**Твердохліб І.В.**

к.т.н., доцент

Ковальчук О.О.

аспірант

*Вінницький національний
аграрний університет***Tverdokhlib I.**

Ph.D., Associate Professor

Kovalchuk O.

postgraduate student

*Vinnitsia National Agrarian
University***УДК 636.352/353;631.362****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-2-15**

ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ЗЕРНА НА РОБОТУ ТРАНСПОРТУЮЧИХ МАШИН ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Упродовж останніх років урожайність зернових культур значно зросла завдяки впровадженню новітніх технологій, широкому використанню сучасної техніки та реалізації комплексу організаційних заходів. Ці досягнення дали змогу істотно підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва та конкурентоспроможність продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках. Проте, незважаючи на значний прогрес, існують додаткові внутрішні резерви для подальшого зростання ефективності, зокрема в галузі післязбиральної обробки зерна.

Аналіз наукових праць провідних українських дослідників і досвід практиків свідчить, що суттєві втрати зерна під час транспортування зумовлені недосконалістю конструкцій машин, які виконують ці процеси. Під час роботи зернометачів зерно піддається статичному стисканню, ударам і тертю, що призводить до механічних пошкоджень. Такі впливи змінюють фізико-механічні властивості зерна, знижуючи його якість, зменшуючи термін зберігання, схожість і товарну придатність. Саме тому ще на стадії проектування та модернізації відповідного обладнання потрібно враховувати фізико-хімічні характеристики конкретної культури.

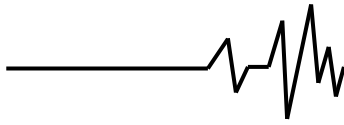
Наукові дослідження доводять, що при зростанні вологості зерна його міцність спочатку підвищується до певного максимуму, після чого різко зменшується. Це дозволяє встановити чітку залежність між вологістю зерна та енергією, необхідною для початку його руйнування. Щоб мінімізувати втрати, важливо враховувати міцнісні характеристики окремих культур ще на етапі інженерного проектування зернообробної техніки.

Перспективним напрямом вважається створення адаптивного обладнання, здатного автоматично змінювати свої параметри відповідно до властивостей оброблюваного матеріалу. Крім того, важливим резервом є селекційна робота, спрямована на виведення сортів із підвищеною механічною міцністю, що також сприятиме зниженню рівня травмування під час обробки.

Ключові слова: післязбиральна обробка, транспортуючі машини, травмування зерна, показники міцності.

Постановка проблеми. Виробництво зерна наразі залишається основною галуззю сільського господарства України. За останні роки завдяки впровадженню нових технологічних прийомів, широкому застосуванню сучасної техніки та ряду інших

заходів, урожайність зернових культур значно підвищилась. Але лишаються ще резерви для підвищення ефективності виробництва зернових. Цього можна досягти, в першу чергу, шляхом зменшення втрат при проведенні збиральних робіт і, особливо, під час



післязбиральної обробки урожаю. Ці втрати зерна мають різні джерела виникнення. Якщо під час збиральних робіт втрати, значною мірою, лишаються в полі, то під час післязбиральної обробки зростають втрати внаслідок травмування зерна. Особливо негативно це позначається на насіннєвому матеріалі.

Найбільше травмування зерна відбувається під час його контакту з робочими органами транспортуючих машин [1]. Розміри травмування залежать від конструктивно-технологічних характеристик транспортуючої машини та показників міцності самого зерна. В процесі реалізації транспортної операції ці дві складові взаємно впливають одна на одну.

Саме вирішенню проблеми впливу характеристик зерна на раціональні конструктивно-технологічні показники транспортуючих машин і присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В попередній роботі авторів, що присвячена даній тематиці [2] було відмічено, що весь процес післязбиральної обробки зерна супроводжується транспортними операціями для перезавантаження зерна з однієї машини на іншу або в місця його тимчасового зберігання. Було розглянуто цілу низку робіт вітчизняних вчених та спеціалістів-практиків в яких практично однотайно був зроблений висновок, що основними причинами втрат зерна при проведенні транспортуючих робіт є недосконалість конструкції машин, що найбільше виконують дані операції. Відмічалось, що найбільші втрати через травмування зерна присутні при виконанні транспортуючих операцій шнековими транспортерами та норіями.

Аналогічні висновки мають місце і в роботах зарубіжних спеціалістів, які досліджували взаємний вплив властивостей зерна і конструктивно-технологічних параметрів машин.

При дослідженні впливів параметрів машин [3] на характеристики зерна (вологість, розмір, показники міцності) на можливість пошкодження продукту. Механічними факторами були швидкість удару, кут удару, площа поверхні контакту. На основі теоретичних та експериментальних досліджень були розроблені математичні моделі, що описують взаємодію зерна та робочих органів транспортуючих машин. Зокрема, було з'ясовано, що зерна рису з більшою вологістю можуть поглинати більше енергії, внаслідок чого зерна з меншою вологістю мали нижчий поріг міцності і були більш схильними до крихкості під час удару.

В роботі [4] автори досліджували процеси післязбиральної обробки зерна кукурудзи. Вони стверджують, що найбільш проблемною, з точки зору травмування зерен, є операція сушіння. За їх спостереженнями, це пов'язано з постійним рухом і контактом з деталями сушарки та робочими органами транспортуючих засобів.

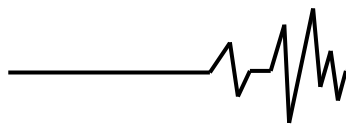
Праця [5] детально описує аналіз особливостей роботи різних машин при проведенні операцій післязбиральної обробки зерна. Зокрема, відмічається значне підвищення продуктивності шнекових конвеєрів завдяки адаптації систем керування до зерна з різними властивостями. Основним висновком досліджень є необхідність постійного впровадження інновацій в конструкції механізмів, з метою адаптації їх до різних сортів зерна, що дасть змогу покращити параметри роботи механізмів.

Хоча роботи [6, 7] присвячені дослідженню роботи різних машин, відповідно пневматичного шнекового конвеєра і стрічкового транспортера, але головний висновок в роботах однаковий – дослідження підтвердили взаємний вплив конструктивних особливостей машин та якості транспортування зерна.

В усіх розглянутих роботах відзначається, що особливості конструкції та режимних параметрів роботи транспортуючих машин значно впливають на характер пошкодження зерна. Дещо в іншому ракурсі представлена взаємодія зерна і конвеєрного транспортера в роботі [8]. Там показано, як характеристики міцності зерна впливають на пошкодження транспортера. Адже зерно з низькими показниками міцності при його транспортуванні дає більше пилу та дрібних частинок, які знижують надійність роботи опорних котків транспортера.

Серед вітчизняних дослідників слід відмітити праці Д.А. Дерев'янка, який присвятив вивченню даної проблеми багато сил і часу. Так, наприклад, у роботі [9] вивчалась залежність травмування насіння від вмісту в воросі решток соломи, насіння бур'янів та інших сторонніх компонентів. Підвищений їх вміст збільшує час проведення операцій післязбиральної обробки і транспортування, що підвищує ймовірність травмування зерна. В роботах [10, 11, 12] досліджувався вплив конструкцій і режимних параметрів різних транспортуючих машин на травмування зерна. В цілому, дослідження, які наведені в цих роботах підтверджують висновки інших дослідників.

В попередній роботі авторів даної статті [2] детально розглянуті впливи транспортуючих машин різних конструкцій на можливість травмування зерна. Відмічено, що найбільшого



ушкодження зерну завдають шнекові, скребкові транспортери та норії. Також пропонується використання стрічкових зернометачів для виконання транспортуючих операцій на пунктах післязбиральної обробки урожаю.

Найменше ушкодження зерну завдають зернометачі, ще однією їх використання є часткове зниження вологості маси під час виконання транспортуючих робіт.

Але існуючі конструкції зернометачів мають певний недолік, що полягає в частковому ковзанні шару зерна між стрічкою та притискаючим барабаном. Для усунення цього недоліку потрібно знати, як впливають показники міцності зерна на можливість варіювання конструктивно-режимних параметрів машини. Саме дослідженню цього питання присвячена дана робота.

Мета роботи. Метою роботи є зменшення травмування зерна при проведенні післязбиральної обробки зерна шляхом виявлення взаємного впливу показників міцності зерна та параметрів транспортуючих машин.

Результати досліджень. При переміщенні зерна транспортуючими органами машин для післязбиральної обробки виникають його пошкодження, які умовно можна поділити на макро – і мікротравми [13]. Мікротравми характеризуються відділенням від цілого зерна частинки, яку можна спостерігати неозброєним оком. Мікротравми характеризуються пошкодженням, що не супроводжуються зміною маси зернівки, це можуть бути тріщини, уколи, вм'ятини тощо.

При роботі зернових метачів основні види травмування зерна виникають через наявність статичного тиску, динамічного удару та тертя. При таких впливах зерно може змінювати свої властивості, що суттєво впливає на його товарні якості. Тому на стадії проектування або модернізації зернометача потрібне вивчення фізико-хімічних властивостей матеріалу. При цьому бажано здійснювати аналіз впливу елементів машини та їх параметрів на окремі види ушкоджень. Тут важливо дослідити і зворотній зв'язок – тобто, як мінімізація можливих ушкоджень впливає на конструктивні та режимні параметри роботи машини.

Структура насіння зернових культур має неоднорідність або анізотропію. Зовнішній вид зернівки за формою можна вважати еліпсоїдом. В залежності від факторів зростання зернівка може мати різну форму – овальну, яйце – або діжкоподібну. Зазвичай спинкою називають опуклу сторону зернівки, а черевцем протилежну їй. Вздовж черевця проходить борозенка різної глибини. Зародок розміщений на нижньому кінці зернівки (рис. 1).



Рис. 1 Зовнішній вигляд зернівки пшениці

Зернівка має досить значну неоднорідність в будові, тому ступінь пошкодження залежить не тільки від величини сили, що діє на матеріал, а й від напрямку прикладання цієї сили [14]. Напрямок дії прикладеної сили при стисненні можна охарактеризувати трьома положеннями зернівки: «спинка – борозенка», «черевце – черевце» та «навстоячки».

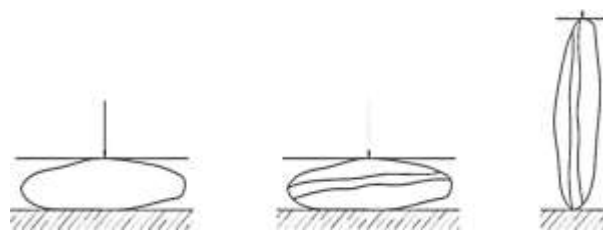


Рис. 2 Напрямок дії на зернівку сили стискування

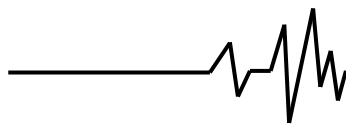
Вологість зерна є одним із головних факторів, що впливають на показники його міцності. Встановлено, що для зерна більшої вологості потрібно менше навантаження для його руйнування [15]. В таблиці 1 представлені величини сили руйнування для різних сортів пшениці в залежності від їх вологості.

Таблиця 1 Сили руйнування зернівки пшениці при статичному навантаженні, Н

№п/п	Назва сорту	Вологість, %			
		11	12	13	14
1.	Богдана	149	138	130	125
2.	Подольська	135	131	126	124
3.	Астарт	129	124	119	110
4.	Краєвид	110	106	101	99
5.	Софія Київська	108	104	97	96
6.	Оранта	100	95	92	89

Величина навантаження, що руйнує зернівку залежить не тільки від сорту, але й в межах одного сорту – від розмірів одиничного зерна.

Деформацію зерна можна розділити на два типи: пружна і залишкова. Пружна



деформація більш характерна для зерна нижчої вологості, коли залишкова має мінімальне значення, при збільшенні вологості залишкова деформація починає зростати.

В роботі [15] наводяться дані про досліді впливу динамічного навантаження на зерно.

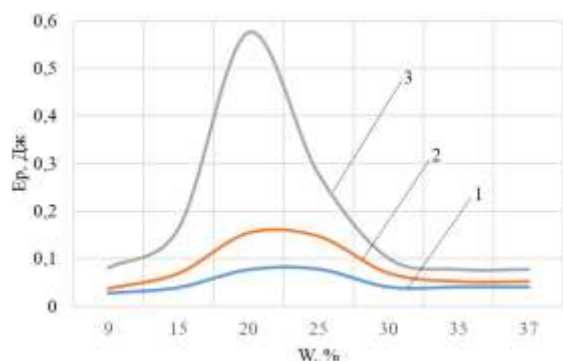


Рис. 3 Залежність енергії руйнування зернівки від вологості

Під час проведення дослідів вантаж масою 0,2 кг з різної висоти падав на зернівку різної вологості. Було встановлено, що зі збільшенням вологості зерна його міцність збільшується до певної величини, а потім різко зменшується. Автори провели серію аналогічних дослідів де визначали залежність енергії початку руйнування зернівки від його вологості. Результати експериментів представлені на рисунку 3.

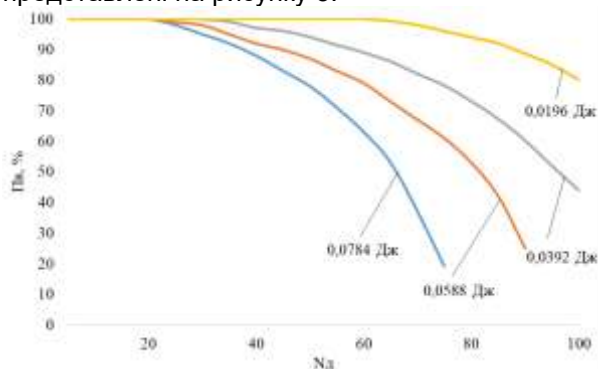


Рис. 4 Залежність схожості насіння від кількості циклів динамічного навантаження

Також у роботі [15] відмічається, що на посівні якості насіннєвого зерна має вплив не тільки енергія удару, але й кількість контактів зерна з конструктивними елементами машин. На рисунку 4 показаний вплив кількості циклів динамічного навантаження на схожість насіння.

Також, слід зауважити, що одинична дія даного динамічного навантаження не завдає шкоди насінню.

Аналіз досліджень дії статистичних та динамічних навантажень на зерновий матеріал показує, що властивості міцності зернівок залежать від багатьох факторів. Найбільш

значимі з них – величина навантаження, вид та сорт зерна, його розміри, вологість тощо. Щоб зменшити травмування зерна потрібно ще на етапі розробки зернометача враховувати властивості міцності відповідного зерна. Слушною може бути розробка машин з можливістю адаптації їх конструктивно-режимних параметрів під культури заздалегідь визначеними властивостями. Також потрібно приділяти більше уваги в селекційній роботі з метою покращення властивостей міцності сортів зерна.

Висновки та перспективи подальших досліджень:

1. Під час післязбиральної обробки зерна найбільший рівень травмування відбувається під час його контакту з робочими органами транспортуючих машин. Ступінь травмування залежить від конструктивно-технологічних характеристик транспортуючих машин та показників міцності самого зерна.

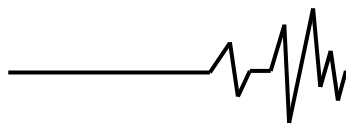
2. Найбільш значимими факторами, що впливають на показники міцності зерна є вид та величина навантаження, сорт зерна, його розміри, вологість та умови росту.

3. На якість насіннєвого зерна (схожість, енергія проростання) окрім величини динамічного навантаження, значний вплив має кількість циклів дії цього навантаження. Зі збільшенням числа циклів навантаження показники якості насіннєвого зерна значно погіршуються.

4. Основу подальших досліджень має скласти розробка систем керування параметрами машин з метою адаптації їх роботи до зерна з різними властивостями.

Список використаних джерел

1. Твердохліб І.В., Ковальчук О.О., Спірін А.В., Павленко В.К. Транспортування зерна в процесі його післязбиральної обробки. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2024. № 2 (113). С.75-82. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-8
2. На яких етапах пошкоджується зерно: веб-сайт. URL: <http://www.Cherk-consumer.gov.ua> (дата звернення 30.05.25).
3. George Ashwehmbom Looh, Fangping Xie, Xiushan Wang, Augustine Ngiejungbwen Looh, Hamdaoui Hind Grain kernel damage during threshing: a comprehensive review of theories and models *Journal of Agricultural Engineering*. Vol. 56 No. 1 2025 doi.org/10.4081/jae.2025.1674
4. Marek Angelovic, Koloman Kristof, Michal Angelovic, Ján Jobbagy The effect of post-harvest processing in model line at food maize



grains external and internal quality. *TAE*. 2019. №7. P. 32-39.

5. Andrey Kekli, Bulat Salykov, Ayap Kurmano. Enhancing efficiency and safety in grain silo unloading: analysis and optimization of mechanisms. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol. 19, No. 2, April, 2024, pp. 513-521. doi.org/10.18280/ij dne.190217

6. Bulgakov V., Ivanovs S., Beloev I., Trokhaniak, O., Aboltins A., Kaletnik H., Ruzhylo Z. Study on power parameters of moving grain materials with pneumatic screw conveyor. *Engineering for Rural Development*. 2023. Vol. 22, P. 576-581.

URL:

<https://www.tf.lbtu.lv/conference/proceedings2023/Papers/TF119.pdf/>.

7. Zhumash Bekmyrza, Bulat Salykov, Kuanysh Ryspayev, Ayap Kurmanov. Improving the design and operating parameters of the belt conveyor for working with heavily impure grain crops. *International Journal of GEOMATE*. Sept. 2023. Vol. 25, Issue 109, pp.173-180. Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2318>.

8. Piotr Bortnowski, Witold Kawalec, Robert Król, Maksymilian Ozdoba. Types and causes of damage to the conveyor belt – Review, classification and mutual relations. *Engineering Failure Analysis*, 2022. Vol. 140 p.106520. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106520

9. Дерев'янюк Д.А., Дерев'янюк О.Д. Вплив технічних засобів та компонентів зернового вороху на травмування та якість насіння. *Техніка і технології АПК*. 2016. № 6. С.17-20.

10. Дерев'янюк Д. А., Сукманюк О. М., Чичилюк С. Б., Дерев'янюк О. Д. Вплив технічних засобів на міцність, травмування і якість насіння зернових культур. *Наукові горизонти*. 2019. № 10 (83). С. 64–71.

11. Дерев'янюк Д.А., Сукманюк О.М., Чичилюк С.Б., Дерев'янюк О.Д., Поліщук В.М. Вплив транспортувальних технічних засобів на травмування і якість насіння зернових культур. *Наукові горизонти*. 2020. № 4 (23). С. 47–54. doi.org 10.33249/2663-2144-2020-89-4-47-54

12. Дерев'янюк Д. А., Поліщук В. М., Чичилюк С. Б., Дерев'янюк О.Д. Обґрунтування впливу ковшового транспортера на травмування і якість насіння зернових культур. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. 2020, Vol. 11, No. 1 С. 163-169. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.163-169

13. Грабар І. Г., Дерев'янюк Д. А., Герук С. М. Вплив кількісно-якісного обліку на втрати зерна та його якісні показники при переміщенні і зберіганні. *Серія Технічні науки. Збірник наукових праць Вінницького*

державного аграрного університету. 2010. Вип. 4. С. 34-36.

14. Дерев'янюк Д. А. Дослідження показників якості насіннєвого матеріалу озимої пшениці під час збирання, післязбирального обробітку і посіву. *Техніка і технології АПК*. 2011. №6. С. 34-36

15. Дерев'янюк Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння. *Монографія*. Житомир. 2015. 772с.

16. Kotov B., Spirin A., Kalinichenko R., Bandura V., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. № 65. P. 20-24.

17. Tsurkan O., Prysiazhniuk Y., Spirin A., Borysiuk D., Tverdokhlib I., Polievoda Y. Research of the process of vibroozone drying of grain. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 12. P. 329–333.

18. Spirin A., Borysiuk D., Tsurkan O., Tverdokhlib I., Veselovska N., Edl M. Ways of Intensification of Grass Seed Production. *Journal of Engineering Sciences*. 2023. Vol. 10, Issue 1. P. F11-F19.

19. Твердохліб І.В., Спирін А.В. До обґрунтування ефективності повітряно-відцентрової сепарації і пилоочищення насіннєвого вороху трав після теркового пристрою. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2019. № 4 (95). С. 76-81.

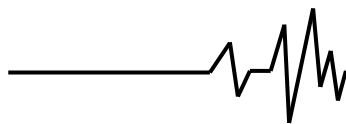
20. Анеляк М.М., Кузьмич А.Я., Твердохліб І.В. Обґрунтування режимів роботи молотарки зернозбирального комбайна на насіння багаторічних трав. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2012. Вип. № 10 Т. 2 (59). С. 40–43.

References

1. Tverdokhlib I.V., Kovalchuk O.O., Spirin A.V., Pavlenko V.K. (2024). Transportuvannya zerna v protsesi yoho pislyazbyral'noyi obrobky. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. № 2 (113). S.75-82. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-8. [in Ukrainian].

2. Na yakykh etapakh poshkodzhuyet'sya zerno: veb-sayt. URL: <http://www.Cherk-consumer.gov.ua> (data zvernennya 30.05.25). [in Ukrainian].

3. George Ashwehmbom Loooh, Fangping Xie, Xiushan Wang, Augustine Ngiejungbwen Loooh, Hamdaoui Hind (2025). Grain kernel damage during threshing: a comprehensive review of theories and models [*Journal of*](#)



Agricultural Engineering. Vol. 56 No. 1
doi.org/10.4081/jae.2025.1674 [in China].

4. Marek Angelovic, Koloman Kristof, Michal Angelovic, Ján Jobbagy (2019). The effect of post-harvest processing in model line at food maize grains external and internal quality. *TAE*. №7. P. 32-39 [in Czech Republic]

5. Andrey Kekli, Bulat Salykov, Ayap Kurmano. (2024). Enhancing efficiency and safety in grain silo unloading: analysis and optimization of mechanisms. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol. 19, No. 2. pp. 513-521. doi.org/10.18280/ij dne.190217. [in Kazakhstan]

6. Bulgakov V., Ivanovs S., Beloev I., Trokhaniak, O., Aboltins A., Kaletnik H., Ruzhylo Z. (2023) S.tudy on power parameters of moving grain materials with pneumatic screw conveyor. *Engineering for Rural Development..* Vol. 22, P. 576-581. URL:

<https://www.tf.lbtu.lv/conference/proceedings2023/Papers/TF119.pdf> [in Ukrainian].

7. Zhumash Bekmyrza, Bulat Salykov, Kuanysh Ryspayev, Ayap Kurmanov. (2023). Improving the design and operating parameters of the belt conveyor for working with heavily impure grain crops. *International Journal of GEOMATE*. Sept. Vol. 25, Issue 109, pp.173-180. Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2318>. [in Japan].

8. Piotr Bortnowski, Witold Kawalec, Robert Król, Maksymilian Ozdoba. (2022). Types and causes of damage to the conveyor belt – Review, classification and mutual relations. *Engineering Failure Analysis*.. Vol. 140 p.106520. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106520 [in Czech Republic].

9. Derevyanko D.A., Derevyanko O.D. (2016). Vplyv tekhnichnykh zasobiv ta komponentiv zernovoho vorokhu na travmuvannya ta yakist' nasinnya. *Tekhnika i tekhnolohiyi APK*. № 6. P. 17-20. [in Ukrainian].

10. Derev'yanko D. A., Sukmanyuk O. M., Chychyliuk S. B., Derev'yanko O. D. (2019). Vplyv tekhnichnykh zasobiv na mitsnist', travmuvannya i yakist' nasinnya zernovykh kul'tur. *Naukovi horyzonty*. № 10 (83). S. 64–71. [in Ukrainian].

11. Derev'yanko D.A., Sukmanyuk O.M., Chychyliuk S.B., Derev'yanko O.D., Polishchuk V.M. (2020). Vplyv transportuval'nykh tekhnichnykh zasobiv na travmuvannya i yakist' nasinnya zernovykh kul'tur. *Naukovi horyzonty*. № 4 (23). S. 47–54. doi.org 10.33249/2663-2144-2020-89-4-47-54. [in Ukrainian].

12. Derev'yanko D. A., Polishchuk V M., Chychyliuk S. B., Derev'yanko O.D. (2020). Obgruntuvannya vplyvu kovshovoho transportera na travmuvannya i yakist' nasinnya zernovykh

kul'tur. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. Vol. 11, No. 1 S. 163-169. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.163-169. [in Ukrainian].

13. Hrabar I. H., Derev'yanko D. A., Heruk S. M. (2010). Vplyv kil'kisno-yakisnoho obliku na vtraty zerna ta yoho yakisni pokaznyky pry peremishchenni i zberihanni. *Seriya Tekhnichni nauky. Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho derzhavnoho aharnoho universytetu*. Vyp. 4. S. 34-36. [in Ukrainian].

14. Derev'yanko D. A. (2011). Doslidzhennya pokaznykiv yakosti nasinnyevoho materialu ozymoyi pshenytsi pid chas zbyrannya , pislyazbyral'noho obrobittu i posivu. *Tekhnika i tekhnolohiyi APK*. №6. S. 34-36. [in Ukrainian].

15. Derev'yanko D. A. (2015). Vplyv tekhnichnykh zasobiv ta tekhnolohichnykh protsesiv na travmuvannya i yakist' nasinnya. *Monohrafiya. Zhytomyr*. 772s. [in Ukrainian].

16. Kotov B., Spirin A., Kalinichenko R., Bandura V., Polievoda Y., Tverdokhlib I. (2019). Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation. *Research in Agricultural Engineering*. № 65. P. 20-24. [in English].

17. Tsurkan O., Prysiazhniuk Y., Spirin A., Borysiuk D., Tverdokhlib I., Polievoda Y. (2022). Research of the process of vibrozone drying of grain. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 98, № 12. P. 329–333. [in English].

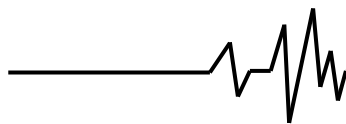
18. Spirin A., Borysiuk D., Tsurkan O., Tverdokhlib I., Veselovska N. (2023). Edl M. Ways of Intensification of Grass Seed Production. *Journal of Engineering Sciences*.. Vol. 10, Issue 1. P. F11-F19. [in English].

19. Tverdokhlib I.V., Spirin A.V. (2019). Do obgruntuvannya efektyvnosti povitryano-vidsentrovoyi separatsiyi i pyloochyshchennya nasinnyevoho vorokhu trav pislya terkovoho prystroyu. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. № 4 (95). P. 76-81. [in Ukrainian].

20. Anelyak M.M., Kuzmych A.YA., Tverdokhlib I.V. (2012). Obgruntuvannya rezhymiv roboty molotarky zernozbyral'noho kombayna na nasinnya bahatorichnykh trav. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho natsional'noho aharnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. Vyp. № 10 T. 2 (59)*. P. 40–43. [in Ukrainian].

INFLUENCE OF GRAIN STRENGTH ON THE OPERATION OF TRANSPORTING MACHINES OF POST -HARVESTING MACHINES

In recent years, grain crop yields have significantly increased due to the introduction of advanced technologies, extensive use of modern agricultural machinery, and the implementation of a range of organizational measures. These



advancements have substantially improved the efficiency of agricultural production and the competitiveness of products in both domestic and international markets. However, despite the notable progress, there remain internal reserves for further efficiency enhancement, particularly in the field of post-harvest grain processing.

An analysis of scientific studies by leading Ukrainian researchers, supported by practical experience, indicates that substantial grain losses during transportation are primarily caused by the imperfections in the design of the machines involved in these processes. During the operation of grain throwers, grain undergoes static compression, impacts, and friction, which result in mechanical damage. Such stresses alter the physico-mechanical properties of the grain, negatively affecting its quality, storage life, germination capacity, and commercial value. Therefore, at the design and modernization stage of grain-handling equipment, it is essential to

consider the physicochemical characteristics of the specific crop being processed.

Scientific research shows that as grain moisture increases, its strength initially rises to a peak, after which it sharply declines. This demonstrates a clear relationship between grain moisture content and the energy required to initiate structural failure. To minimize damage, it is critical to account for the strength characteristics of individual grain crops during the engineering design phase of grain processing machinery.

A promising direction is the development of adaptive equipment capable of automatically adjusting its structural and operational parameters in response to the properties of the grain being processed. Additionally, breeding efforts aimed at developing varieties with enhanced mechanical strength represent a significant potential for reducing grain damage during handling.

Keywords: post-harvest processing, conveying machines, grain damage, strength indicators.

Відомості про авторів

Твердохліб Ігор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві, Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Ковальчук Олег Олександрович – аспірант кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: olejikhvok@gmail.com).

Tverdokhlib Igor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department labor protection and biotechnical systems in animal husbandry, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Kovalchuk Oleg - graduate student of the department of labor protection and biotechnical systems in animal husbandry of the Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: olejikhvok@gmail.com.