



Механізація, електрифікація

УДК 631.354:633.1

© 2020

ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ НА ПОШКОДЖЕННЯ І ЯКІСТЬ НАСІННЯ

Д.А. Дерев'янка¹, О.М. Сукманюк², В.В. Сарана³, О.Д. Дерев'янка⁴

¹доктор технічних наук

²кандидат історичних наук

³кандидат технічних наук

^{1, 2, 4}Житомирський національний агроекологічний університет
б-р Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

³Національний університет біоресурсів та природокористування
вул. Героїв Дніпра, 11, м. Київ, 10031, Україна

e-mail: ¹derevyanko.dmutro@gmail.com, ²sukmanyukolena@gmail.com,

³sarana@gmail.com, ⁴derevyanko.dmutro@gmail.com

ORCID: ¹0000-0003-1408-6274, ²0000-0003-2485-488X

Надійшла 14.11.2019

Мета. Обґрунтувати можливості покращення якості насіння через зниження його пошкодження на всіх стадіях процесу збирання, оброблення, підготовки і сівби та розробити обладнання для реалізації цих процесів у виробництві. **Методи.** Теоретичні дослідження і розрахунки виконували через математичне моделювання роботи технічних засобів і технологічних процесів. Використовували основні закони механіки і сучасні методи комп'ютерних розрахунків. Експериментальні дослідження виконували в лабораторно-виробничих умовах із використанням натурних зразків і технічних засобів за розробленими і стандартними методиками. **Результати.** Проведено дослідження щодо вивчення міцності та руйнування, тобто макротравмування зернівок залежно від механічних впливів, зусиль і напружень. Визначено, як зовнішні засоби впливають на виникнення і розповсюдження деформацій і тріщин та скільки їх при певному навантаженні досягає критичної довжини. Виникнення і напрям утворення тріщин і їх кількості у більшості випадків залежать від направлення дії зовнішніх сил і внутрішніх біологічних особливостей зернівки. На міцність зернівки, крім тріщин, мають також істотний вплив мікротравми зародка, ендосперму та насінневої і квіткової оболонок. Як незалежні параметри, за допомогою яких оптимізуємо енергію прискорення зернівки для мінімізації деформацій та мікротравмування насіння, прийнято кутове та поступальне прискорення деформації об'єму частини зернівки і кутове прискорення у точці зіткнення зернівки зі сферичною поверхнею робочого органу. Проведено теоретичні розрахунки та обґрунтовано вплив

барабанних і роторних молотильних апаратів на деформацію і пошкодження насіння. Висновки. Розрахунки і графічні залежності підтверджують висновок експериментально-виробничих досліджень: макро- і особливо мікротравмування насіння пшениці озимої та жита при збиранні роторним молотильним апаратом значно менше, ніж за використання барабанного, що істотно впливає на якість насіння.

Ключові слова: зародок, зернові культури, насіннєва і квіткова оболонки, ендосперм, макро- і мікротравмування, барабан, ротор, міцність, деформація.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202002-10>

Відомо, що пшениця озима, жито та інші цінні зернові культури, які займають великі площі посіву, відіграють значну роль у продовольчому забезпеченні, що потребує використання насінням із високими показниками якості. У другій половині ХХ ст. науковці-дослідники, селекціонери та виробники довели і обґрунтували, що тільки високоякісне насіння за всіх інших однакових можливостей забезпечує формування більшості майбутнього врожаю.

Важливим є той факт, що існує певне відставання в удосконаленні, виробництві та упровадженні новітніх технічних засобів і технологій збирання, післязбирального дороблення зернового вороху, підготовки, транспортування, завантаження, протруювання насіння та сівби. Дослідження показують, що вдосконалення впливу робочих елементів технічних засобів під час технологічних процесів на зниження травмування зернівок сприяє істотному покращенню якісних показників насіння та зростанню урожайності зернових культур.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Макро- та мікротравмування, пошкодження і повне руйнування зернівок є наслідком впливу механічних навантажень багатьох елементів технологічного процесу: від збирання до сівби.

У створення наукових основ теорії взаємодії робочих поверхонь механізмів і різних матеріалів, зокрема зернової маси, значний внесок зробили такі відомі вчені, як В.В. Адамчук, П.М. Василенко, Є.С. Гончаров, В.М. Дринча, П.М. Заїка, І.Г. Строна, О.П. Тарасенко, Л.М. Тищенко [1–3, 8–12, 14, 17] та ін.

Дослідження Д.А. Дерев'янка [6, 7] свідчать, що при контактуванні зернівок із ро-

бочою поверхнею гвинта залежно від підняття витка спостерігається найменша інтенсивність притиснення, а отже, мікротравмування насіння перебуває у діапазоні $\alpha = 5 - 10^\circ$. При збільшенні кута підняття до 15° і більше інтенсивність зростання пропорційна до кута підняття витків гвинта.

Дослідження І.В. Головача, Д.А. Дерев'янка, М.А. Пугачова, І.Г. Строни, О.П. Тарасенка, В.І. Оробінського, Л.В. Фадєєва, С.А. Чазова [4, 5, 9–11, 13–16] та ін. підтверджують, що травмування зернівок під час обмолочування сягає 20% і більше, а при доробленні зернового вороху і підготовленні насіння та сівби пошкодження значно зростає та іноді сягає 60–80%.

За даними В.М. Дринчі [8, 9] травмування зернівок під час обмолочування інколи сягає 30–35%, а за підготовки насіння навіть більше 50%, залежно від вологості структури зернового вороху та механічних навантажень.

Протягом останніх років значну роботу з розроблення та впровадження у виробництво принципово нових очисно-калібрувальних технічних засобів і технічних ліній провів Л.В. Фадєєв [15, 16].

Отже, глибоке і всебічне вивчення фізико-механічних і біологічних особливостей насіння, розроблення нових технологій і модернізація робочих органів, що забезпечуватимуть мінімальну кількість мікротравмування зернівок, є запорукою отримання високоякісного насіння відповідно до агротехнічних вимог і державних стандартів.

Мета досліджень — обґрунтувати можливості покращення якості насіння через зниження його пошкодження на всіх стадіях процесу збирання, оброблення, підготовки і сівби та розроблення обладнання

для реалізації цих процесів у виробництві. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- обґрунтувати та побудувати математичні моделі впливу робочих органів зернозбиральних агрегатів та насіннеочисних машин на очищення, деформування та травмування насіння;
- запропонувати оптимальні режими роботи молотильних апаратів і системи очищення зернозбиральних комбайнів вітчизняного і закордонного виробництва на основі наукових, експериментальних та виробничих досліджень;
- виготовити лабораторне, виробниче та експериментальне обладнання для зниження травмування насіння, що забезпечить покращення його якості та ін.

Матеріали та методи досліджень. Для експериментальних досліджень було вдосконалено пневмосепарувальний пристрій із гумовим покриттям і рекомендовано гумову футерівку корпусу, що впливає на зниження травмування насіння і покращення його якості. Запропоновано нову конструкцію окремого робочого органу — вловлювача-розподільника, що розміщується на кожному циліндричному решеті для калібрування і відбирання високоякісного насіння. Його робочі поверхні покриті гумою, що також знижує травмування. Виготовлено лабораторне обладнання для дослідження впливу механічних чинників на міцність і травмування зернівки.

Теоретичні дослідження і розрахунки виконували через математичне моделювання роботи технічних засобів та технологічних процесів, використання основних законів механіки і сучасних методів комп'ютерних розрахунків. Експериментальні дослідження здійснювали в лабораторно-виробничих умовах із використанням натурних зразків та технічних засобів за розробленими і стандартними методиками.

Застосовано розрахункові диференціальні рівняння, інтегрування, перетворення, скорочення, позначення, сучасні методи комп'ютерних розрахунків і графічні визначення на основі законів механіки.

Результати досліджень. Під час виконання технологічних процесів збирання, оброблення зернового вороху, підготовки

насіння і сівби слід враховувати вплив на зернівку зовнішніх та внутрішніх чинників. Вони спричиняють виникнення у зернівці напружень, які спонукають до активного переміщення усієї органічної маси. Унаслідок цього відстані між окремими частинками збільшуються, що послаблює міцність, тобто спротив до руйнування усієї зернівки.

На подальших стадіях технологічного процесу відбувається поступове збільшення таких впливів. Це призводить до зростання відстаней між атомами та сприяє створенню умов для подолання потенційного бар'єру при переході від стійкого стану рівноваги до нестійкого. У подальшому відстань між окремими шарами атомів стає дуже великою, що створює передумови для виникнення тріщиноподібного утворення — розриву, який навіть після припинення навантаження не зникається.

Проте руйнування зернівок, тобто утворення тріщин, слід розглядати як процес, що проходить дві стадії: зародження умов для утворення майбутньої тріщини, тобто фізичні особливості руйнування, і поширення її розвитку, або механіка руйнування. Процеси руйнування на кожній із цих стадій мають різні закономірності, зв'язки між якими досі вивчено недостатньо. Хоча саме знання цього зв'язку дало б можливість повністю зрозуміти процес травмування та особливу кореляцію між макротравмуванням і мікротравмуванням.

Серед критеріїв міцності велике значення мають умови настання небезпечного стану в певній точці в час розгляду — класична теорія міцності. Під час стійкого механічного впливу тріщина нерухома під дією постійних зовнішніх навантажень. Для її розвитку, відповідно, слід збільшувати такі навантаження, тобто під дією зовнішніх чинників пошкодження посилюється, а це відбувається тоді, коли коефіцієнт інтенсивності досягає критичної величини. Початок збільшення тріщини, тобто перехід межі тріщинуватості, і буде додатковим критерієм встановлення граничної рівноваги тіла з тріщиною.

Унаслідок поступового протікання процесу в кінці тріщини виникає пластична зона — це коли на початку розриву зусилля через

неї не передається, але у разі зростання напруження у кінці руйнування виникають додаткові зусилля у зоні пластичних деформацій. У результаті зростання і накопичення таких додаткових зусиль у зоні пластичних деформацій відбувається накопичення мікропошкоджень, які є основою створення умов для майбутнього розриву або тріщиноутворення, а потім і руйнування.

Руйнування зернівки настає у разі, коли максимальне напруження σ більше від допустимих напружень σ_1 , які виникають від механічних або інших впливів. Отже, щоб руйнування зернівки не відбувалося, потрібна умова $\sigma \leq \sigma_1$.

У тих випадках, коли існує кілька тріщин різної довжини, найбільшу небезпеку становить та з них, яка першою починає розвиватися. У всіх випадках механізм розвитку тріщин одноманітний і відбувається із певними коливаннями.

Характер руйнування зернівок, тобто як часто і в якій площині вони руйнуються, залежить від розповсюдження тріщин і того, скільки їх при цьому зовнішньому навантаженні досягло критичної довжини. Напряму утворення тріщини залежить переважно від спрямування дії зовнішніх сил і біологічного стану зернівки.

Виходячи з розглянутого вище, можна дійти висновку, що міцність зернівок залежить від травмування і виникнення у них тріщин, а зі збільшенням їх розмірів відбувається руйнування, тобто макротравмування.

Із аналізу експериментальних досліджень видно, що зі збільшенням довжини тріщини зменшуються зусилля, прикладені для руйнування зернівок (рис. 1, а), і максимальне напруження (рис. 1, б), а коефіцієнт інтенсивності напруження зростає.

На міцність зернівок впливають також травми зародка, ендосперму, оболонки, тобто мікротравми (табл. 1).

Зернівки, в яких тріщини проникають на глибину 0,25–0,75 розміру ендосперму або більше, мають значно меншу міцність порівняно з тими, які не мають пошкоджень. Дані таблиці показують, що на міцність зернівок впливають зусилля, прикладені для руйнування зародка, ендосперму та оболонки. Максимальне напруження впливає на зростання деформації, травмування та руйнування, тобто мікро- і макротравмування. Чим більші навантаження отримують зернівки при проходженні технологічних процесів, тим менша їх міцність і більша можливість пошкодження.

Під час теоретичних, виробничих та експериментальних досліджень впливу робочих органів зернозбиральних молотильних агрегатів на травмування і якість зернівки виявлено, що основні ділянки найбільшого травмування та подрібнення зернівок знаходяться у місцях, де різко змінюється вектор швидкості хлібної маси. У зв'язку з тим, що він може змінюватися як за величиною, так і за напрямком, зона найбільшого травмування перебуває у першій половині процесу обмолочування.

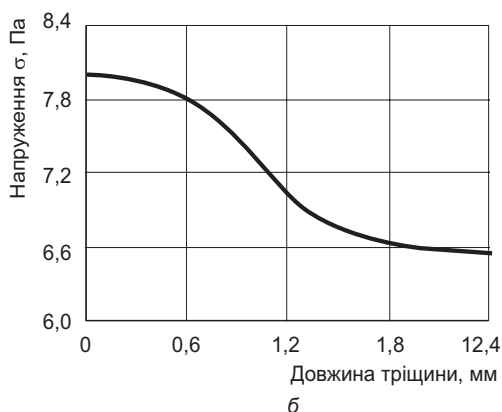
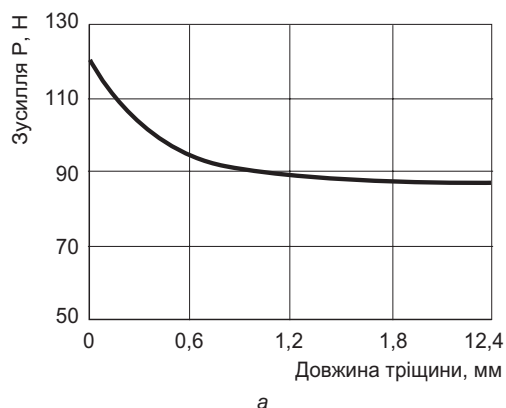


Рис. 1. Вплив довжини тріщини на: а — зусилля, прикладені для руйнування зернівки; б — максимальне напруження

1. Вплив різних видів травм на міцність зернівки

Вид травм	Зусилля руйнування Р, Н	Деформація руйнування ΔL , мм	Максимальне напруження, у
Вибитий зародок	46,5	0,15	3,46
Пошкоджений ендосперм	78,0	0,24	5,79
Пошкоджений зародок	84,4	0,22	6,30
Пошкоджена оболонка зародка і ендосперму	95,3	0,22	7,08
Пошкоджена оболонка ендосперму	103,6	0,22	7,69
Пошкоджена оболонка зародка	104,5	0,22	7,70
Без пошкоджень після обмолочування	108,3	0,22	8,07

При порівнянні характеру першої половини обмолочування барабаними та роторними молотильними пристосуваннями стає очевидним, що ці ділянки значно «ощадливіші» у роторних молотарок — мікротравмування та подрібнення зернівок у них значно менше, ніж у барабаних.

Травмування зернівок виникає від ударного імпульсу сили, який можна визначити за теоремою про зміну кількості руху при ударній взаємодії.

Згідно з проведеними нами розрахунками очевидно є значна перевага імпульсного удару при барабанному обмолочуванні над роторним.

На підставі експериментальних досліджень різних видів комбайнів із молотильними агрегатами барабанного та роторного типів отримали результати, які наведені в табл. 2 у вигляді відсоткових

значень мікротравмування зернівок (функція y_1) і подрібнення зернівок (функція y_2) залежно від частоти обертання ротора та барабана (x , об./хв.).

На рис. 2 подано графічні залежності відсоткового відношення подрібнення зернівок молотильними агрегатами барабанного та роторного типів залежно від частоти обертання.

Графічні залежності відсоткового мікротравмування зернівок молотильними агрегатами барабанного та роторного типів залежно від частоти обертання зображено на рис. 3.

Експериментальні, виробничі та лабораторні дослідження впливу механічних навантажень за технологічних процесів від збирання до сіви, що проводили у різних господарствах Лісостепу і Полісся України на різних сортах зернових культур, свідчать

2. Мікротравмування і подрібнення зернівок залежно від частоти обертання ротора та барабана

Барабанний молотильний апарат							
x	600	700	750	800	820	900	980
y_2	0,79	0,81	1,36	1,44	3,28	4,97	6,14
y_1	26,40	26,86	28,40	31,22	36,60	42,40	52,70
Роторний молотильний апарат							
x	600	700	750	800	840	900	980
y_2	0,07	0,17	0,11	0,23	0,75	0,95	2,08
y_1	21,38	24,29	25,07	26,35	28,37	30,12	31,95

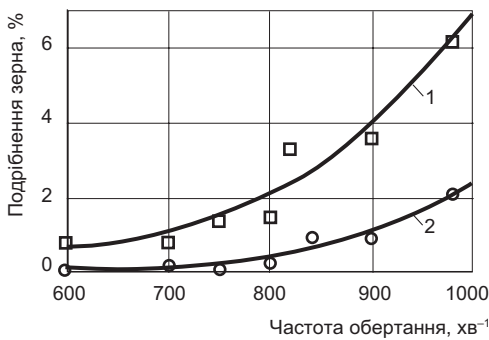


Рис. 2. Залежність відсоткового відношення подрібнення зернівки від частоти обертання: 1 — барабанний молотильний апарат; 2 — роторний молотильний апарат

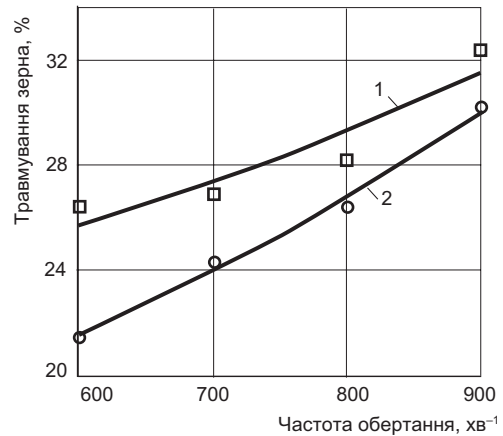


Рис. 3. Залежність відсоткового відношення мікротравмування зернівки від частоти обертання: 1 — барабанний молотильний апарат; 2 — роторний молотильний апарат

про істотну різницю мікротравмування насіння пшениці озимої під час збирання барабаними порівняно з роторними молотильними апаратами (табл. 3). Так, у підприємстві ПП «Україна» Житомирської області під час обмолочування зернозбиральним молотильним апаратом барабанного типу кількість макротравм зросла до 6,4%, а після роторного — до 3,1%, тобто більш ніж удвічі.

Отримані результати експериментальних, виробничих і лабораторних досліджень впливу механічних навантажень на травмування і якість насіння (табл. 3) свідчать, що у технологічних процесах збирання і оброблення зернового вороху різних сортів пшениці озимої під час обмолочу-

вання апаратом роторного типу кількість макротравм становила 3,1%, тобто удвічі менше порівняно з барабанним.

Усього мікротравмованого насіння у бункері, тобто після обмолочування барабанним апаратом, становило 54%, а після роторного — 23% (табл. 3). Очевидна істотна різниця (більше, ніж удвічі), яка пояснюється насамперед режимами роботи цих робочих органів і різницею кількості їх обертів до поступання і проходження зернового вороху під час технологічного процесу.

3. Травмування насіння пшениці озимої під час збирання барабаними і роторними молотильними апаратами

Господарство	Стадії досліджень	Макротравми, %	Мікротравми, %				
			зародка		усього травм зернової оболонки	без пошкоджень	узагальнений показник травм
			вибитий	пошкоджений			
ПП «Україна» Житомирської обл. (Одеська – 237)	у жатці	3,2	2,2	4,0	22,4	77,6	14,91
	після барабана	6,4	4,0	6,2	41,6	58,4	25,52
	у бункері	7,8	4,6	7,8	54,0	45,0	31,64
СВК «Маяк» Вінницької обл. (Одеська – 237)	у жатці	2,8	1,8	2,4	17,2	82,2	6,28
	після ротора	3,1	2,2	2,8	21,2	79,8	8,24
	у бункері	3,9	2,9	3,1	23,0	77,0	9,23

Аналогічні результати отримано під час експериментальних досліджень впливу технічних засобів на травмування і якість насіння під час очищення, протруювання та сівби.

Слід звернути увагу, що макро- і мікротравмування та утворення тріщин у органічній речовині, тобто біологічно живій зернівці, істотно впливає на якісні показники, від яких значною мірою залежить урожайність.

Отримані дані можна вважати за доказову базу необхідності практично застосовувати ефективні та високопродуктивні технічні засоби при збиранні, підготовленні насіння та сівбі з метою забезпечення кращої його якості. Це буде основою отримання високого врожаю та істотного зростання валового виробництва зерна — основи продовольчого забезпечення людини.

Висновки

Дослідження показали, що різні види макро- і мікротравм істотно впливають на міцність зернівок, зокрема зусилля руйнування зростають більш ніж у 2,5 рази, деформація руйнування збільшується до 0,22 мм, максимальне напруження зростає більш ніж удвічі.

Знайдено співвідношення імпульсів ударів на першій половині обмолоту барабанним і роторним апаратами.

Розрахунки показали значне перевищення ударного імпульсу барабанного молотильного апарату порівняно з роторним, що підтверджують експериментальні дослідження травмування зерна.

У разі збільшення оборотів барабана від 600 до 980 об./хв число макротравмованих зернівок зростає від 26,4 до 52,7%, а ротора за такого самого збільшення оборотів — від 21,38 до 31,95%.

Проведені розрахунки й графічні залежності мікротравмування і подрібнення зернівок підтверджують експериментально-виробничі дослідження: при застосуванні барабанних молотильних агрегатів порівняно з роторними ці показники значно вищі, тобто травмування і подрібнення насіння пшениці озимої та жита при збиранні роторними комбайнами значно менше, а відтак якість насіння краща.

Derevianko D.¹, Sukmaniuk O.², Sarana V.³,
Derevianko O.⁴

^{1, 2}, ⁴Zhytomyr National Agro-Ecological University, 7 Staryi Blvd, Zhytomyr, 10008, Ukraine, ³National University of Life and Environmental Sciences, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 10031, Ukraine; e-mail: ¹derevyanko.dmutro@gmail.com, ²sukmanyukolena@gmail.com, ³sarana@gmail.com, ⁴derevyanko.dmutro@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-1408-6274, ²0000-0003-2485-488X

Justification of influence of the working bodies of combine harvesters on damage and quality of seed

Goal. To justify the possibility of improving seed quality due to the reduction of damage at all stages of the process of collecting, processing, preparation, and planting; to develop the equipment for implementing these processes in production.

Methods. Theoretical studies and calculations were performed using mathematical modeling of the technical means and technological processes. They used basic laws of mechanics and modern methods of computer calculations. Experimental studies were carried out in laboratory and manufacturing conditions using full-scale specimens and

equipment according to the developed and standard methods. **Results.** They studied the strength and destruction, that is, macro-trauma of grains, depending on the mechanical influence, strain and stress. The influence of external means was studied on the occurrence and the distribution of deformations and cracks, as well as how many of them at a certain load reaches the critical length. The origin and direction of cracks and their number in most cases depended on the direction of the action of external forces and internal biological characteristics of corn. The strength of the grain, in addition to cracks, also has a significant impact of micro-trauma of the embryo, endosperm and seed and flower shells. As independent parameters, which optimize the energy acceleration of the grain to minimize deformations and micro-trauma of seeds, they took angular and linear acceleration of deformation of the volume of the grain and angular acceleration at the point of impact of the grain with the spherical surface of the working body. Theoretical calculations were made, and the influence of drum and rotary threshing devices was substantiated on deformation and damage to the seed. **Conclusions.** Calculation and graphic

dependencies confirm the conclusion of experimental-manufacture research: macro- and especially micro-trauma of seeds of winter wheat and rye at harvesting with rotary threshing apparatus is much less than at use of drum one, which significantly

influences the quality of seed.

Key words: *germ, grain crops, flower and seed shell, endosperm, macro- and micro-trauma, drum, rotor, strength, deformation.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202002-10>

Бібліографія

1. Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений. Київ: Аграрна наука, 2010. 177 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Київ: УАСХ, 1960. 284 с.
3. Гончаров Е.С. Исследования процесса сепарации зерновых материалов центробежно-вибрационными решетками: автореф. дис. канд. техн. наук. Київ, 1963. 40 с.
4. Головач І.В., Дерев'янка Д.А., Дерев'янка О.Д. Травмування насіння при підсушуванні технічними засобами. *Всеукр. наук.-технічний журнал ВНАУ*. 2017. № 1 (96). С. 78–82.
5. Дерев'янка Д.А., Тарасенко О.П., Оробінський В.І. Вплив травмування на якість насіння зернових культур: монографія. Житомир, 2012. 438 с.
6. Дерев'янка Д.А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія. Житомир, 2015. 772 с.
7. Derevjanko D., Sukmaniuk E., Derevjanko O. Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation. *INMATEH. Agricultural Engineering J. Bucharest/Romania*. 2017. V. 53(3). P. 89–94.
8. Дринча В.М. Исследования сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж, 2006. 382 с.
9. Дринча В.М., Суконин Л.М. Технология и комплекс машин для очистки зерна и семян. *Земледелие*. 1997. № 3. С. 34–35.
10. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 3. Харків: ОКО, 2006. 408 с.
11. Пугачов М.А. Повреждение зерна машинами. Москва, 1976. 320 с.
12. Строна И.Г. Травмирование семян зерновых культур и урожай. Биология и технология семян. Харьков, 1974. С. 122–129.
13. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. Воронеж, 2003. 301 с.
14. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Виброрешетная сепарация зерновых смесей. Харків: Міськдрук, 2011. 280 с.
15. Фадеев Л.В. Сильные семена на каждое поле. Харьков: СПЕЦ ЭММ, 2015. 176 с.
16. Фадеев Л.В. Зерно нельзя бить — оно основа жизни человека. Харьков: СПЕЦ ЭММ, 2015. 96 с.
17. Чазов С.А., Шелепень П., Воцкий З. Травмирование семян и пути снижения при механизированной обработке, обмолаоте, сортировании. *Украинские нивы*. 1981. № 8. С. 41–43.