженні зернових матеріалів в режимі пропускання, скляну чашку Петрі з зерновим матеріалом встановлювали концентрично осі матриці мультиспектрального датчика. Під чашкою Петрі, на відстані 15 мм від неї, концентрично осі матриці датчика встановлювали SMD-світлодіод, або інфрачервоний діод (рис. 3, б). Регулювання та контроль напруги живлення діодів здійснювали за допомогою знижувального DC/DC перетворювача та паралельно приєднаного цифрового вольтметра. Штатний світлодіодмультиспектрального датчика вимикали програмно за допомогою плати ArduinoUno.

Значення спектральних коефіцієнтів відбиття світла зразками зернових матеріалів визначали за виразом:

$$\rho_{\lambda} = \frac{I_{\gamma}}{\rho_{\lambda} I_{\text{дл}}}, \quad (3)$$

де ρ_{λ} – спектральний коефіцієнт відбиття світла відповідної довжини хвилі;
 I_{γ} – середнє значення інтенсивності відбитого випромінювання відповідного каналу фотодіода, $\mu\text{Вт}/\text{см}^2$;
 $I_{\text{дл}}$ – інтенсивність відбитого дзеркалом випромінювання, відповідного каналу фотодіода, $\mu\text{Вт}/\text{см}^2$.

Значення спектральних коефіцієнтів пропускання світла зразками зернових матеріалів визначали за виразом

$$\tau_{\lambda} = \frac{I_{1\gamma}}{I_{0\lambda}}, \quad (4)$$

де τ_{λ} – спектральний коефіцієнт пропускання світла відповідної довжини хвилі;
 $I_{1\gamma}$ – середнє значення інтенсивності випромінювання, що проходить через зразок та фіксується відповідним каналом фотодіода, $\mu\text{Вт}/\text{см}^2$;

$I_{0\lambda}$ – середнє значення інтенсивності випромінювання, що проходить через пусту чашку Петрі та фіксується відповідним каналом фотодіода, $\mu\text{Вт}/\text{см}^2$.

Значення спектральних коефіцієнтів поглинання світла зразками зернових матеріалів визначали за виразом

$$\alpha_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda} - \tau_{\lambda}, \quad (5)$$

де α_{λ} – спектральний коефіцієнт поглинання світла відповідної довжини хвилі.

Проведені експерименти продемонстрували, що вологість зернового матеріалу має значний вплив на фізико-механічні властивості частинок матеріалу фіксованого розміру.

Крім цього, нами проведено дослідження геометричних розмірів зерен насінневого матеріалу пшениці різних сортів (рис. 4), а саме: Краєвид, Романтика, Царівна, Щедра Нива, Либідь, Зорепад Білоцерківський, усереднені дані яких наведено в таблиці 1.



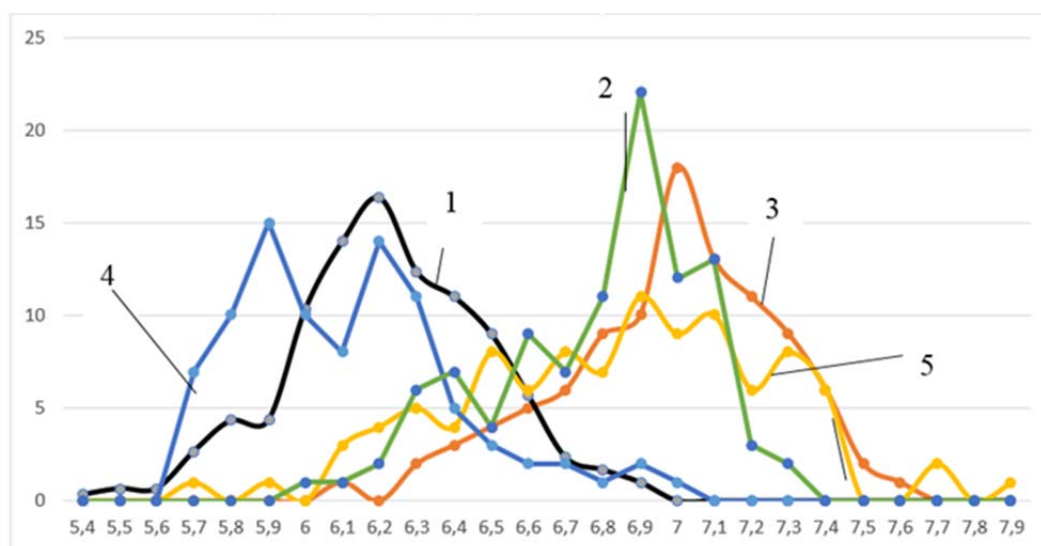
Рисунок 4 – Визначення геометричних розмірів зерен пшениці
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Усереднені дані значень геометричних розмірів зерна українських сортів пшениці врожаю 2024 р.

Сорт пшениці	Довжина, мм			Ширина, мм			Товщина, мм		
	мін.	макс.	сер.	мін.	макс.	сер.	мін.	макс.	сер.
Краєвид	5,4	6,9	6,15	2	3,9	2,95	2,1	3,7	2,9
Зорепад БЦ	6,0	7,3	6,65	2,9	3,8	3,35	2,4	3,9	3,15
Либідь	6,1	7,6	6,85	2,6	3,5	3,05	2,2	3,3	2,7
Романтика	5,7	7,0	6,35	2,6	3,7	3,15	2,3	3,4	2,85
Щедра Нива	5,7	7,9	6,8	2,4	4,0	3,2	2,0	3,5	2,75
Царівна	5,4	6,9	6,15	2	3,9	2,95	2,1	3,7	2,9

Джерело: розроблено авторами

За отриманими даними було побудовано графіки розподілу довжини окремих насінин за частотою їх повтору в відібраному зразкові на рис. 5.

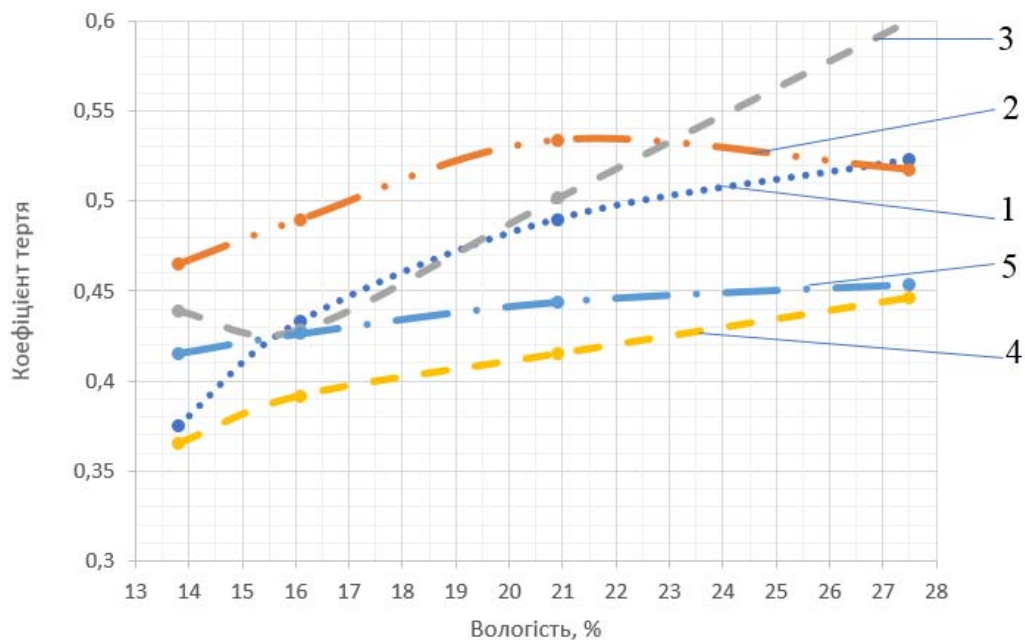


1 – Краєвид; 2 – Либідь; 3 – Зорепад Білоцерківський; 4 – Царівна; 5 – Відрада; 6 – Щедра Нива

Рисунок 5 – Криві розподілу довжини зерен різних сортів пшениці

Джерело: розроблено авторами

Зміна коефіцієнта тертя зерна та продуктів його очищення по сталевій перфорованій поверхні представлена на рис.6. Спостерігається зростання коефіцієнта тертя зі збільшенням вологості. У діапазоні вологості 15–16,5% приріст значення коефіцієнта тертя майже не спостерігається, а при подальшому збільшенні вологості його підвищення відновлюється.



1 – дерево; 2 – пластик; 3 – гума; 4 – сталь; 5 – решето
Рисунок 6– Вплив вологості оброблюваного матеріалу W на значення коефіцієнта тертя руху f по різних поверхнях

Джерело: розроблено авторами

На рис.7 показані залежності, які демонструють зміну кута природного схилу для зерна та продуктів очищення з ростом вологості. Дослідження виявило, що з підвищенням вологості зменшується рухливість, а отже, і здатність до перерозподілу. Як і в випадку з коефіцієнтом тертя, при вологості матеріалу 15–17% спостерігається уповільнення зростання кута природного схилу, яке відновлюється при подальшому збільшенні вологості.

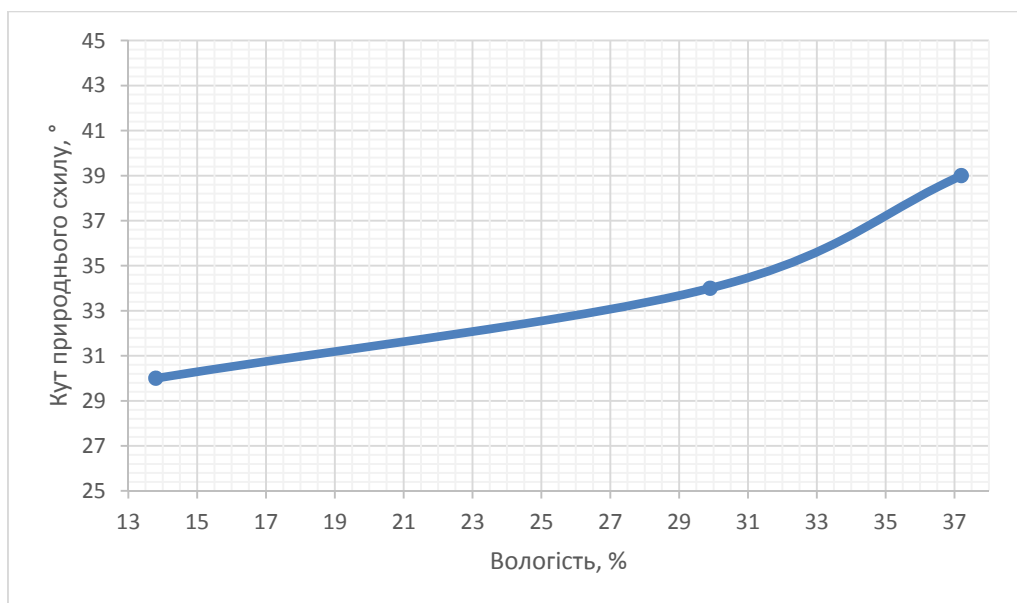
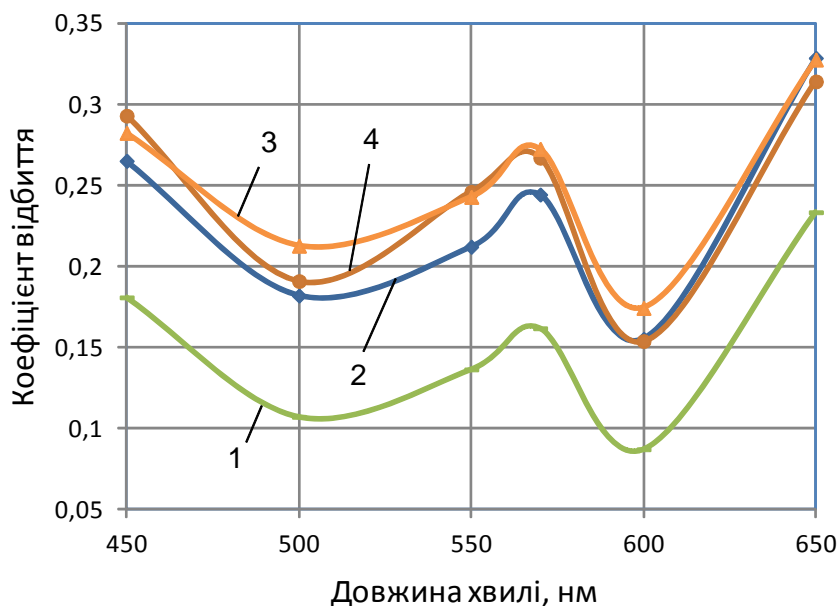


Рисунок 7– Залежність кута природного схилу ψ від вологості W сорту пшениці Краєвид
Джерело: розроблено авторами

На рис. 8 показані залежності, які демонструють зміну значення спектральних коефіцієнтів відбиття світлових промінів від зернових матеріалів пшениці.



1 – зерно пшениці кондиційне; 2 – зерно подрібнене; 3 – солома; 4 – солома подрібнена

Рисунок 8 – Залежності спектральних коефіцієнтів відбиття випромінювання видимого діапазону від зернати домішок пшениці

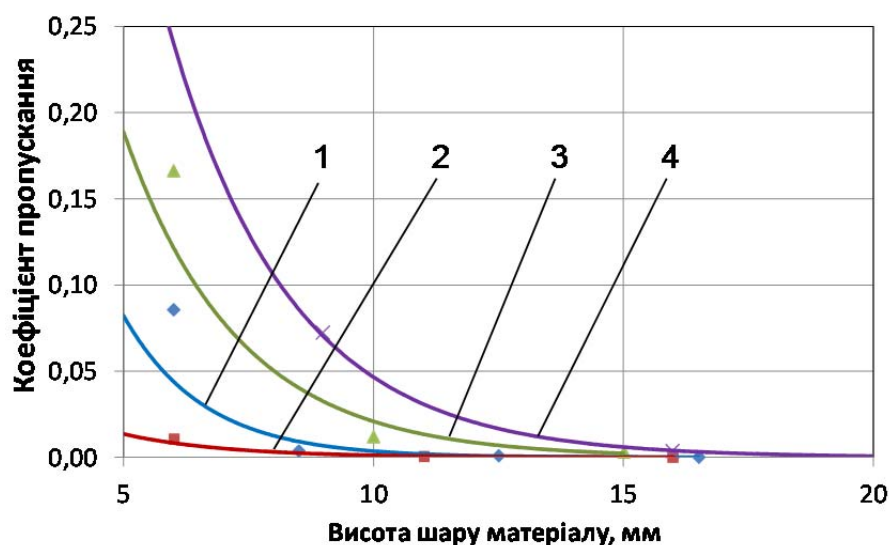
Джерело: розроблено авторами

Дослідження виявило схожий характер залежності спектральних коефіцієнтів відбиття випромінювання видимого діапазону від зернових матеріалів. Встановлено, що кондиційне зерно характеризується значно меншими усередненими значеннями спектральних коефіцієнтів відбиття порівнянні як із подрібненим зерном, так із домішками. Це подає надію ефективного процесу ідентифікації повноцінного зерна в зернових сумішах методами машинного зору.

Залежності спектральних коефіцієнтів відбиття подрібненого зерна, соломи та полови близькі між собою та перетинаються, тому для їх ідентифікації крім колірних слід використовувати відмінності в морфологічних характеристиках: розміри, форма, тощо.

На рис. 9 приведені залежності, які демонструють зміну коефіцієнтів пропускання світлового випромінювання з довжиною хвилі 550 нм в залежності від висоти шару зернових матеріалів.

Дослідження виявило, що зі збільшенням висоти шару зернових матеріалів до 10–15 мм значення коефіцієнта пропускання світлового випромінювання прямує до нуля. Тобто можна вважати, що зерно за висоти шару понад 10 мм та зернові домішки за висоти шару понад 15–20 мм стають оптично непрозорими матеріалами. В такому випадку вираз (5) можна записати у вигляді: $\alpha_{\lambda} = 1 - \tau_{\lambda}$.



1 – зерно пшениці кондиційне; 2 – зерно подрібнене; 3 – солома; 4 – солома подрібнена

Рисунок 9–Залежності коефіцієнтів пропускання світлового випромінювання з довжиною хвилі 550 нм від висоти шару зернових матеріалів

Джерело: розроблено авторами

Висновки. В результаті проведеного дослідження експериментально були отримані залежності основних фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу пшениці від його вологості: коефіцієнта тертя по перфорованій сталевій поверхні, коефіцієнта внутрішнього тертя, кута природного схилу.

Встановлені спектральні коефіцієнти поглинання та відбиття світлових променів від зерна пшениці та домішок слугуватимуть для ідентифікації матеріалів за оптичними характеристиками.

Отримані значення можуть бути використані для теоретичного визначення конструктивних параметрів приладу ідентифікації оброблюваного зернового матеріалу, при різній вологості зерна, яке підлягає обробці.

Список літератури

1. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Holovach, I., Ihnatiev, Y. Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 20/2021. P. 657–664. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF139
2. Aliiev, E., Gavrilchenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica*. 2019. Vol. 50.P. 12-22. DOI: 10.2298/apt1950012a
3. Mykhailov, Y., Zadosna, N., Postnikova, M., Pedchenko, G., Khmelovskyi, V., Bondar, M., Ionichev, A., Kozdęba, M., Tomaszewska-Górecka, W. Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops. *Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 25(1). P. 147–156. DOI: 10.2478/agriceng-2021-0012
4. Piven, M., Volokh, V., Piven, A., Kharchenko, S. Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*. 2018. Vol. 6, № 1(96). P. 62–70. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.149739
5. Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V., Trokhaniak, O., Stepanenko, S. Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. *Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*. 2020. Vol. 13(62), № 1. P. 117–128. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11

6. Tishchenko, L., Kharchenko, S., Kharchenko, F., Bredykhin, V., & Tsurkan, O. Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2, № 7(80). P. 63–69. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65920
7. Stepanenko, S. P., Kotov, B. I. Theoretical research of separation process grain mixtures. *Machinery & Energetics*. 2019. Vol. 10, № 4. P. 137–143. DOI: 10.31548/machenergy2019.04.137
8. Horoshaylo Y. E., Yarmak I. N., Efimenko S. A. The device for measuring colour. *Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Сер. : Електроенергетика та перетворювальна техніка*. 2018. № 8 (1284). С. 14–17.
9. Petit, H. A., Paulo, C. I., Cabrera, O. A., Irassar, E. F. Modelling and optimization of an incline dplane classifier using CFD-DPM and the Taguchi method, *Applied Mathematical Modelling*. 2020. Vol. 77(1), P. 617–634. DOI: 10.1016/j.apm.2019.07.059
10. Піваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна : навчальний посібник. Дніпро : ДДАЕУ, 2023. 325 с.
11. Єфименко С.А. Аналіз впливу невизначеності результатів вимірювань на достовірність колориметричного контролю. *Метрологія та прилади*. Харків, 2020. № 6.(86) С. 52–58.
12. Білинський Й. Й., Скалецька М. О. Аналіз методів та засобів вимірювання вологості сипких продуктів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. № 2. С. 25–134. DOI: 10.31649/1997-9266-2023-167-2-125-134
13. Станкевич Г.М., Кац А.К., Васильєв С.В., Гапонюк О.І. Характеристика фізико-механічних властивостей зерна спельти. *Scientific Works*, 2019. Т. 83, вип. 2. С. 50–56. DOI: 10.15673/swonaft.v2i83.1539
14. Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Київ: Мета, 2003. 448 с.
15. ДСТУ 2422-94. Зерно заготівельне і постачальне. Терміни та визначення. Вид. офіц. Уведено вперше; чинний від 1995–01–01. Київ: Держспоживстандарт України, 1995. 26 с.
16. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : Корзун Д. Ю., 2016. 158 с.
17. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень : підручник. Київ : АБУ, 2002. 480 с.

References

1. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Holovach, I. & Ihnatiev, Y. (2021). Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow. *Engineering for Rural Development*, 20/2021, 657–664. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF139
2. Aliiev, E., Gavrilchenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., & Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica*, 50, 12–22. DOI: 10.2298/apt1950012a
3. Mykhailov, Y., Zadosna, N., Postnikova, M., Pedchenko, G., Khmelovskiy, V., Bondar, M., Ionichev, A., Kozdęba, M. & Tomaszewska-Górecka, W. (2021). Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops. *Agricultural Engineering*, 25(1), 147–156. DOI: 10.2478/agriceng-2021-0012
4. Piven, M., Volokh, V., Piven, A. & Kharchenko, S. (2018). Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/1 (96), 62–70. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.149739
5. Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V., Trokhaniak, O. & Stepanenko, S. (2020). Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. *Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 13(62(1)), 117–128. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11
6. Tishchenko, L., Kharchenko, S., Kharchenko, F., Bredykhin, V. & Tsurkan, O. (2016). Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/7 (80), 63–69. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65920.
7. Stepanenko, S. P. & Kotov, B. I. (2019). Theoretical research of separation process grain mixtures. *Machinery & Energetics*, 10(4), 137–143. DOI: 10.31548/machenergy2019.04.137
8. Horoshaylo Y. E., Yarmak I. N. & Efimenko, S. A. (2018). The device for measuring colour. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Elektroenergetika i preobrazovatel'naya tehnika*, 8 (1284), 14–17.

9. Petit, H. A., Paulo, C. I., Cabrera, O. A. & Irassar, E. F. (2020). Modelling and optimization of an inclined plane classifier using CFD-DPM and the Taguchi method, *Applied Mathematical Modelling*, 77(1), 617–634. DOI: 10.1016/j.apm.2019.07.059
10. Pivovarov O.A., Kovalova O.S. & Koshulko, V.S. (2023). *Innovative methods of determining grain quality indicators*. Dnipro: DDAEU [in Ukrainian].
11. Yefimenko, S.A. (2020). Analysis of the influence of the uncertainty of measurement results on the reliability of colorimetric control. *Metrology and devices*, 6(86), 52–58 [in Ukrainian].
12. Bilinskyi J.Y. & Skaletska, M.O. (2023). Analysis of methods and means of measuring the moisture content of sticky products. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2, 25–134 [in Ukrainian]. DOI: 10.31649/1997-9266-2023-167-2-125-134
13. Stankevich, G., Kats, A., Vasiliev, S. & Gaponyuk, O. (2019). Characteristics of physical and mechanical properties of spelled grain. *Scientific Works*, 83(2), 50–56 [in Ukrainian]. DOI: 10.15673/swonaft.v2i83.1539
14. Tsarenko O.M., Voytiuk D.G. & Shvayko, V.M. (2003). Mechanical and technological properties of agricultural materials. Kyiv: Meta [in Ukrainian].
15. Derzhstandart Ukrainy. (1997). Grain procurement and supply. Terms and definitions. (ДСТУ 2422-94). Kyiv [in Ukrainian].
16. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Methodology for the qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining quality indicators of crop production*. Vinnytsia: D. Yu. Korzun [in Ukrainian].
17. Bilukha, M. T. (2002). *Methodology of scientific research*. Kyiv: ABU [in Ukrainian].

Serhii Stepanenko, Senior Researcher, DSc., **Alvian Kuzmych**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Andriy Borys**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Viktor Dnes'**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Daryna Volyk**, Post-graduate

Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production, Hlevakha, Ukraine

Anna Kuzmych, Master's Student

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Study of Physical-mechanical and Optical Characteristics of Grain Materials

The purpose of the study is to experimentally study the dependence of the physical and mechanical parameters of wheat grain on the moisture level and optical characteristics: the coefficient of friction on the perforated surface, the angle of natural slope and the coefficient of internal friction, the coefficient of absorption and reflection of light rays from the grain. The study is based on experimental data on the main physical and mechanical characteristics of wheat and its husks. The method of determining the physical and mechanical characteristics of wheat grain is presented, and the conditions of the experiments are described. The work presents a structural and functional scheme and a description of the device for determining the optical characteristics of grain materials.

According to the results of the research, the values of the studied properties of the material at different levels of humidity were obtained. The conducted analysis showed that with an increase in humidity, the investigated indicators also increase: the coefficient of friction against the surface, the angle of natural slope and the coefficient of internal friction. In the humidity range of 15–17%, the increase in the values of all indicators is almost not observed and is restored only with a further increase in humidity. The values of the spectral reflection coefficients of visible radiation from grain materials and the radiation transmission coefficients from the height of the grain material layer were obtained. In the humidity range of 15–16.5%, there is almost no increase in the value of the coefficient of friction, and with a further increase in humidity, its increase is restored. The study found that with an increase in the height of the layer of granular materials to 10–15 mm, the value of the light radiation transmission coefficient goes to zero. That is, it can be assumed that grain with a layer height of more than 10 mm and grain impurities with a layer height of more than 15–20 mm become optically opaque materials.

The obtained results can be used for the theoretical calculation of the design parameters and modes of the device for determining the optical characteristics of grain materials, as well as for determining the kinematic elements of the movement of the working surface and the processed material at different levels of moisture of the grain entering the express processing.

wheat, grain, coefficient of friction, moisture, optical characteristics

Подяка. Дослідження виконано в рамках проекту «Розробка системи аналізу та розпізнавання зернистих матеріалів за допомогою машинного зору» за темою гранту 2023.04/0040, що фінансується Національним фондом досліджень України.

Одержано (Received) 26.11.2024

Прорецензовано (Reviewed) 27.11.2024

Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024