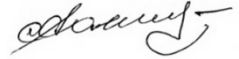


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**ДЕРЕВ'ЯНКО ДМИТРО АКСЕНТІЙОВИЧ**



УДК 631.354:633.1.

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ  
ПРОЦЕСІВ ЗНИЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ НАСІННЯ  
ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ**

05.05.11 – машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук**

Тернопіль – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Житомирському національному агроекологічному університеті Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор **Головач Іван Володимирович**, Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри механіки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Котов Борис Іванович**, Подільський державний аграрно-технічний університет, професор кафедри енергетики та електротехнічних систем в АПК;

доктор технічних наук, професор **Гевко Роман Богданович**, Тернопільський національний економічний університет, завідувач кафедри менеджменту біоресурсів і природокористування;

доктор технічних наук, професор **Аулін Віктор Васильович**, Центральноукраїнський національний технічний університет, професор кафедри експлуатації та ремонту машин (м. Кропивницький).

Захист відбудеться «15» листопада 2018 р. о 12<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д58.052.02 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, Україна, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, Україна, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розіслано «12» жовтня 2018 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

М. Я. Сташків



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вирішення продовольчого забезпечення населення є одним з головних завдань агропромислового комплексу України. Для його виконання необхідно збільшити виробництво зерна до 80–100 млн тонн, у тому числі озимих зернових культур.

Для забезпечення посіву прогнозованих площ і збільшення врожайності озимої пшениці та жита необхідно мати щороку високоякісного насіння в межах 1,8–2,0 млн тонн, адже площі посіву пшениці становлять не менше 6,0 млн га, озимого ячменю – 1,2 млн га, а жита – 0,3 млн га.

У більшості випадків в умовах виробництва сівба неякісним насінням перебивається підвищеними нормами висівання, внаслідок чого на кожні 1000 гектарів посіву пшениці витрачається близько 100 тонн насіння, а це призводить до пересівання, що завдає значних фінансових збитків.

Травмування зерна і насіння, особливо мікротравмування під час збирання, післязбирального оброблення та сівби в окремі роки сягають 50–60% і більше.

Нинішні технічні засоби та технологічні лінії збирання, післязбирального оброблення та сівби, в силу різних причин, не завжди і не повною мірою забезпечують отримання високоякісного насіння. Тому на всіх стадіях технологічних процесів зернівки зазнають значних механічних навантажень, а від них – мікротравмування зародка, ендосперму і оболонки.

Важливим для теорії та практики є наукове обґрунтування теоретичних і експериментальних результатів досліджень, що до нинішнього часу у вітчизняній агроінженерії були досить обмежені, а експериментальні, виробничі та лабораторні дослідження макро- і мікротравмування насіння різних сортів зернових культур у агрозонах Лісостепу та Полісся зовсім відсутні.

Тому проведення комплексних досліджень процесів зниження впливу робочих елементів машин та технологічних ліній на травмування насіння зернових культур на всіх стадіях його підготовки і сівби та покращення його якісних показників є актуальною науково-прикладною проблемою одного із головних невикористаних резервів підвищення урожайності та виробництва зерна в Україні до 100 млн тонн, чому і присвячено дослідження даної роботи.

**Зв'язок роботи з програмами, планами, темами.** Роботу виконано згідно із Законом України «Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу» № 5478-VI (5478-17) від 06.11.2012 р., пов'язано із загальними державними і науковими програмами: Постановою Президії Національної академії наук України № 55 від 25.02.2009 р. «Основні наукові напрямки, найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009...2013 роки»; Постановою Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 р. «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2015 р.» та державною програмою «Зерно України-2015», розробленою у 2011 році науковими установами Національної академії аграрних наук України разом із структурними підрозділами Міністерства аграрної політики та продовольства України, що сприятиме збільшенню виробництва зерна в державі у 2020 році до 80 млн тонн.

Програмою НААН України визначено «Пріоритетні завдання аграрної науки України (період 2008–2015 рр.)»; програмою НААН України «Стратегічний напрям розвитку сільського господарства України на період до 2020 року» і закріплено у Законі України «Про наукову та науково-технічну діяльність» № 2244а від 10.11.2015 р.

Дисертаційна робота є частиною науково-дослідної держбюджетної теми «Створення гнучких технологічних процесів механізованих робіт виробництва продукції рослинництва» (ДР № 0104U004492).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є покращення якості насіння шляхом зниження його травмування 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 та системи очищення зернозбиральних комбайнів вітчизняного і закордонного виробництва на основі наукових, експериментальних та виробничих досліджень;

- дослідити на основі аналізу фізико-механічних властивостей насіння використання математичних моделей ефективності очищення зернового вороху, фракційної технології розподілення та зниження їх впливу на травмування і якість насіння;

- розробити математичну модель травмування зернівок під час переміщення поверхнями робочих елементів вібровідцентрового сепаратора;

- обґрунтувати, на основі математичних моделей ступінь травмування зернівок під час транспортування, завантажування і протруювання насіння;

- виготовити лабораторне, виробниче та експериментальне обладнання зниження травмування насіння, що забезпечить покращення його якості;

- здійснити нові конструкційні розробки та інженерні рішення щодо зниження травмування зернівок і покращення якості насіння під час його підготовки на вібровідцентровому сепараторі та сівби дисковим сошником зернової сівалки;

- провести експериментальні, лабораторні та виробничі дослідження впливу технічних засобів та технологічних процесів на травмування, пошкодження мікроорганізмами і якість насіння під час збирання, підготовки, завантажування, протруювання та сівби;

- обґрунтувати шляхи зниження травмування насіння та перспективи вдосконалення технічних засобів і технологічних процесів підготовки високоякісного насіння при збиранні, обробленні зернового вороху, очищенні, калібруванні, транспортуванні, завантаженні, протруюванні та сівбі зернових культур;

- здійснити виробничу апробацію експериментально-лабораторного обладнання вібросепаратора та зернової сівалки для реалізації процесу зниження макро- і мікротравмування насіння зернових культур і підвищення його якості;

- оцінити конкурентоспроможність запропонованих конструкційно-технологічних вдосконалень та розробок і техніко-економічну ефективність зниження травмування насіння під час збирання, підготовки та сівби.

**Нова гіпотеза** дисертаційної роботи полягає в тому, що покращення якості насіння можна досягти шляхом зниження його макро- та мікротравмування на всіх стадіях технологічних процесів збирання, підготовки і сівби у разі забезпечення мінімального впливу робочих органів технічних засобів на зерновий ворох.

**Об'єкт дослідження.** Технологічні процеси збирання зернових культур, підготовки насіння та сівби і їх вплив на травмування зернівок.

**Предмет дослідження.** Закономірності процесу впливу технічних та технологічних засобів збирання зернових культур, підготовки насіння та сівби на травмування зернівок і їх якість.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження та розрахунки виконувалися шляхом математичного моделювання процесів роботи технічних засобів та технологічних процесів, використання основних законів механіки та сучасних методів комп'ютерних розрахунків.

Експериментальні дослідження виконувалися в лабораторно-виробничих умовах із використанням натурних зразків та технічних засобів за розробленими і стандартними методиками.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

#### ***Вперше:***

- розроблені математичні моделі, які дозволили дослідити вплив робочих органів зернозбиральних молотильних агрегатів барабанного і роторного типів та робочої поверхні пневмосепаруючого пристрою вібросепаратора на макро- і мікротравмування та якість насіння зернових культур.

Показано значну перевагу імпульсного ударяння насіння у разі барабанного обмолочування перед роторним. Графічними залежностями відсоткового травмування зернівок показано, що за частоти обертання барабана та ротора 600 об/хв. мікротравмування становлять відповідно 26,4 та 21,4%.

Співударяння, тертя, швидкість руху, відстань проходження робочими поверхнями пневмосепарувального пристрою сприяють збільшенню мікротравмування насіння після кожної **i-тої** технологічної операції;

- експериментально доведено, що значна кількість зернової маси в основній фракції, до якої входить насіння, з кращими показниками якості та меншим травмуванням зернівок досягається внаслідок застосування сортувальних решіт з діаметром отворів 2,6 мм і швидкістю руху насіння у пневмосепарувальному каналі 7,5–8,0 м/с порівнянно із використанням решіт з меншим діаметром отворів, але більшою швидкістю руху 8,5–9,5 м/с;

- встановлено, що за обертів диска розподільника пневмосепарувального пристрою вібросепаратора  $n_p = 60\text{--}110 \text{ хв}^{-1}$ , коефіцієнта тертя  $f = 0,2$ , кутів нахилу секторів лопаток  $\alpha = 30^0\text{--}45^0$  та довжини лопаток 135 мм оптимальна швидкість руху зернового вороху по диску перебуває в межах 7,5–8,0 м/с, що мінімізує мікротравмування і позитивно впливає на якість насіння;

- експериментально встановлено, що падіння зернівок масою 0,04–0,05 г з їх поперечним радіусом 3–4 мм на сферичну поверхню розподільника, який обертається з кутовою швидкістю до  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ , мінімально діє на ступінь деформування, а збільшення обертів суттєво впливає на зростання деформування і травмування насіння;

- показано, що травмування зернівок при протруюванні суттєво залежить від кута нахилу витків шнека, оптимальне значення якого знаходиться в діапазоні 5–15<sup>0</sup> при коефіцієнті тертя  $f=0,2-0,3$ ;

- встановлено, що за швидкості руху 1,5–2,5 м/с скребкового і стрічкового транспортерів під час транспортування та завантаження насіння травмується в межах 1,5–2,5 %;

- експериментально встановлено на основі отриманої математичної моделі руху насіння по новому робочому органу пропонуваної конструкції дискового сошника, що для зниження мікротравмування та оптимального розподілення насіння на поверхні підшви ґрунту у вигляді смуги, а не в рядку, на пластині розподільника з гумовим покриттям розміщено у шаховому порядку 9 рядів штирів діаметром 3 мм і довжиною 10–15 мм, покритих гумою або іншими еластичними матеріалами, з відстанню між штирями в рядку 12 мм і між рядами – 18 мм.

#### ***Набуло подальшого розвитку:***

– встановлення закономірностей впливу робочих органів різних технічних засобів та технологічних процесів на ефективність, продуктивність та якість їх роботи під час збирання, підготовки насіння та сівби зернових культур;

– обґрунтування фракційного розподілення зернового вороху та його впливу на травмування і якість насіння;

– методи оцінення впливу технічних, технологічних та конструкційних розробок і вдосконалень на мікротравмування і пошкодження зернівок мікроорганізмами та якісні показники насіння.

**Практичне значення та впровадження одержаних результатів.** На основі проведених наукових досліджень обґрунтовано конструкційні параметри, режими роботи та технологічні удосконалень робочих органів машин для підвищення їх ефективності, зниження травмування і пошкодження насіння для покращення його якості.

Отримані результати досліджень використано для виготовлення експериментальних машин типу БЦСМ, які застосовувалися на обробленні насіння озимих зернових культур, а також зернової сівалки із дисковим сошником нової конструкції на сівбі зернових культур на підприємствах: ПАТ «Червона зірка» м. Кропивницький; «Житомирський обласний державний центр експертизи сортів рослин», м. Житомир; ФОП «Тарасевич» м. Житомир; СВТП «Механік», м. Житомир; ПП «Україна», Попільнянський район Житомирської області; СВК «Маяк», Оратівський район Вінницької області; СФГ «Стецівське», Звенигородський район Черкаської області, що підтверджується актами впровадження результатів наукової роботи, які надано в дисертаційній роботі.

Використання зазначених технічних засобів забезпечує сезонний економічний ефект 3777247 грн.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи одержані самостійно.

В опублікованих працях, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать аналіз, обґрунтування та експериментальні дослідження впливу технічних засобів на травмування та якість насіння на різних стадіях технологічних процесів його підготовки і сівби.

Аналіз отриманих результатів досліджень виконано спільно з науковим консультантом.

Під час проведення експериментальних, виробничих та лабораторних досліджень здобувач розробив програму, методику та конструкції експериментальної і лабораторних установок, брав участь у їх створенні, а також обробленні отриманих результатів.

**Апробація результатів.** Основні результати доповідалися на 14 міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, у тому числі на таких: Міжнародна науково-практична конференція “Інноваційні технології в АПК і лісовому комплексі та переробній галузі” 2–3 червня 2011 р. у Луцькому національному технічному університеті; XIX Міжнародна науково-технічна конференція ННЦ “ІМЕСГ” 5–7 липня 2011 року “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві”; VIII Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки” 3–4 листопада 2011 року у Кіровоградському національному технічному університеті; XVI Міжнародна науково-технічна конференція ННЦ «ІМЕСГ» 30 вересня – 1 жовтня 2008 року «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» смт Глеваха; VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» 28–30 жовтня 2009 року у Кіровоградському національному технічному університеті; XI Міжнародна наукова конференція з нагоди 110-ї річниці від дня народження академіка П. М. Василенка «Сучасні проблеми землеробської механіки» 18 жовтня 2010 року у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, м. Київ.; Міжнародна науково-практична конференція «Технічний прогрес в АПК» 24–25 березня 2011 року у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені П. Василенка; Научная конференция «Инновационные направления механизации и электрификации сельскохозяйственного производства» 12 апреля 2011 года ФГОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. К. Д. Глинки» г. Воронеж, Россия; III Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в АПК і лісовому комплексі та переробній галузі» 2–3 червня 2012 року у Луцькому національному технічному університеті; XX Міжнародна науково-практична конференція ННЦ «ІМЕСГ» 23–24 травня 2013 року «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» смт Глеваха; Міжвузівська науково-технічна конференція, присвячена 90-річчю ЖНАЕУ, 24 вересня 2012 року; Міжнародна науково-практична конференція «Технічний прогрес в АПК» 23–24 березня 2013 року у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені П. Василенка; XXIV Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» 16.10.2013 р. у ННЦ «ІМЕСГ», смт Глеваха; XXII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» в ННЦ «ІМЕСГ» 22–23 травня 2014 року, смт Глеваха; XII Міжнародна наукова конференція з нагоди 115-ї річниці від дня народження академіка П. М. Василенка «Сучасні проблеми землеробської



механіки» 18 жовтня 2015 року у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, м. Київ.

**Публікації.** Основний зміст і результати наукової роботи опубліковано в монографіях «Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння» та «Вплив травмування на якість насіння зернових культур», 75-х статтях фахових видань (57 одноосібних), 12 – у виданнях іноземних держав (9 одноосібних), 2 – у тезах міжнародних наукових конференцій, а також у 6 патентах України на винаходи і корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Наукова робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 475 сторінок (основна частина становить 342 сторінки), в тому числі 151 рисунок, 59 таблиць, 23 додатки на 60 сторінках, список використаних джерел нараховує 378 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, мету досліджень, викладено наукову новизну, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено об'єкт, предмет та методи досліджень.

**У першому розділі** розглянуто будову зернівки, її фізико-механічні та біологічні особливості, а також агрономічні та стандартні вимоги до якості насіння, технологічні та біологічні особливості травмування насіння зернових культур різними технічними і технологічними засобами. Здійснено глибокий та ґрунтовий аналіз сучасного стану і проблем механізації та автоматизації процесів зниження травмування насіння зернових культур за технологічних процесів від збирання до сівби.

Надано схеми режимів роботи зернозбиральних комбайнів барабанного і роторного типів та короткі технічні характеристики різних конструкцій технічних засобів та технологічних ліній очищення, транспортування, завантаження, протруювання і сівби різних сортів озимої пшениці та жита в шести сільськогосподарських підприємствах агрозон Лісостепу і Полісся України, Вінницької, Житомирської, Черкаської областей, де проводилися експериментальні, виробничі та лабораторні дослідження.

Серед визначних учених у галузі землеробської механіки, що зробили вагомий внесок у розроблення науково-технічних основ вивчення механіко-технологічних процесів і технічних засобів, які відповідають агротехнічним, економічним та екологічним вимогам сільськогосподарського виробництва, були В. П. Горячкін і П. М. Василенко. У подальшому розв'язок проблем теоретичних, експериментальних, виробничих, технічних і технологічних процесів збирання, сепарування, вібрації, транспортування, травмування та якості насіння розвинено в роботах В. В. Адамчука, Л. М. Тіщенка, П. М. Заїки, Т. І. Рибакі, І. Г. Строни, М. К. Летошнева, О. П. Тарасенка, Б. М. Гевка, В. Д. Галкіна, В. М. Дринчи, Б. О. Карпова, Б. І. Котова, В. І. Кравчука, Г. І. Креймермана, М. І. Кленіна, Г. О. Кузіна, П. О. Ребіндера, М. М. Ульріха, В. Бренклі, Л. Касперса, А. Суммера та ін.

Як показує огляд літературних джерел, на сучасному етапі наукових досліджень у вітчизняній агроінженерії має місце мала кількість математичного моделювання, а експериментальні, виробничі і лабораторні дослідження впливу

технічних і технологічних засобів на травмування, пошкодження і якість насіння зернових культур, на стадіях його збирання, оброблення, підготовлення та сівби зовсім відсутні.

Підвищення якості зерна й насіння шляхом зниження його макро- і мікротравмування, конструкційно-технологічні вдосконалення та інженерні рішення покращення роботи вітчизняних технічних засобів, під час технологічних процесів збирання, оброблення зернового вороху, підготовлення насіння та сівби, є одним з головних, невикористаних резервів підвищення урожайності і валових зборів зерна, основи продовольчого забезпечення. Виконання завдань і програми даної дисертаційної роботи сприятимуть вирішенню цієї важливої проблеми.

**У другому розділі** проведено теоретичні дослідження впливу механічних навантажень на травмування і якість насіння зернових культур.

Дослідження впливу робочих органів зернозбиральних молотильних агрегатів на травмування і якість зернівок свідчать, що головні зони найбільшого травмування та подрібнення зернівок перебувають у місцях, де раптово змінюється вектор швидкості хлібної маси. У зв'язку з тим, що він може змінюватися як за величиною, так і за напрямком, то зона найбільшого травмування знаходиться у першій половині процесу обмолочування.

Під час порівняння характеру першої половини обмолочування барабанними та роторними молотильними пристосуваннями стає очевидним, що ці зони значно «ощадливіші» у роторних молотарок, через що травмування та подрібнення зернівок у них значно менше, ніж у барабанних.

Мікротравмування насіння достатньо велике в обох типах молотильних агрегатів, але, в силу різних процесів щодо поступлення зернового вороху, воно менше у разі застосування роторних молотильних агрегатів.

Відношення  $P$  імпульсів ударяння на першій половині обмолочування барабанним агрегатом до роторного буде таким:

$$P = \frac{V_1^2 + V_{\text{кол}}^2 + 2V_1V_{\text{кол}}\sin\beta}{V_1^2 + (V_{\text{кол}} \cdot \cos\alpha)^2 - 2V_1V_{\text{кол}}\cos\alpha \cdot \sin(\alpha - \beta)} \quad (1)$$

де  $V_1$  – швидкість руху насіння до обмолочування;

$V_{\text{кол}}$  – швидкість руху насіння в барабанному апараті;

$\beta$  – кут поступання зернового вороху у барабані;

$\alpha$  – кут зміни руху насіння у роторі.

Із цієї формули очевидно є перевага імпульсного ударяння у разі барабанного обмолочування порівняно із роторним, який витискає зернівки із колоса.

На підставі експериментальних досліджень різних видів комбайнів із молотильними агрегатами барабанного та роторного типів отримано результати, що наведені в табл. 1 та 2 у вигляді відсоткових значень мікротравмування зернівок (функція  $y_1$ ) і подрібнення зернівок (функція  $y_2$ ), залежно від частоти обертання ротора та барабана ( $\omega$ , об/хв).

Отже, теоретичний розрахунок та графічні залежності мікротравмування і подрібнення зернівок підтверджують експериментально-виробничі дослідження, що, у разі застосування барабанних молотильних агрегатів, порівняно з роторними, ці показники значно вищі, тобто мікротравмування і руйнування насіння озимої пшениці та жита під час збирання роторними комбайнами значно менше, а відтак якість насіння краща.

Таблиця 1

## Барабанний молотильний агрегат

$\omega$	600	700	750	800	850	900	980
$y_2$	0,81	0,82	1,38	1,46	3,30	-	6,17
$y_1$	26,4	26,9	28,4	31,22	36,6	42,4	52,7

Таблиця 2

## Роторний молотильний агрегат

$\omega$	600	700	750	800	850	900	980
$y_2$	0,08	0,18	0,12	0,24	0,75	0,95	2,10
$y_1$	21,40	23,30	24,55	26,37	28,37	30,14	31,95

Проведено теоретичні дослідження впливу робочих органів насіннеочисних машин на очищення, розподілення, деформування, травмування і якість насіння, зокрема змодельовано динаміку травмування насіння від багаторазових механічних впливів під час післязбирального його підготовленні.

У разі проходженні насіння по основних конструкційних елементах вібровідцентрового сепаратора, що виконують певну технологічну функцію, у процесі очищення і сепарування насіння травмується, а кількість нетравмованого насіння після кожної *i*-тої технологічної операції буде зменшуватись. Очевидно, що кількість нетравмованого насіння після *i*-тої операції буде дорівнювати:

$$X_i = X_{i-1} \cdot P_i, \quad (2)$$

де  $X_{i-1}$  – кількість нетравмованого насіння до *i*-тої операції;  $X_i$  – кількість нетравмованого насіння після *i*-тої операції;  $P_i$  – ймовірність збереження нетравмованого насіння у процесі *i*-тої операції.

Результативна ймовірність  $P_i$  нетравмування насіння є добутком ймовірностей нетравмування насіння у незалежних подіях, під час проходження технологічного процесу:

$$P_i = P_p \cdot P_v \cdot P_L, \quad (3)$$

де  $P_p, P_v, P_L$  – ймовірності нетравмування насіння відповідно після його контакту з поверхнями робочих елементів із ймовірністю  $P$  у разі заповнення робочого простору, співударяння насіння зі швидкістю  $V$  з робочими елементами конструкції, транспортування насіння на відстань шляху  $L$ .

Поява однієї з вищезазначених подій ніяк не впливає на ймовірність появи інших подій надалі, а тому протікання таких подій можна розглянути як просте (пуассонівське) протікання подій. Тому наступні розрахунки ймовірності появи цих подій та зберігання нетравмованого насіння дають можливість визначити вміст  $T_i$  травмованого насіння у долях одиниці як подію, протилежну події не травмування насіння, а також розрахувати відсоткове значення кількості нетравмованого насіння під час технологічного процесу.

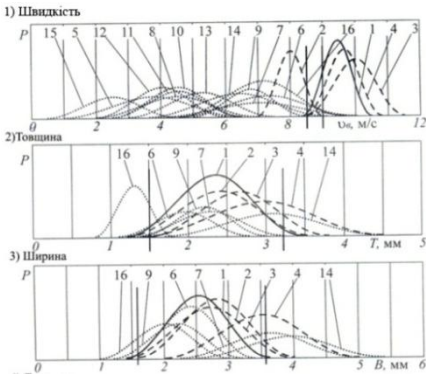


Рис. 1. Швидкість витання насіння озимого жита, пшениці та інших рослин:

- 1 – озиме жито; 2 – овес; 3 – озима пшениця; 4 – ячмінь; 5 – сокирки польові; 6 – берізка польова; 7 – талабан польовий; 8 – лобода біла; 9 – вівсюг звичайний та ін.

насіннеочисних машин за швидкості руху шару зернівок 5–6 м/с, можливого їх витання, відбуваються відокремлення одночасно з якісними зернівками також насіння бур'янів сокирок польових, лободи звичайної, жабрію звичайного, підмаренника звичайного, редьки, пирію повзучого та ін. (рис. 1).

Як відомо, дуже складно відокремити зернівки пшениці або ячменю від жита. Під час технологічного процесу, якщо швидкість руху та витання зернівок збільшувати до 9–9,5 м/с, то деякі частини вороху вівса, вівсюга, ячменю та інших культур можуть відокремлюватися, але водночас значно зростає кількість відокремлення високоякісного, повноцінного насіння у відходи (в межах 10–15 %, інколи і більше).

Аналіз фізико-механічних властивостей насіння озимого жита на предмет наявності в ньому зернівок (що важко відокремлюються за аеродинамічними особливостями) показав, що, враховуючи відмінності зернівок за товщиною, після застосування решета з продовгуватими отворами шириною 3,2 мм відокремлювались близько 20 % зернівок пшениці, близько 40 % ячменю, близько 40 % редьки дикої, деяка частина в'юнка польового і гірчиці польової.

Фракційна технологія оброблення зернового вороху за найважливішими суттєвими ознаками полягає в її розподіленні на такі фракції: основну, що включає насінневу, товарну та продовольчу; фуражну і відходи. Такий розподіл за якимось одним показником може здійснюватися за певних умов на різних режимах роботи технічних засобів.

Головним показником якості розподілення – фракціонування в першому випадку розглядали товщину зернівок, а тому було підібрано решета з шириною отворів 2,4 і 2,6 мм, у другому випадку за основний показник фракціонування вибрали швидкість руху та обертання-кружляння, витання зернівок, а тому було підібрано швидкість руху в пневмосепарувальному каналі 7,5 м/с (табл. 3).

Проведено обґрунтування ефективності очищення та розподілу зернового вороху на фракції під час підготовлення насіння. Потреба такого обґрунтування зумовлена тим, що озима пшениця та жито займають великі площі посіву в структурі зернових культур, а це потребує підготовлення значної кількості високоякісного насіння для забезпечення гарантованого отримання високих урожаїв. Аналіз певних партій насіння цих культур виявив, що вони, в основному, засмічуються такими культурами та бур'янами, як овес, ячмінь, пирій повзучий, пікуль звичайний, васильок польовий, сокирки польові, берізка польова, талабан польовий, лобода біла, гірчиця польова, підмаренник звичайний, а останнім часом зустрічається навіть вівсюг звичайний тощо.

Під час очищення зернового вороху в пневмосепарувальних каналах

**Розділення зернового вороху озимої пшениці  
залежно від показників фракціонування**

Фракції (зернівка)	Швидкість повітря, м/с	Ширина отворів решета, мм	Основна фракція	Фуражна фракція	Канал аспірації	Розподілення решетами
Товщина, мм	7,5	2,4	0,76	0,24	0,85	0,13
		2,6	0,66	0,34	0,71	0,26
Швидкість, м/с	7,5	2,4	0,76	0,24	1,0	0,04
		2,6	0,66	0,34	1,0	0,13

Дані табл. 3 свідчать, що використання товщини зернівок і сортувальних решіт як робочих органів для розподілу є більш оптимальним, ніж швидкість руху в каналі.

Наведені дані також показують, що між товщиною зернівок оброблюваного вороху та швидкістю їх руху і обертання-кружляння, витання існує тісний взаємозв'язок.

На рис. 2. показано графічну залежність коефіцієнта кореляції швидкості руху і витання зернівок вороху озимої пшениці від зміни цих параметрів.

Для виділення основної і фуражної фракцій, насіння відокремлювалось окремо сортувальними решетами та повітряним потоком. Виникає припущення, що розподіл зернівок початкового зернового вороху за товщиною в основну і фуражну фракції після розподілу на решетах підпорядковується закону нормального розподілу, враховуючи математичні ймовірності товщини зернівок початкового вороху та швидкість їх руху в основній і фуражній фракціях, а також середньоквадратичні відхилення товщини зернівок і швидкість їх руху в основній і фуражній фракціях та ймовірність потрапляння зернівок у передбачені інтервали.

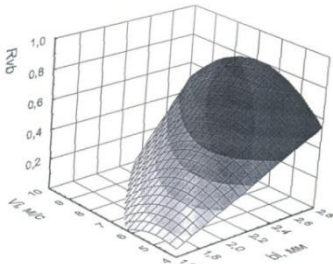


Рис. 2. Залежність коефіцієнта кореляції від швидкості руху і товщини зернівок

З цією метою проводилося дослідження з розподілу зернового вороху озимої пшениці на решітному класифікаторі з певною кількістю решіт із повздовжніми отворами і кроком різних розмірів 0,2 мм на два варіанти.

Характеристику розподілу за розмірами зернівок зернового вороху озимої пшениці за товщиною та іншими показниками було отримано шляхом розрахунків методами математичної статистики.

Результати показали, що оптимальна швидкість руху насіння 7,5–8,0 м/с, а ширина отворів решіт 2,6 мм забезпечить якісне насіння з мінімальним травмуванням та високими показниками якості.

Проведено дослідження механічних впливів на деформування та травмування насіння, зокрема отримано аналітичне відображення деформування та травмування зернівок у разі потрапляння на розподільник пневмосепарувального пристосування, коли зернівка сферичної конфігурації падає з висоти  $Z_1$  на сферичну поверхню розподільника, який з кутовою швидкістю  $\omega$  обертається навколо вертикальної осі  $O_2Z_1$  (рис. 3).

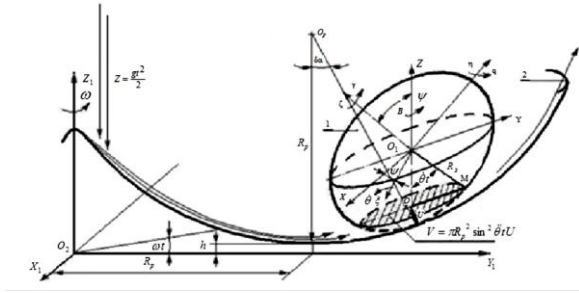


Рис. 3. Розрахункова схема деформування зернівки сферичної конфігурації у разі потрапляння на пневмосепарувальний пристрій:

1, 2 – відповідно зернівка та поверхня розподільника;

$U$  – компонента деформації об'єму частини зернівки;

$R_s$  – радіус зернівки;  $R_p$  – радіус сферичної частини розподільника;  $h$  – висота розміщення розподільника;  $\alpha$  – кут дотику зернівки із поверхнею розподільника;  $\omega$ ,  $\omega t$  – кутова швидкість та кут повороту пристрою в горизонтальній площині

$O_2X_1Y_1$ ;  $O_1XYZ$ ,  $O_1\xi\eta\zeta$  – інерційна та неінерційна системи координат.

У центрі інерції  $O_1$  зернівки 1 сферичної конфігурації (рис. 3) розмістимо неінерційну систему координат  $O_1\xi\eta\zeta$  (систему, широко використовувану в теорії гороскопів), при цьому, осі  $O_1\xi$ ,  $O_1\eta$ ,  $O_1\zeta$  сумістимо з головними осями інерції, а вісь  $O_1\xi$  направимо по лінії вузлів, тобто по лінії перетину площин  $\zeta O_1\xi$  та  $Z O_1\xi$ . Крім того, в центрі інерції зернівки 1 розмістимо інерційну систему координат  $O_1XYZ$  так, щоб вісь  $O_1X$  була паралельна, а вісь  $O_1Z$  – перпендикулярна до похилої поверхні робочого елемента. Символом  $\theta$  позначимо кут між площинами  $Z O_1\xi$  і  $\zeta O_1\xi$ ,  $\psi$  – кут, утворений площинами  $Z O_1X$  та  $Z O_1\xi$ . За такого розміщення систем відліку кути  $\theta$  і  $\psi$  будуть визначати положення неінерційної системи координат  $O_1\xi\eta\zeta$  відносно інерційної  $O_1XYZ$ .

Крім того, із поверхнею розподільника поєднаємо інерційну систему координат  $O_2X_1Y_1Z_1$ . Дальність і швидкість польоту за напрямками осей неінерційної системи координат також змінюються.

В роботі застосовано варіаційний принцип збереження мінімуму енергії прискорень елементів механічної системи.

Енергія прискорень компонентів замкнутої механічної системи, що взаємодіють між собою, набуває оптимального значення в неінерційній системі

координат і під її впливом система рухається по траєкторії оптимальної конфігурації.

В зв'язку з тим, що диск-розподільник поєднаний з інерціальною системою координат  $O_2, X_1, Y_1, Z_1$ , а в центрі інерції еліпсоїдної зернівки  $O_1$  розмістимо інерційну  $O_1, X, Y, Z$  та неінерційну системи координат  $O_{1\xi\eta\zeta}$  далі аналітичне дослідження деформування та мікротравмування пружно-в'язкої, еліпсоїдної зернівки за дії сферичної поверхні розподільника здійснено на підставі використання загальної системи рівнянь кінематичного зв'язку, яка зв'язує в одній системі рівнянь кінематичні параметри зернівки: її координати  $\xi, \eta, \zeta$ ; компоненти її поступальної швидкості –  $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$ ; компоненти її кутової швидкості –  $p, q, r$ , з врахуванням компонентів її деформації –  $U_\xi, U_\eta, U_\zeta$ , а також компонент її швидкості деформування –  $\dot{U}_\xi, \dot{U}_\eta, \dot{U}_\zeta$  з компонентами швидкості обертання диска-розподільника і впливу земного тяжіння –  $X_\xi, Y_\eta, Z_\zeta$  в неінерційній системі координат –  $O_{1\xi\eta\zeta}$ , що задано системою диференціальних рівнянь.

Також на підставі використання загальної системи рівнянь кінематичного зв'язку, яка зв'язує в одній системі рівнянь кінематичні параметри зернівки: компоненти її прискорення –  $\ddot{\xi}, \ddot{\eta}, \ddot{\zeta}$ ; компоненти швидкості –  $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$ , з врахуванням компоненти  $U_\xi, U_\eta, U_\zeta$  швидкості деформування зернівки, компоненти прискорення деформування –  $\dot{U}_\xi, \dot{U}_\eta, \dot{U}_\zeta$  з компонентами  $X_\xi, Y_\eta, Z_\zeta$  прискорення обертання диска-розподільника в неінерційній системі координат  $O_{1\xi\eta\zeta}$ , що задано системою диференціальних рівнянь.

Також використано систему рівнянь геометричного зв'язку сферичної поверхні диска-розподільника з координатами доторку зернівок в інерційній системі координат  $O_2, X_1, Y_1, Z_1$  що задано системою диференціальних рівнянь.

Після однократного і двохкратного диференціювання системи рівнянь геометричного зв'язку, конкретизуємо вищезазначені системи і отримаємо компоненти швидкості та прискорення зміни доторку зернівки з поверхнею диска-розподільника в неінерційній системі координат  $O_{1\xi\eta\zeta}$ .

Враховуючи дані прискорення деформування об'єму частини зернівки  $V$  і підставленням їх значень у систему рівнянь після конкретизації, отримаємо прискорення просторового руху зернівки з врахуванням деформації об'єму частини зернівки за напрямками осей  $O_{1\xi\eta\zeta}$ . В отриману систему нелінійних диференціальних рівнянь входить низка параметрів руху зернівки, її деформування, швидкості деформування, прискорення деформування, кінематичні та геометричні параметри диска-розподільника. Підставивши отримані співвідношення для  $\dot{\xi}^2, \dot{\eta}^2, \dot{\zeta}^2$ , у вираз для енергії прискорень  $N$  руху зернівки, шляхом його оптимізації за вибраними кінематичними параметрами отримаємо мінімальне значення енергії прискорень, що забезпечить плавне, сповільнене проходження процесу деформування і зменшить мікротравмування насіння, що надано в джерелах дисертації [7, 10, 20, 25, 39, 201, 234].

За незалежні кінематичні параметри, по яких проводили оптимізацію, були прийняті:  $\theta, U, r, q, p, \omega, \alpha$ , де  $\theta$  – кутове прискорення деформації об'єму частини зернівки за змінним кутом  $\theta t$  між площинами  $XO_1O$ , і  $XO_1M$ .  $U$  – поступальне прискорення деформування об'єму частини зернівки, що контактує із сферичною поверхнею розподільника за напрямком  $O_1\xi$ ;  $r$  – кутове прискорення власного кружляння-обертання зернівок;  $q$  – кутове прискорення прецесії;  $p$  – кутове прискорення нутації зернівок;  $\omega$  – кутове прискорення обертання розподільника;  $\alpha$  – кутове прискорення в точці доторку зернівки з поверхнею розподільника. Отримані системи диференціальних рівнянь другого порядку описують деформацію об'єму частини еліпсоїдної зернівки за напрямками осей  $O_1\xi\eta\zeta$ , які свідчать, що деформування зернівки за обертів диска розподільника до  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$  має мінімальне значення, а у разі збільшення обертів до  $8\text{--}11 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$  деформація суттєво зростає і впливає на збільшення мікротравмування насіння.

Застосування незалежних кінематичних параметрів оптимізує кінетичну енергію прискорення, мінімізує процес деформування, зменшує мікротравмування і покращує якість насіння.

На основі цих рівнянь проведено аналітичне дослідження характеру пружно-в'язкого деформування та травмування зернівок під час взаємодії з поверхнею розподільника насіння. Оскільки розв'язування нелінійної системи диференціальних рівнянь другого порядку із змінними коефіцієнтами в квадратурах неможливе, то застосовано числові методи їх інтегрування та методи комп'ютерних розрахунків.

Розв'язування задачі Коші в системі MatLab 5.3/6.x здійснене за спеціальним алгоритмом, наведеним у дисертаційній роботі.

Характер зміни кінематичних параметрів за плином часу показують графічні залежності (рис. 4, 5, 6). Результати їх аналізу свідчать, що під час падіння зернівок масою  $0,04\text{--}0,05 \text{ г}$  з поперечним радіусом  $3\text{--}4 \text{ мм}$  на сферичну поверхню розподільника очисної машини радіусом  $600 \text{ мм}$ , який обертається з кутовою швидкістю  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ , тангенційна деформація зернівок у площині  $O_1\xi\eta$  відповідно, становить  $0,021$  та  $0,025 \text{ мм}$  (рис. 4, 5 а).

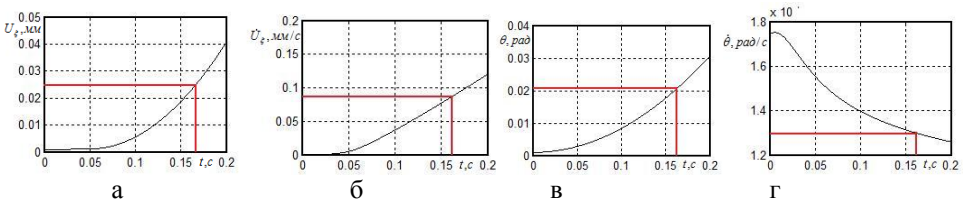


Рис. 4. Характер зміни кінематичних параметрів деформування зернівки під час взаємодії із поверхнею розподільника очисної машини за напрямком осі  $O_1\xi$ :

а, б, в, г – відповідно  $\text{рад} \cdot \text{с}$ , швидкості,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$  та прискорення,  $\text{рад} \cdot \text{с}^{-2}$ ;



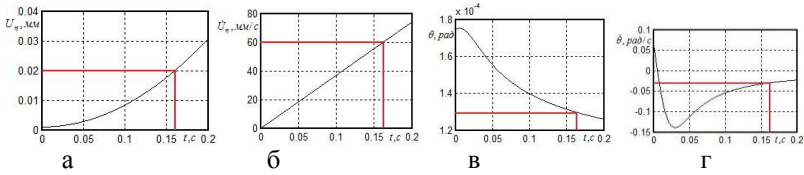


Рис. 5. Характер зміни кінематичних параметрів деформування зернівки під час взаємодії із поверхнею розподільника очисної машини за напрямком осі  $O_1\eta$ : а, б, в, г – відповідно швидкості  $\text{рад. с}$ ,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$  та прискорення,  $\text{рад} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Зменшення кутових параметрів (рис. 5 в, г) засвідчує певну релаксацію початкової деформації за напрямком осі  $O_1\eta$ . Збільшення лінійного  $U$  (рис. 5 а) та кутового параметрів  $\theta$  (рис. 5 в), за одночасного зменшення кутової швидкості (рис. 5 г) з плином часу, вказує на певний прогин поверхні зернівки в місці доторку, що характерно для переміщення речовини за інерцією.

Крім того, деформація зернівки за напрямком осі  $O_1\zeta$  (рис. 6 а, б, в) характеризується початковим підвищенням з наступним уповільненням поширення деформації (рис. 6 а), при цьому інтенсивне поширення деформації починається з 0,14 с. Найбільша потужність, необхідна для деформування речовини зернівки за 0,1 с, становить  $15.3 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$  (рис. 6 д). Отже, швидкість обертання розподільника радіусом 600 мм з кутовою швидкістю до  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$  мінімально впливає на деформування речовини зернівки, а збільшення обертів сприяє зростанню деформації та мікротравмування.

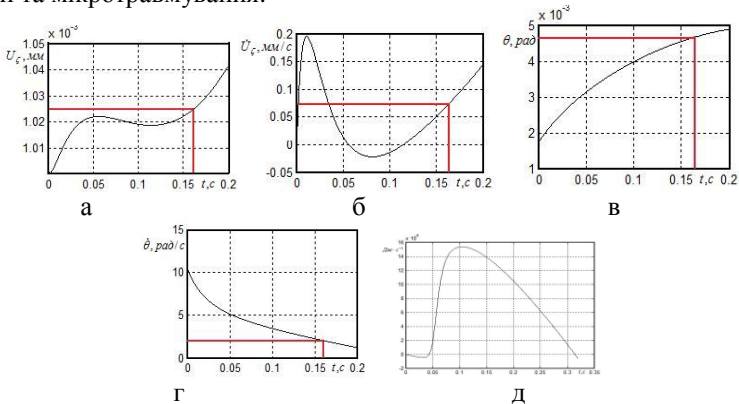


Рис. 6. Характер зміни кінематичних параметрів деформування зернівки під час взаємодії із поверхнею розподільника очисної машини за напрямком осі  $O_1\zeta$  : а, б,

в, г – відповідно швидкості  $\text{рад. с}^{-1}$ ,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ , та прискорення,  $\text{рад} \cdot \text{с}^{-2}$ ;

д – зміни потужності деформування речовини зернівки.

Проведено аналітичне дослідження деформування-травмування зернівок, поверхня яких описується еліпсоїдом обертання (рис. 7).

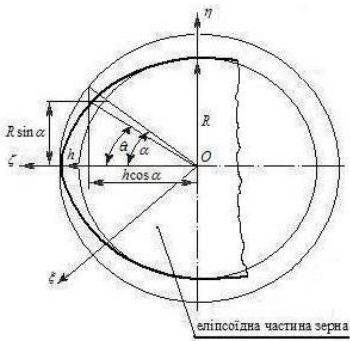


Рис. 7. Схема еліпсоїдної частини зернівки

властивостей насіння необхідно задавати початкові значення параметру  $\dot{\theta}$  розмірністю  $c^{-1}$ , який у рівняннях відображає параметр розсіювання зовнішньої дії.

Дослідження характеру деформування-травмування насіння, представленого отриманими рівняннями, проведемо за способом чисельного їх розв'язку. Початкові параметри деформування зернівок – це геометричні та масові їх параметри  $R = 3-4$  мм,  $m = 0,04-0,05$  г. За допомогою програми файл-функції «ELIPS» проведені розрахунки та побудовано графічні залежності, які наведено в роботі.

У дисертаційній роботі також проведено теоретичні дослідження впливу робочих органів вібровідцентрового сепаратора на очищення, травмування та якість насіння. Насамперед, вивчено вплив робочих елементів пневмосепарувального пристосування вібросепаратора на продуктивність, ефективність очищення, травмування та якість насіння. Після сферичної поверхні зерновий ворох спрямовується на горизонтальну частину диска розподільника і рухається вздовж лопаток під дією на нього сил тяжіння  $\bar{P}_{g1}$ , нормальної реакції диска у розподільника  $\bar{N}_1$ , відцентрованої сили  $\bar{P}_{n1}$ , сили Кориоліса  $\bar{P}_{k1}$ , нормальної реакції лопатки розподільника  $\bar{N}_2$ , сили тертя  $\bar{P}_{mp}$ , що виникає від нормальних реакцій  $\bar{N}_1$  і  $\bar{N}_2$  (рис. 8).

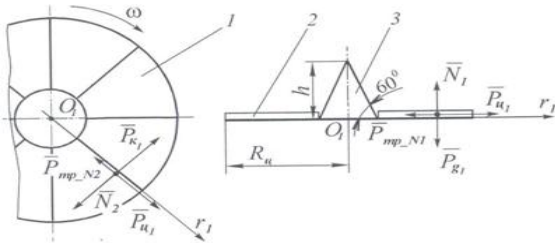


Рис. 8. Схема впливу різних сил на зернівку під час її руху по диску розподільника:

$R_u$ ,  $h$  – зовнішній радіус розподільника та висота конуса розподільника.

1 – диск, 2 – лопатка диска, 3 – конус розподільника

Розглянуто рівняння руху зернівок по горизонтальній ділянці:

$$m\bar{W}_1 = \bar{P}_{n1} + \bar{P}_{k1} + P_{g1} + N_1 + N_2 + P_{mp}(\bar{N}_1\bar{N}_2), \quad (5)$$

де  $W_1$  – прискорення зернівки на горизонтальній ділянці;  $m$  – маса насіння.

У цьому випадку рівняння у проекції на вісь  $O_1r_1$ , що проходить поряд з лопаткою диска розподільника, має наступний вигляд:

$$\ddot{r}_1 = \omega^2 \cdot r_1 - 2f \cdot \omega \cdot \dot{r}_1 - f \cdot g. \quad (6)$$

Визначено за допомогою програми MAPLE 7 траєкторії руху зернівок біля лопаток диска розподільника від використання напрямних конусів висотою  $h=110; 210, 300$  мм, і кутом нахилу твірної конусів до горизонталі  $60^\circ$ , що визначає початковий радіус введення зернівок  $r_{10}=0,05; 0,10; 0,15$  мм.

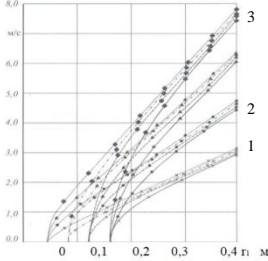


Рис. 9. Залежність швидкості  $r_1$  руху зернівки по поверхні розподільника з коефіцієнтом тертя  $f=0,4$  від його обертів.

- 1 –  $n_p=110$  хв $^{-1}$ ; –  $h=110$  мм; –  $h=210$  мм; –  $h=300$  мм  
 2 –  $n_p=160$  хв $^{-1}$ ; –  $h=110$  мм; –  $h=210$  мм; –  $h=300$  мм  
 3 –  $n_p=210$  хв $^{-1}$ ; –  $h=110$  мм; –  $h=210$  мм; –  $h=300$  мм,

Розрахунки показують, що за частоти обертання  $n_p=110$  хв $^{-1}$ ,  $160$  хв $^{-1}$ ,  $210$  хв $^{-1}$  найменший початковий радіус, за якого зернівка входить, становить  $r_{10}=265$  мм, що відповідає конусу з висотою  $h_{\min}=300$  мм; при  $n_p=160$  хв $^{-1}$ .

Підбирати вищий конус не має потреби через конструкційні обмеження пневмосепарувального пристрою.

На рис. 9 показано залежність швидкості  $r_1$  руху зернівки по диску для значень частоти обертання розподільника  $n_p=110$  хв $^{-1}$ ,  $160$  хв $^{-1}$ ,  $210$  хв $^{-1}$ , за коефіцієнта тертя по диску розподільника  $f=0,4$  та відповідної висоти конуса.

Враховуючи умови руху насіння по розподільнику та необхідність рівномірності його розподілення по довжині аспіраційного каналу для досягнення якості очищення і мінімізації травмування, а також, що час перебування зернівки на розподільнику більший або дорівнює часу одного його обертання, частота  $n_p$  повинна мати наступні значення за різних коефіцієнтів тертя:  $f=0,3$  -  $n_p$  -  $41,0 - 42,0$  хв $^{-1}$ ;  $f=0,4$  -  $n_p$  -  $47,5 - 48,2$  хв $^{-1}$ ;  $f=0,5$  -  $n_p$  -  $53,0 - 54,2$  хв $^{-1}$  та відповідної висоти конуса.

Рух будь-якої частини насіння, зернівки або компонентів суміші вздовж лопатки похилого сектора розподільника визначимо диференційним рівнянням у векторній формі, яке після підставлення значень необхідних сил і відповідних перетворень буде мати наступний вигляд:

$$\ddot{r}_2 = \omega^2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha - g \cdot \sin \alpha - \omega^2 \cdot f \cdot r_2 \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha - 2\omega \cdot f \cdot \dot{r}_2. \quad (7)$$

Рівняння не інтегрується в квадратурах, а тому визначаємо координати  $r_2$  і швидкості руху зернівки протягом часу за методом Рунге-Кутта.

Після диска розподільника зерновий ворох спрямовується в аспіраційний канал пневмосепарувального пристрою, де на будь-яку його частинку  $i$ , насамперед та найбільше, на насіння, впливають сили  $\overline{P}_T$  тяжіння і сили  $\overline{P}_n$  опору повітря під час його руху (рис. 10). У цьому випадку рівняння руху зернівки у векторній формі буде мати наступний вигляд:

$$\overline{mW} = \overline{P}_T + \overline{P}_n, \quad (8)$$

де  $\overline{W}$  – прискорення зернівки, м/с $^2$ .

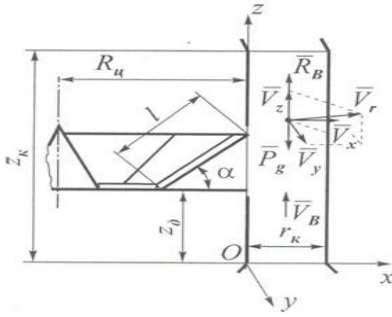


Рис. 10. Схема розміщення осей і сил, що діють на зернівку за відповідного радіуса розподільника в аспіраційному каналі:  $r_k = h_k$  – кінцева координата руху зернівки в каналі;  $z_q = 0,2$  м – координата встановлення диска розподільника;  $h$  – висота аспіраційної ділянки каналу, м.

У проекціях на осі декартової системи координат  $Ox, Oy$  і  $Oz$  векторне рівняння набуде вигляду:

$$m \cdot \ddot{x} = R_{Bx}; \quad m \cdot \ddot{y} = R_{By}; \quad m \cdot \ddot{z} = R_{Bz} - Pg. \quad (9)$$

Траєкторія руху зернівок в аспіраційному каналі, швидкість руху повітря  $V_{п} = 7,5$  м/с, коефіцієнти їх тертя  $f = 0,3$  і швидкість витання  $V_{об} = 7,5$  м/с, залежно від конструкційних параметрів дискового розподільника, показано на рис. 11.

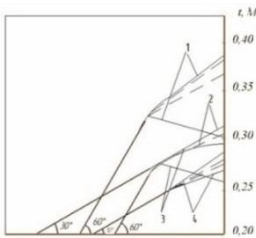


Рис. 11. Шлях руху зернівок у аспіраційному каналі:

$f = 0,3$  – коефіцієнт тертя зернівки;  $V_{об} = 7,5$  м/с – швидкість витання;  $V_{п} = 7,5$  м/с – швидкості руху від конструкційних параметрів дискового розподільника; 1 – кут нахилу секторів  $\alpha = 60^\circ$ , а їх довжина  $l = 270$  мм; 2 –  $\alpha = 30^\circ$  за довжини  $l = 270$  мм; 3 –  $\alpha = 60^\circ$  за довжини  $l = 135$  мм; 4 –  $\alpha = 30^\circ$  за довжини  $l = 135$  мм.

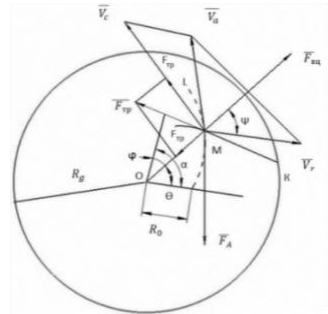
Швидкість руху, довжина шляху, кути нахилу робочих поверхонь, тертя та час руху впливають на травмування зернівок.

Наступним етапом було дослідження руху і травмування зернівок по диску розподільника на циліндричні решета. Після пневмосепарувального пристрою насіння потрапляє на дисковий розподільник, де за рахунок відцентрової сили інерції розподіляється по поверхні циліндричного решета.

Еквівалентна схема сил і кінематичних характеристик руху по поверхні розподільника показана на рис. 12.

Рис. 12. Траєкторія відносного та абсолютного руху зернівки по поверхні дискового розподільника та схема сил, які діють на зернівку у відносному русі.

МК – траєкторія відносного руху зернівки, ML – траєкторія абсолютного руху зернівки M;  $V_a, V_r, V_c$  – відповідно абсолютна, відносна, переносна швидкість руху зернівки M;  $R_g$  – радіус диска розподільника;  $R_0$  – відстань від центра диска до точки потрапляння зернівки на диск у початковий момент часу  $t_0$ ;  $F_{тр}$  – сила тертя;  $\Psi$  – кут між радіальним напрямком на диску і вектором відносної швидкості в поточний момент часу  $t$ ; R – відстань від центра диска до точки M в поточний момент часу  $t$ ;  $\alpha$  – кутове переміщення диска в його обертовому русі навколо вертикальної осі,  $\varphi$  – кутове переміщення зернівки в її відносному русі по поверхні диска;  $\theta$  – кутове переміщення зернівки в абсолютному русі.



Враховуючи складність проектування зазначених сил на осі координат і складання диференційних рівнянь відносного руху зернівки по диску, розглянемо її рух в абсолютній системі координат, використовуючи методику академіка П. М. Василенка. Для цього вибираємо полярну систему координат  $(R, \theta)$ , в якій розглянемо абсолютний рух зернівки.

Для складання диференційних рівнянь руху зернівки по диску застосовано рівняння Лагранжа другого роду. За узагальнені координати прийнято  $R$  і  $\theta$ , оскільки дана механічна система має два ступеня вільності. У результаті отримано наступну систему диференційних рівнянь:

$$R - R(\omega_g - \dot{\varphi})^2 = -fg \frac{R}{R^2 + R^2 \dot{\varphi}^2}$$

$$R\dot{\varphi} - 2R\omega_g - \dot{\varphi} = -fg \frac{R\dot{\varphi}}{R^2 + R^2 \dot{\varphi}^2} \quad (10)$$

Вона може бути проінтегрована лише наближеними чисельними методами, наприклад, методом Рунге-Кутта з допомогою комп'ютера. Необхідні початкові умови мають вигляд:

$$\text{при } t = 0: \quad R = R_0; \quad \varphi = 0; \quad \dot{R} = 0; \quad \dot{\varphi} = 0. \quad (11)$$

За розв'язком системи рівняння чисельними методами будемо графіки функцій:  $R(t)$ ,  $\varphi(t)$ ,  $\dot{R}(t)$ ,  $\dot{\varphi}(t)$ .

З графіка функції  $R(t)$ , при  $R = R_g$ , визначасмо час  $T$  сходження зернівки з диска розподільника на решета. Після цього з графіка  $\varphi(t)$  знаходимо швидкість кутового переміщення  $\dot{\varphi}(T)$  у відносному русі зернівки по диску у момент часу  $T$ , а з графіка  $\dot{R}(t)$  – радіальну швидкість  $\dot{R}(T)$  у момент часу  $T$ . Після цього з урахуванням виразу

$$\theta(T) = \omega_g T - \varphi(T) \quad (12)$$

знаходимо абсолютну швидкість сходження зернівки з диска розподільника:

$$v_a(T) = \sqrt{R(T)^2 + R_g^2 \dot{\theta}(T)^2}. \quad (13)$$

Досліджено ударну взаємодію зернівок з поверхнею циліндричного решета після сходження з диска розподільника, коли вони потрапляють на поверхню верхнього циліндричного решета. Позначимо швидкість  $v_a(T)$  сходження зернівки з диска через  $\bar{V}$ , а оскільки відстань від краю диска до поверхні решета досить мала, то будемо вважати, що з цією ж швидкістю вона потрапляє і на поверхню решета. У результаті відбувається ударна взаємодія зернівки з поверхнею решета, що зможе призвести до її травмування або руйнування.

Розглянемо силову схему ударної взаємодії зернівки (рис. 13).

На підставі цих досліджень та розрахунків отримано обмеження на максимальну швидкість сходження зернівки з диска розподільника:

$$V_{max} \leq \frac{F_{уд} \cdot t_{уд}}{2m \cdot 1 + \varepsilon}, \quad (14)$$

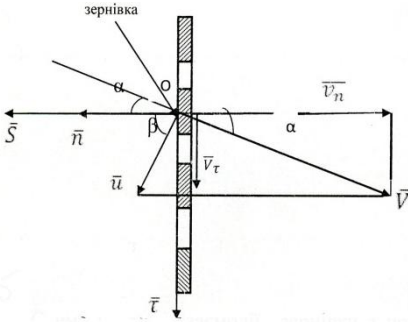


Рис. 13. Схема ударної взаємодії зернівки з поверхнею циліндричного решета після її сходження з диска розподільника

Під час дослідження технологічного процесу сепарації зернового вороху та можливого травмування зернівок необхідно розглянути динаміку відносного руху насіння по реальній поверхні циліндричного решета. Це дасть можливість визначити максимальну швидкість відносного руху зернівки по поверхні решета, за якої найбільш ймовірне її травмування.

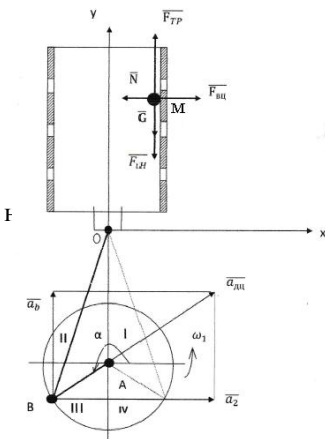


Рис. 14. Еквівалентна схема сил, що діють на зернівку у разі відносного переміщення вниз по поверхні решета

де  $[F_{уд}]$  – допустима сила удару;  $t_{уд}$  – час протікання удару;  $m$  – маса зернівки;  $\varepsilon$  – коефіцієнт відновлення швидкості після удару. Таке обмеження максимальної швидкості створює обмеження на кутову швидкість диска розподільника та сприяє зниженню травмування насіння.

Експериментально підтверджено, що за допустимої сили удару менше 150 Н, часу протікання удару 0,002 с, маси 1000 зернівок 40–50 грам, коефіцієнті відновлення швидкості після удару 0,85, обмеження максимальної швидкості сходження до 2–2,5 м/с, створюватиме обмеження на максимальну швидкість диска розподільника, що сягає більше 5 м/с та сприятиме зниженню мікротравмування з 35–40 % до 9–14 % і суттєво впливатиме на якість насіння.

Для побудови диференційного рівняння відносного руху зернівки необхідно задати еквівалентну схему сил, що діють на неї під час переміщення по поверхні решета.

Розглянемо рухому систему декартових координат  $ХОУ$ , жорстко зв'язаних з циліндричним решетом (рис. 14), і в цій системі координат дослідимо рух зернівки вниз та вгору по поверхні решета.

$M$  – точка решета, в якій у даний момент часу перебуває зернівка;  $m$  – маса зернівки, кг;  $G$  – вага зернівки, Н;  $F_{вц}$  – відцентрова сили інерції, яка діє на зернівку внаслідок обертального руху решета, Н;  $N$  – нормальна реакція поверхні циліндричного решета, що діє на зернівку, Н;  $F_{TP}$  – сила тертя зернівки по поверхні, Н;  $F_{ін}$  – сила інерції, яка діє на зернівку внаслідок зворотно-поступального, тобто вібраційного руху, решета, Н.

Згідно із силовою схемою (рис. 14) диференційне рівняння відносного руху зернівки по поверхні циліндричного решета у векторній формі матиме вигляд:

$$m a = F_{ін} + G + F_{TP} + F_{вц} + N, \quad (15)$$

де  $a$  – відносне прискорення зернівки.

Підставивши необхідні вирази, отримаємо рівняння руху вниз:

$$m\ddot{y} = mr\omega_1^2 \sin\omega_1 t - mg + fmR\omega^2, \quad (16)$$

де  $y$  – прискорення відносного руху зернівки вздовж осі  $OY$ .

Аналогічно складемо диференційне рівняння відносного руху зернівки вгору по поверхні решета:

$$m\ddot{y} = mr\omega_1^2 \sin\omega_1 t - mg - fmR\omega^2. \quad (17)$$

Інтегруючи рівняння (16) з урахуванням початкових умов, отримуємо:

$$V_1 = r\omega_1 \cos\omega_1 t_{10} - \cos\omega_1 t + fR\omega^2 - g \cdot t - t_{10}. \quad (18)$$

Залежність (18) визначає величину відносної швидкості руху зернівки вниз у поточний момент часу  $t$ .

Аналогічно, інтегруючи рівняння (17), отримаємо вираз для визначення відносної швидкості руху зернівки вгору по поверхні решета у поточний момент часу  $t$ :

$$V_2 = r\omega_1 \cos\omega_1 t_{20} - \cos\omega_1 t - fR\omega^2 + g \cdot t - t_{20}, \quad (19)$$

Дослідивши вирази (18) і (19) на екстремум, отримаємо максимальні значення відносної швидкості, які досягатиме зернівка під час руху вниз ( $V_{1max}$ ) і вгору ( $V_{2max}$ ) по поверхні решета відповідно:

$$V_{1max} = r\omega_1 \cos \arcsin \frac{g - fR\omega^2}{r\omega_1^2} - \cos\omega_1 t + fR\omega^2 - g \cdot t - \frac{1}{\omega_1} \arcsin \frac{g - fR\omega^2}{r\omega_1^2}, \quad (20)$$

$$V_{2max} = r\omega_1 \cos \arcsin \frac{g + fR\omega^2}{r\omega_1^2} - \cos\omega_1 t - fR\omega^2 + g \cdot t - \frac{1}{\omega_1} \arcsin \frac{g + fR\omega^2}{r\omega_1^2}, \quad (21)$$

Це найбільші відносні швидкості, яких може досягти зернівка під час руху по поверхні решета вниз і вгору за повний оберт кривошипа вібратора  $0 \leq \omega_1 t \leq 2\pi$  або за період часу  $0 \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega_1}$ .

Однією з основних причин травмування насіння у процесі його руху по поверхні циліндричного решета є ударна взаємодія зернівки з поверхнею та гострою кромкою отвору на поверхні решета в момент часу  $t$ , коли зернівка потрапляє в отвір решета, маючи певний запас кінетичної енергії поступального руху зернівки по поверхні решета. Коли зернівка рухається по поверхні решета, на неї діє нормальна реакція  $N$  поверхні решета, а якщо вона зустрічає отвір-комірку, нормальна реакція  $N$  поверхні решета зникає, тому відцентрова сила інерції  $F_{вц}$  залишається незрівноваженою, під дією якої зернівка проникає в комірку, продовжуючи також поступальний рух вздовж поверхні решета. Зустрівшись з поверхнею та кромкою отвору, відбувається ударна взаємодія зернівки з цими робочими елементами. Особливо небезпечним є випадок, коли вектор ударного імпульсу проходить через центр ваги зернівки, що призводить до травмування, а інколи і до руйнування (рис. 15).

Очевидно, що зернівка після удару по поверхні кромки отвору решета змінює свою швидкість, величину і напрям. У першому наближенні будемо вважати, що поверхня кромки ідеально гладка, а тому ударна реакція і ударний імпульс спрямовані вздовж нормалі  $n$ .

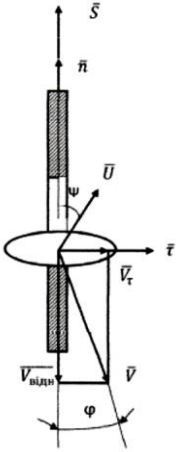


Рис. 15. Схема ударної взаємодії зернівки з кромкою отвору решета у процесі проникнення зернівки в отвір решета:  $V_{\text{відн}}$  – відносна швидкість руху зернівки по поверхні решета;  $V_{\tau}$  – швидкість руху зернівки, що виникає під дією відцентрової сили  $\overline{F}_{\text{вц}}$ ;  $n$  – одиничний вектор нормалі до поверхні кромки решета;  $\overline{U}$  – сумарна швидкість руху зернівки після удару;  $V$  – сумарна швидкість руху зернівки до удару з кромкою решета;  $\tau$  – одиничний дотичний вектор до поверхні кромки отвору решета;  $S$  – ударний імпульс, що спрямований вздовж нормалі до поверхні кромки отвору решета;  $\varphi$  – кут між вектором швидкості  $V$  і одиничним вектором нормалі  $n$ .

Застосуємо теорему про зміну кількості руху під час удару:

$$m U - m V = S n \quad (22)$$

Виконавши необхідні перетворення, отримуємо умови не

травмування зернівок:

$$F_{\text{уд}} \leq [F_{\text{уд}}], \quad (23)$$

де  $[F_{\text{уд}}]$  – допустима сила удару зернівки по поверхні та кромці отвору решета, коли зернівка не руйнується.

У результаті отримаємо наступну нерівність:

$$\frac{2m \cdot 1 + \varepsilon \cdot V_{\text{max}}}{t_{\text{уд}}} \leq [F_{\text{уд}}], \quad (24)$$

звідки знаходимо обмеження на максимальну швидкість руху зернівки по поверхні решета відповідно вниз і вгору:

$$V_{1\text{max}} \leq \frac{F_{\text{уд}} \cdot t_{\text{уд}}}{2m \cdot 1 + \varepsilon} \quad (25) \qquad V_{2\text{max}} \leq \frac{F_{\text{уд}} \cdot t_{\text{уд}}}{2m \cdot 1 + \varepsilon} \quad (26)$$

Встановлено, що обмеження на максимальну швидкість руху насіння масою 40–50 г вниз і вгору в межах 2,0–2,5 м/с, за часу удару 0,002–0,003 с, допустимої сили удару до 3–5 н, коефіцієнті відновлення швидкості після удару 0,85, знижує імпульс ударяння з поверхнею циліндричного решета, що зменшує мікротравмування на 9,5–15,5 %, порівняно з виробничими умовами.

Проведено теоретичні дослідження впливу робочих органів протруювача на травмування і якість насіння. На травмування насіння під час завантажування у камеру змішування протруювача до і після протруювання шнековими транспортерами у разі похилого і вертикального їх розміщення впливають багато факторів дії їх робочих елементів.

У першу чергу, відзначимо вплив кута нахилу спіралі гвинта, зусилля притиснення насіння до корпусу – жолоба, критичну частоту обертів гвинта.

Із суті фізичних особливостей переміщення насіння по витках під час обертання гвинта випливає, що у разі зростання кута підняття спіралі збільшуються сили опору руху насіння.

Визначимо силу, що рухає насіння витками гвинта вгору:

$$F_p = m \cdot \left[ \omega_{\text{ш}}^2 (R \cos \alpha \cdot f_k) - g (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot f_{\text{ш}}) \right], \quad (27)$$



де  $\omega_u, R$  – кутова швидкість і радіус шнека;  $\alpha$  – кут підняття витка гвинта;  $f_k$ ,  $f_u$  – коефіцієнт тертя насіння з корпусом і шнеком.

Аналіз зміни інтенсивності сили руху залежно від кута підняття витка показує, що цей показник є змінною величиною і найменша інтенсивність перебуває в діапазоні  $\alpha = 5-10^\circ$ , а починаючи з  $\alpha=15^\circ$  інтенсивність зростає пропорційно до кута підняття витків гвинта.

Для забезпечення максимальної продуктивності та мінімального травмування насіння кут підняття гвинта шнека повинен бути в межах  $15^\circ$ .

На основі аналізу схеми сил, що діють на зернівку впоперек витка, отримаємо залежність для розрахунку зусилля притиснення насіння до робочої поверхні шнека та можливості його травмування (рис. 16).

$$F_{np} = m \cdot [\omega_u^2 \cdot p(\cos \gamma + \sin \gamma \cdot f_u) + g(\sin \gamma - \cos \gamma \cdot f_u)], \quad (28)$$

де  $\gamma$  – кут нахилу витка до осі шнека,  $p$  – питомий опір.

Розрахунки показують, що витки, нахилені від осі до периферії шнека, сприяють зростанню зусилля притиснення насіння до корпуса.

Отже, отримані вирази дозволяють аналітичним шляхом визначити залежність кута  $\gamma$  від коефіцієнта тертя зернівок зі шнеком.

Через те, що перший компонент цієї формули практично не залежить від кута  $\gamma$  в допустимій межі  $5^\circ-15^\circ$ , зростання зусилля притиснення насіння до корпуса дорівнюватиме нулю, якщо  $\sin \gamma = \cos \gamma \cdot f_u$ , тому

$$\gamma = \arctg f_u. \quad (29)$$

Під час виготовлення шнека робочу поверхню витка гвинта досконало обробляють, коефіцієнт тертя зернівок з цією поверхнею здебільшого дорівнюватиме 0,2–0,3, а тому запропонований кут нахилу витка щодо осі шнека буде перебувати в межах  $10-15^\circ$ .

Якщо знехтувати співударанням насіння між собою під час сходження з диска камери протруювача з урахуванням пружно-в'язкої, зволоженої маси і обертів диска  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ , то прискорення руху зернівок до стінок камери буде:  $a_n = \omega^2 R$ , де  $\omega$  – кутова швидкість диска,  $60 \text{ об/хв.}$ ;  $R$  – радіус диска  $0,4 \text{ м}$ . Тоді сила співударання  $F_c$  із стінкою камери, згідно з основним законом динаміки буде такою:

$$F_c = m \cdot a_n \text{ або } F_c = m \cdot \omega^2 \cdot R. \quad (30)$$

$$\text{У разі падіння зернівок з висоти } h \text{ до дна камери – сила } F_c = m \cdot g \cdot h. \quad (31)$$

Математичну модель руху насіння під час сходження з диска камери протруювача отримано на основі рівнянь Лагранжа II роду і вона має вигляд:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_p - F_0, \quad (32)$$

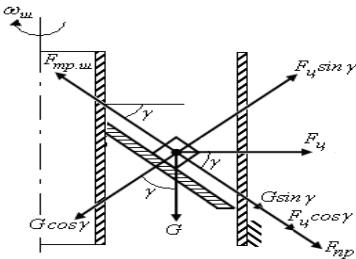


Рис. 16. Схема сил, що діють на зернівку на нахиленому витку гвинта

де  $F_p$ ,  $F_o$  – сили руху і опору, що діють на насіння.

$$\text{Силою руху буде } F_p = \frac{M}{2R}, \quad (33)$$

де  $M$  – момент на валу двигуна;  $R$  – радіус диска, м.

Під впливом сили  $F_p$  відбувається травмування насіння, тому зменшення її та збільшення сили опору буде головним фактором зниження травмування зернівок під час протруювання у камері змішування.

Під час протруювання насіння озимої пшениці, експериментально встановлено, що якщо маса 1000 насінин становить 40–50 г, швидкість сходження з диска 5–3,5 м/с, час досягнення стінки камери 0,001–0,002 с, діаметр диска 0,8 м, висота падання 0,5 м, то сила  $F_c$ , з якою насіння вдарятиметься зі стінкою камери, становитиме до 2 Н, а сила  $F_p$  під час падіння зернівки сягатиме до 0,5 Н, що викликатиме травмування зернівок в межах 5,4–6 %.

Зменшення сили  $F_p$  руху в камері протруювача менше 1 Н, та збільшення сили  $F_o$  опору до 2–3 Н, сприятиме зниженню мікротравмування до 2,3–2,5 %, тобто більше ніж у два рази, що вплине на покращення якості насіння.

Проведено дослідження впливу робочих органів транспортувальних та завантажувальних технічних засобів на травмування і якість насіння. Насамперед, досліджено травмування насіння під час транспортування та завантажування скребковими транспортерами. Виявлено, що на травмування зернівок впливають швидкість руху скребків, їх висота, ширина, довжина транспортування, тертя між зернівками та робочими елементами, сили тяжіння, характеристики пружності, маса тощо.

Обсяг шару насіння, що контактує з поверхнями, покажемо як добуток площі контактування, перпендикулярної до поверхні тертя, на розміри зернівок:

$$M_k = 2F_{ABC} e_3 + h \operatorname{ctg}(\alpha - \varphi) (B - 2b) a = h \operatorname{ctg}(\alpha - \varphi) [he + (B - 2e) a], \quad (34)$$

де  $a$ ,  $e$ ,  $b$  – товщина і ширина зернівок.

Можливість травмування насіння  $N_1$  за транспортування скребковими транспортерами у разі взаємодії з його робочими елементами можна описати відношенням контактного шару  $M_k$  до кількості насіння, яке захоплює скребок. Кількість насіння, яке захоплює скребок, має форму розташування у вигляді прямокутного трикутника (рис. 17).

Кількість насіння, яке захоплює скребок, становитиме:

$$M = 0,5L^2 \cdot \operatorname{Atg} \beta, \quad (35)$$

де  $A$  – ширина скребка, см;  
 $L$  – довжина рухомого шару, см;  $\beta$  – кут зсипання рухомого шару, град.

Рис. 17. Схема переміщення насіння скребком:  
 $h$  – висота скребка;  $A$  – ширина скребка;  $\alpha$  – кут нахилу транспортера;  $\varphi$  – кут природного зрізу, град

Травмування зернівок скребковими транспортерами збільшується залежно від їх довжини і контактування зернівок із поверхнею тертя.

Досліджено та доведено, що зіткнення і травмування насіння під час транспортування та завантажування шнековими гвинтовими транспортерами залежить від конструкції та

параметрів робочих елементів транспортера, фізико-механічних властивостей транспортованої маси та зворотнього обсіпання.

Під час транспортування та завантажування стрічковими транспортерами існує вірогідність зіткнення і травмування насіння з площиною стрічки, на якій відносний рух шару насіння за мінімальної швидкості руху стрічки відсутній (рис. 18).

У такому випадку фактичне зіткнення насіння зі смугою можна описати через секундну подачу як відношення площі перерізу маси, що контактує з смугою, до загальної площі перерізу:

$$S_{к.ш.} = \frac{c}{V_{рт} \rho}, \quad (36)$$

$$S_{зп} = 0,25 e^2 \operatorname{tg} \varphi \quad (37)$$

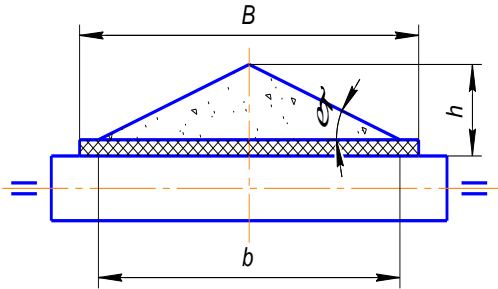


Рис. 18. Розміщення насіння на стрічковому транспортері:

де  $S_{к.ш.}$  – площа контактного шару насіння,  $\text{м}^2$ ;  $S_{зп}$  – загальна площа перерізу,  $\text{м}^2$ ;  $c$  – секундна подача насіння,  $\text{кг/с}$ ;  $V_{рт.}$  – швидкість руху насіння і транспортера,  $\text{м/с}$ ;  $\rho$  – щільність шару насіння,  $\text{кг/м}^3$ ;  $e$  – ширина шару,  $\text{м}$ ;  $\varphi$  – кут природного зрізу, град.

Експериментально доведено, що за швидкості руху скребкового і стрічкового транспортерів 2,0–2,5  $\text{м/с}$ , секундному поступленні насіння 1,5–2  $\text{кг/с}$ , щільності шару насіння 750  $\text{кг/м}^3$ , кутах природного зрізу і зворотнього обсіпання до 30–45°, мікротравмування насіння становитиме 1,5–2,5 %. У шнековому транспортері мікротравмування сягатиме 6–8 % і більше.

Завершальним етапом теоретичних розрахунків було дослідження впливу робочих органів зернової сівалки на розподілення, травмування і якість насіння під час смугової сіви.

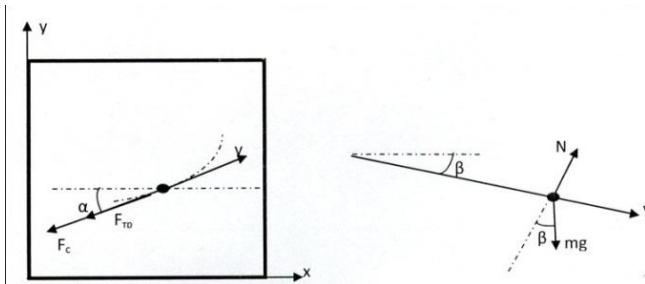


Рис. 19. Схема до складання рівнянь руху по похилій площині

Розглянуто характер руху зернівки по прямокутній розподільчій пластині, нахиленій до поверхні, відповідно до запатентованої конструкції, під кутом  $\beta$  (рис. 19). Складена система диференціальних рівнянь руху зернівки у проєкціях на осі координат  $x$  і  $y$ :

$$\begin{aligned} mx &= -F_0 \cos \alpha - F_{\text{TP}} \cos \alpha \\ my &= -F_0 \sin \alpha - F_{\text{TP}} \sin \alpha - mg \sin \beta \end{aligned} \quad (38)$$

де  $m$  – маса зернівки;  $F_{\text{TP}}$  – сила тертя, що дорівнює  $\varphi N$ , де  $\varphi$  – коефіцієнт тертя,  $N$  – нормальна реакція поверхні зернівки, дорівнює  $mg \cos \beta$ ;  $F_0$  – сила опору повітря, що дорівнює  $k m v^2$ , де  $k$  – коефіцієнт опору повітря у разі переміщення по пластині,  $1/\text{м}$ ,  $V$  – швидкість руху зернівки;  $\alpha$  – поточне значення кута між вектором  $V$  швидкості зернівки та позитивним напрямом осі  $x$ . Отримана задача не має аналітичного розв’язку, але може розв’язана за допомогою кінцево-різничних аналогів або за допомогою вмонтованих у різноманітних математичних пакетах (MathCAD, Maple і ін.) процедур.

Через це більш доцільно використовувати методи кінцево-різничних аналогів з використанням квазілінійних звичайних диференційних рівнянь другого порядку. Розв’язок цієї задачі реалізовано програмою «Розподільча пластина».

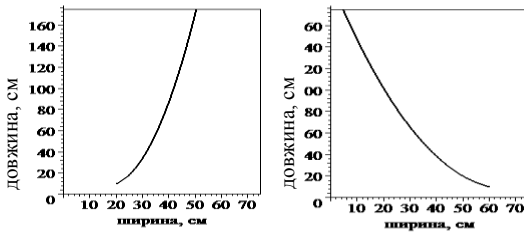


Рис. 20. Візуальний розв’язок задачі переміщення зернівки на покритій гумою розподільчій пластині

Ширина розподільчої платини  $a=0,075$  м, довжина  $b=0,175$  м, з кроком по часу  $h=0,0001$  с. Побудовано циклічну процедуру, яка визначає траєкторію руху зернівки (рис. 20).

За різноманітних ситуацій внаслідок переміщення по пластині, зернівки досягають її бокових меж і штирів, що вимагає моделювання процесів відвернення. На наступних рис. 21–

23 наведені параметри траєкторії руху зернівки у разі повертання від бокових меж розподільчої пластинки та штирів, досліджені у програмах «Межа» і «Перепона».

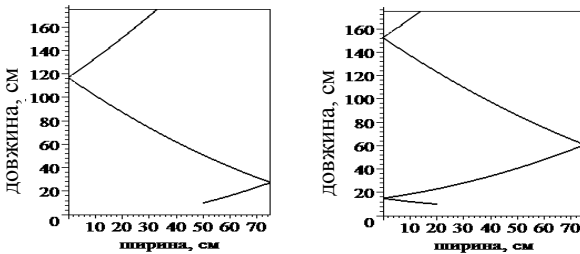


Рис. 21. Візуальне моделювання відвернення зернівки від меж розподільчої пластини

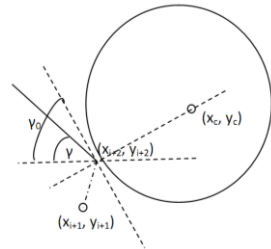


Рис. 22. Моделювання відвернення зернівки від штиря

У зв’язку з еліпсоїдною формою зернівки, відвернення (траєкторія) її після зустрічі із штирем проходить непербачувано. Тому для кількісної реалізації використаємо набір випадкових чисел визначення напрямку початкового руху траєкторії зернівки після зустрічі із штирем. Такий напрям визначається кутом  $\gamma_0$  і випадковим чином

вибирається між горизонтальною віссю та дотичною до поверхні штиря в місці зустрічі із зернівкою (рис. 22), який визначають наступним чином:

$$\gamma_0 = \frac{\pi}{2} - \arctg \left| \frac{y_0 - y_{i+2}}{x_0 - x_{i+2}} \right|, \quad (39)$$

Провівши наступні розрахунки, отримуємо координоване і контрольоване переміщення та рівномірне розподілення насіння по пластині розподільника під час сівби – розглянуто у програмах «Штирі» і «Розподілення» та представлено у дисертаційній роботі.

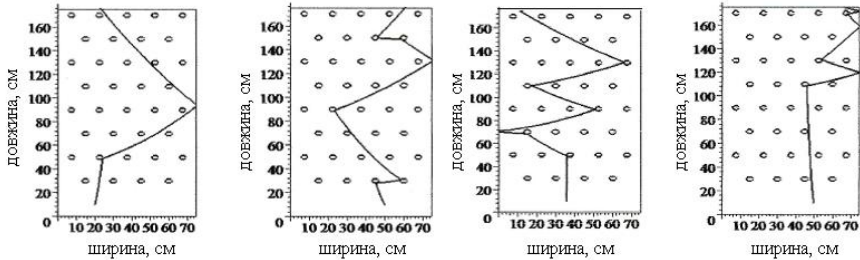


Рис. 23. Приклади візуалізації траєкторії руху від меж і штирів розподільчої пластини

Експериментально встановлено, що під час руху насіння масою 0,04–0,05 г на розподільчу пластину із штирями з гумовим покриттям, з висоти 0,7 м, коефіцієнтах опору і тертя 0,2–0,3, силі ударення менше 5 Н, прискоренні 0,025 м/с<sup>2</sup>, куті нахилу робочого органу до поверхні ґрунту до 30–45°, і наближеному значенні  $e \approx 2,718$ , фактична швидкість руху насіння становитиме 3–3,5 м/с, мікротравмування зернівок наблизатиметься до мінімального 2,5–2,9 %, а їх розподілення на поверхні підшви ґрунту після сівби у вигляді смуги, а не в рядку сягатиме 94–95 % і навіть більше, що створить сприятливі умови під час сходження, зростання і розвитку рослин у період вегетації, забезпечить раціональне використання води, поживи, сонячної енергії та формування високого і якісного урожаю.

У **третьому розділі** представлено конструкційно-технологічне розроблення і виготовлення експериментального обладнання та приладів, на яких проводили дослідження.

У розділі також наведено методику визначення ступеню травмування і деформування зернівок шляхом відбирання натурних зразків на всіх стадіях проходження технологічних процесів у підприємствах, де проводили дослідження.

Визначення якісних показників та зараження насіння мікроорганізмами за різних технологічних процесів на всіх стадіях його оброблення та підготовлення проводили на основі ДСТУ 4138-2002, ДСТУ 2422-94 та ДСТУ 3768:2010 у лабораторіях державних насіннєвих станцій, що засвідчено відповідними актами.

Загальна методика визначення травмування насіння полягає у його обробленні розчином індіго-карміну та розгляданням кожної зернівки під лупою 10-кратного збільшення і визначення кожного виду макро- і особливо мікротравм, адже їх вплив на якість насіння у вітчизняній агроінженерії до цього часу не досліджували.

У четвертому розділі наведено результати дослідження впливу параметрів і режимів роботи молотильних агрегатів на травмування та якість насіння, які показують, що на всіх стадіях обмолочування ці показники мають відмінності. Найменшу кількість макротравм (3,2 %), отримано після збирання пшениці роторним молотильним апаратом, тоді як після обмолочування барабанним апаратом кількість макротравмованого насіння зростає до 9,4 % (табл. 4).

Інтенсивного макротравмування зазнало насіння сорту Миронівська 65 після обмолочування комбайном ДОН-1500Б порівняно із сортом Перлина Лісостепу під час збирання комбайном «Славутич», де різниця між цими показниками у разі пошкодження від жатки до бункера становить 4,2 % і 3,2 %.

Макротравмування зернівок сорту Актер також відбувалося із збільшеною динамікою у разі обмолочування барабанним комбайном, ніж у разі застосування роторного, у межах від 1,6 % до 2,2 % відповідно, а кількість макротравмованого насіння у барабанному апараті була на 4,8 % більша, ніж за роторного обмолочування.

Вибитий та пошкоджений зародок пшениці Одеська 237 після вивантаження із бункера (табл. 4) становив 6,2–9,4 % у разі обмолочування барабанним апаратом, а роторним – 1,8 % або 3,0 %, тобто менше на 4,2 % та 6,0 %. Інтенсивніших пошкоджень отримав зародок сортів Миронівська 65 та Перлина Лісостепу після обмолочування комбайнами ДОН-1500Б і «Славутич», що становило вибитого зародка 5,6 % і 5,0 %, а пошкодженого – 5,0 і 6,8 %. Відповідно різні значення пошкодження спостерігаються у разі отримання мікротравм оболонки, ендосперму, оболонки зародка та ендосперму.

Найбільшу кількість мікротравмованого насіння після обмолочування барабанним апаратом отримано в межах 66,6–60,2 % сортів Перлина Лісостепу та Актер, а найменшу – 33,0–39,0 % – роторним апаратом сортів Одеська 237 та Актер. Отже, найбільша кількість нетравмованого насіння після збирання (67,0 %) нарахувалось у с. Одеська 237 у разі обмолочування роторним молотильним апаратом. А серед барабанних кращів результати, тобто менше травмування, отримано у разі збирання комбайном «Славутич» – 37,6 %.

Таблиця 4

## Травмування насіння озимої пшениці під час збирання

Господарство	Сорт	Стадії дослідження	Макротравми %	Мікротравми				
				зародка		всього травм	без травм	узагальн. травми
				вбито	пошкод.			
СВК «Маяк» Вінницька область	Одеська 237 (барабан)	на корені	0	0	0	5,8	94,2	3,65
		в жатці	3,2	2,2	4,0	22,4	77,6	14,91
		п. барабан	6,4	4,0	6,2	41,6	58,4	25,52
		в бункері	7,8	4,6	7,8	54,0	46,0	31,64
СВК «Маяк» Вінницька область	Одеська 237 (ротор)	п. авто	9,4	7,0	9,4	60,0	40,0	40,91
		на корені	0	0	0	2,8	97,2	0,68
		в жатці	2,8	1,8	2,4	17,2	82,8	6,28
		п. барабан	3,1	2,2	2,8	21,2	78,8	8,24
СВК «Маяк» Вінницька область	Одеська 237 (ротор)	в бункері	3,2	3,2	3,0	23,0	77,0	9,23
		п. авто	3,8	3,4	3,4	33,0	67,0	16,37

Отже, під час обмолочування озимої пшениці комбайнами з різними молотильними апаратами меншого травмування насіння завдають роторні апарати, різниця на їх користь суттєва – в межах 22,06 %.

Мікротравмування зернівок за узагальненими травмами під час збирання зернозбиральними комбайнами барабанного типу досягали – 34,44 %, або більше третини, а роторним – 13,65 %. Різниця на користь останніх становить 20,79 %, або п'ята частина зернового вороху.

Травмовані тканини зернівок є місцем сприятливих умов для розвитку та життєдіяльності різних мікроорганізмів, а пошкоджений зародок та ендосперм стають живильним середовищем для шкідників. Отримані дані свідчать про те, що грибна флора фузаріозу перед початком обмолочування на корені перебуває в межах 2,2 % на зернівках сорту Перлина Лісостепу та 5,5 % сорту Одеська 237, альтернативіозу 0,1 % у с. Актер та 0,2–0,3 % – у решти сортів. Тобто, такі кількості обумовлені природним станом наявності шкідників у довкіллі і, безумовно, мінімально негативно впливають на погіршення якості тільки пошкодженого насіння, а під час обмолочування їх кількість різко зростає.

Травмування та пошкодження мікроорганізмами зернівок на різних стадіях обмолочування негативно впливає на дуже важливий показник якості насіння – схожість, яка на початку збирання становить у с. Одеська 237 за найнижчого значення 89,2 %, а за найвищого – 98,9 %, а після вивантаження з бункера ці показники перебували в межах 85,3 % та 96,3 %, відповідно, або на 3,9 % та 2,6 % менше.

Аналогічні дослідження проведені для поширених сортів озимого жита «Верхняцьке-32» та «Клич».

Дані досліджень показують взаємозв'язок травмування та пошкодження мікроорганізмами і пряму дію цих явищ на погіршення якісних показників насіння озимої пшениці та жита.

Результати виробничо-лабораторних досліджень травмування насіння озимої пшениці під час післязбирального оброблення на насіннеочисному заводі «Petkus», в середньому за п'ять років (2009–2013 рр.), показують, що після вивантаження з автомобіля макротравмованого зерна в зерноочисному воросі перебувало 5,8 %, а мікротрави всього становили 60,20 %, і узагальнений показник дорівнював 26,68 %.

Під час проходження технологічного процесу очищення кількість макротравмувань зменшилася до 1,8 %, тобто розбиті зернівки, проходячи через комплекс очисних машин, відділилися від зернової маси.

Кількість зернівок із вибитим зародком до завершення очищення суттєво не змінилася і після пневмостола становила 3,2 %; пошкодження зародка, тобто його травмування, зросло на 2,0 %, а узагальнений показник травмування зріс на 5,67 %.

Аналіз мікротравмування насіння на всіх стадіях під час очищення показує, що загальна кількість травм постійно зростала під час проходження через інші машини та механізми і після пневмостола залишалось всього 22,0 % нетравмованого насіння, а загальний показник становив 38,54 %, тобто збільшився на 11,86 %, що негативно позначиться на якісних показниках насіння.

Отримані дані свідчать про те, що чистота насіння зросла на 2,7 %, кількість насіння бур'янів суттєво зменшилася і після пневмостола їх залишилося всього 4 шт/кг. Як наслідок, покращилася схожість (на 11,02 %), зменшилася вологість насіння (на 1,5 %), а також відбулося зниження склоподібності (на 6 %). Маса насіння і його природа

покрашилися, відповідно, на 2,12 грама і 35 г/літр. Внаслідок очищення насіння спостерігалось збільшення кількості білка на 0,74 %, а сирової клейковини – на 2,22 %.

Отже, отримані результати досліджень показують, що збільшення мікротравмування насіння та пошкодження його мікроорганізмами спричинює погіршення якості насіння, а зменшення засміченості і вологості позитивно впливає на зростання маси і природи насіння та особливо – надзвичайно важливого головного показника якості – його схожості.

Тому на стадії очищення зернового вороху і підготовки насіння важливо застосовувати, з одного боку, принцип мінімального впливу на зернівку різних механічних навантажень, а з іншого – досягати якомога швидшого виділення із загального зернового вороху подрібненого, травмованого, біологічно недозрілого і неповноцінного зерна, сирого насіння бур'янів, вологих грудочок, пилу та інших різних органічних і мінеральних вологих засмічувачів.

Важливим етапом досліджень було вивчення травмування насіння під час його оброблення на вібровідцентровому сепараторі. Готували насіння озимої пшениці у СВК «Маяк» на вібровідцентровому сепараторі БЦСМ-25 та зерноочисній машині ОВС-25.

З результатів досліджень виявлено, що після комбайна роторного типу на очищення потрапило 35,2 % травмованого насіння, на 26,0 % менше, ніж цього ж сорту, але після барабанного обмолочування, а після оброблення цей показник становив 51,6 %, або на 24,6 % менше до барабанного. Тобто загальне зростання травмування становило 18,6 %, а нетравмованого насіння залишалося 48,4 %, що становить менше половини насіннєвої маси.

Необхідно відзначити, що насіння озимого жита від впливу елементів технологічних ліній зазнає більших травмувань, ніж пшениці, внаслідок цього також відбувається і пошкодження мікроорганізмами, що негативно впливає на показники якості.

Досліджено травмування насіння на експериментальному вібровідцентровому сепараторі та експериментальній лабораторній вібровідцентровій установці типу БЦСМ.

Під час очищення насіння пшениці на експериментальній віброочисній машині травмування його знизилось на 7,9 %, а жита – на 18,9 %, щодо виробничих аналогів, то ці показники позитивні.

Отже, даний вібросепаратор, який отримав конструкційні удосконалення, забезпечує зниження травмування насіння, що, безумовно, впливає на покращення його якісних показників.

Результати досліджень показують, що підготовка насіння на експериментальній лабораторній установці забезпечує зниження травмування зернівок пшениці на 8,4 % до початкового стану, а жита – на 11,8 %, тобто суттєву різницю відповідно до виробничих машин загального призначення.

Досліджено вплив післязбирального оброблення зернового вороху озимої пшениці і жита зерноочисними машинами ЗАВ-20, СМ-4,0, ОВП-20 на травмування зернівок та пошкодження мікроорганізмами.

Результати досліджень ступеню очищення зернового вороху та підготовки насіння різними зерноочисними машинами на сільськогосподарських підприємствах показують вплив різних робочих складників технологічних елементів на травмування зернівок, аналогічно очищенню на заводі Petkus.

Експериментально досліджено вплив транспортувальних і завантажувальних технічних засобів на травмування та якість насіння, озимої пшениці та жита, яке перебуває в межах 3,2–3,5 %.



У господарствах, де проводили експериментальні виробничі дослідження, застосовуються зернонавантажувачі ЗМ-60А, які використовують для навантажувально-розвантажувальних робіт у зерноскладах та на відкритих майданчиках.

У роботі наведено результати дослідження впливу робочих елементів протруювачів на травмування та якість насіння.

Під час технологічного процесу протруювання насіння використовують стрічкові, скребкові, гвинтові шнекові пристрої (які переміщують і завантажують насіння, створюють механічні навантаження на нього, а отже механічно травмують), а також камера протруювання.

Проведені наукові дослідження на виробництві та виконані лабораторні аналізи показали, що травмування озимої пшениці, у процесі протруювання, збільшується і залежить від багатьох чинників (табл. 5).

Мікротравмування зернівок відбувалось у вигляді пошкодження зародка, а також після протруювання зростав узагальнений показник травм. І якщо пошкодження зародка відбувалося не суттєво, то загальне травмування і узагальнений показник в окремих випадках мав суттєві значення. Так, після протруювання пшениці с. Миронівська 65 було отримано травм більше на 6 %, узагальнений показник травм зріс на 4,7 %, а с. Одеська 237 отримав на 5,6 % більше всього травмованого насіння, узагальнений показник травмування збільшився на 3,06 %, у сорту Актер узагальнений показник травмування після протруювання збільшився на 5,62 %.

Тобто майже у всіх випадках після проходження насіння через протруювачі травмування зростало на 3–5 %, що впливало на зниження якості.

У науковій роботі наведено аналогічні дослідження травмування і якості насіння озимого жита у процесі протруювання.

Дослідження впливу робочих органів зернової сівалки на травмування та якість насіння свідчать, що найбільшу кількість мікротравм після сівби отримало насіння пшениці с. Одеська 237 під час обмолочування комбайном ДОН-1500Б – 95,8 %, а найменш травмовано насіння під час обмолочування роторним комбайном «John Deere» с. Одеська 237 – 61,8 %.

Аналізуючи результати даних щодо якісних показників озимої пшениці від впливу травмування, показано, що після сівби чистота насінневого матеріалу становила 98–99 %, найменша кількість бур'янів була у с. Перлина Лісостепу, а найбільша – у с. Одеська 237 – 5 шт/кг насіння (табл. 5).

Необхідно відзначити, що катушкові апарати та сошники негативно впливали на збільшення травмування насіння в межах 4–5 % та були причиною погіршення його якості у процесі сівби.

Аналогічні дослідження травмування насіння під час сівби, проведені щодо озимого жита, показують, що насіння озимого жита зазнає суттєвішого травмування, ніж озимої пшениці на всіх стадіях технологічних процесів, у тому числі під час сівби.

**У п'ятому розділі** обґрунтовано шляхи зниження травмування та покращення якості насіння під час збирання, післязбирального оброблення зернового вороху, підготовки насіння, транспортування, завантажування та сівби, які полягають у наступному:

- застосування оптимальних способів та строків збирання зернових культур за вологості насіння 16–17%;

## Травмування насіння озимої пшениці після сівби

Господарство	Сорт	Стадії досліджень	Макро- травми, %	Мікротравми %				
				зародка		всього травм	без пошко- джень	узагальнений показник травм
				виби- тий	пошкод- жений			
Обласний центр експертизи сортів рослин Житомирської обл.	Миронівська 65	Після протруювання. Після сівби	4,0	4,4	6,0	84,8	15,2	40,75
			4,2	4,6	6,4	89,6	10,4	44,34
СФГ «Стецівське» Черкаської обл.	Перлина Лісостепу	Після протруювання. Після сівби	0,8	4,6	9,2	89,2	10,8	50,24
			0,8	4,8	10,6	92,2	7,8	52,43
СВК «Маяк» Вінницької обл.(барабан)	Одеська 237	Після протруювання. Після сівби	3,4	3,2	9,2	91,8	8,2	48,09
			3,4	3,2	9,4	95,8	4,2	51,29
СВК «Маяк» Вінницької обл.(ротор)	Одеська 237	Після протруювання. Після сівби	2,2	3,6	3,2	59,0	41,0	27,81
			2,2	3,6	4,2	61,8	38,2	29,11
ПСП «Україна» Житомирської обл.	Актер	Після протруювання. Після сівби	2,0	3,6	9,6	86,4	13,6	40,81
			2,0	3,6	11,0	92,6	7,4	44,37
ТОВ «Архат» Житомирської обл.	Актер	Після протруювання. Після сівби	1,6	1,0	6,8	59,2	40,8	24,94
			1,6	1,0	7,0	62,8	37,2	27,67

- врахування та використання сортових, агротехнічних та біологічних особливостей кожного сорту і культури;

- використання інженерних рішень, агротехнічних заходів і селекційної роботи;

- врахування наявності навіть мінімальної кількості мікротравм, незначних розмірів деформації та тріщин зумовлює бурхливий розвиток мікроорганізмів, проникнення їх у середину зернівки, споживання, підвищує інтенсивність дихання, температуру, самозігрівання, денатурацію білків, зниження польової схожості, пригнічення проростання і загибель молодих ростків;

- глибокі, систематичні та фахові регулювання роботи робочих органів під час збирання, очищення, транспортування-завантажування, протруювання та сівби (засори, обороти, кути нахилу робочих поверхонь, швидкість руху, тертя);

- накопичення на току, в силосах, вмістищах та бункерах обмолоченої, неочищеної маси на одну-дві доби максимум, та найшвидше відокремлення вологих засмічувачів – вологого насіння бур'янів, вологих стебел і полови, вологого пилу і ґрунту;

- мінімальна кількість технічних засобів та найменша довжина технологічних ліній;

- максимальне застосування гумових, або будь-яких інших еластичних матеріалів – пластмаси, дерева, капрону, нейлону, під час виготовлення або покривання робочих поверхонь технічних засобів;

- високий рівень фахової, практичної підготовки спеціалістів та обслуговувального персоналу під час виконання всіх технологічних процесів від збирання до сівби.

На основі та з урахуванням проведених досліджень, а також аналізу попередніх наукових даних та практичних експериментів у різних ґрунтово-кліматичних зонах Лісостепу і Полісся України, зроблено висновки, що головними перспективними напрямками роботи наукових та організаційно-машинобудівних структур у галузі механізації збирання, підготовки насіння та сівби є наступне:

- у результаті конструювання, модернізації та вдосконалення режимів роботи робочих частин зернозбиральних машин, насамперед барабанних і роторних апаратів, необхідно забезпечувати зниження травмування зернівок під час обмолочування до мінімального рівня, тобто до 3–5 %, адже значне їх травмування під час збирання значно погіршує їх властивості, знижує опір наступним механічним навантаженням, що стане причиною травмування у разі оброблення та унеможливить отримання насіння першого класу;

- конструювання та організація виробництва зернових жаток, що забезпечить укладання скошеної хлібної маси тонким шаром розстилання для швидкого і рівномірного дозрівання зернівок та її підсихання до кондиційної вологості, що дозволить використовувати малозатратну технологію підготовки висококондиційного насіння без додаткового підсушування і зменшення його травмування майже у два рази;

- розроблення повнокомплексних насінночисних агрегатів для великих аграрних підприємств з можливістю організації потокового або каскадного комплектування обладнання для підготовки насіння, куди входять лінії його очищення, сховища для насінневої, товарної і фуражної фракцій з технічними пристроями для їх завантажування, розвантажування, провітрювання, протруювання насіння, перероблення та використання продовольчого зерна і фуражу;

– оснащення насіннесочисних комплексів пристроями механізації та автоматизації і підбирання оптимальних режимів роботи для всіх робочих частин усього процесу;

– розроблення принципово нових енергоресурсозберігальних технічних рішень, що забезпечуватимуть ефективне фракціонування зернового вороху, підвищення продуктивності машин та зменшення травмування зернівок;

– розроблення, впровадження і організація на світовому ринку конкурентоспроможного виробництва каскадного та блочно-модульного технологічного обладнання для післязбирального оброблення зернового вороху та підготовки високоякісного насіння, що забезпечуватиме комплектування різних варіантів складних агрегатів і комплексів з обмеженої номенклатури уніфікованих модулів максимальної заводської готовності з мінімальним травмуванням зернівок, які дозволять реалізувати адаптовані до природно-кліматичних умов регіонів технології для підготовки високоякісного насіння;

– розроблення, модернізація наявних та організація виробництва універсальних нових машин комплексної дії – попереднього, первинного і повного очищення зернового вороху та підготовки високоякісного насіння для малих і середніх сільськогосподарських підприємств, у тому числі для індивідуальних селянських і фермерських господарств, різної продуктивності від 5 до 25 т/год., з мінімальним механічним впливом та мінімальною кількістю технічних засобів і довжиною технологічних ліній, що значно мінімізує загальне травмування насіння до 10 % і забезпечить високі показники його якості;

– формування вітчизняних технічних засобів для обмолочування, оброблення зернового вороху, підготовки високоякісного насіння, його протруювання та сівби з обов'язковим урахуванням зниження травмування на всіх стадіях технологічного процесу з максимальним застосуванням різних еластичних матеріалів – гуми, капрону, нейлону, дерева, пластику тощо.

**У шостому розділі** представлено описи розроблених автором конструкцій та висвітлено предмети винаходів і їх практична цінність. Наведено результати конструкційно-технологічного пошуку автора, які сприяють ефективності роботи, зниженню травмування і покращення якості насіння зернових культур, що повною мірою висвітлено в дисертаційній роботі та монографіях.

Розрахунок показників "Господарсько-економічної ефективності реалізованих техніко-технологічних розробок" свідчить, що застосування інженерних рішень щодо модернізації молотильних апаратів та підбирання оптимальних режимів аксіально-роторного типу обмолочування і їх регулювання суттєво впливає на зниження травмування зернівок і позитивно впливає на покращення якісних показників насіння пшениці, жита та інших зернових культур.

Результати досліджень показують, що макротравмування після обмолочування роторним молотильним апаратом пшениці сорту Одеська 237 знизилася порівняно з барабанним апаратом на 3,8 %, а мікротравмування – на 12,4 %.

Загальна ефективність зниження травмування зерна під час збирання комбайном з аксіально-роторним молотильним апаратом, згідно з результатами наукових досліджень, становить:

$$E_{\text{ заг. еф. обмол. }} = B_1 + B_2 = 11400 + 220100 = 231400 \text{ грн.} \quad (40)$$

Ефективність зниження травмування та покращення якості насіння під час післязбирального підготовлення через збільшення урожайності озимої пшениці та жита за відповідних розрахунків становила 128007 грн.

Ефективність зниження травмування та покращення умов розподілення, розміщення у ґрунті і проростання насіння після сівби дисковим сошником нової конструкції для озимої пшениці та жита на 1 га посіву становила 190 і 139 грн.

Розрахунок сезонної економічної ефективності внаслідок підготовлення насіння на модернізованому вібросепараторі показав, що за рахунок ефективності та підвищення якості вона становить 1779740 грн.

Загальна техніко-економічна ефективність запропонованих заходів і модернізації технічних засобів зниження травмування насіння, підвищення його якості та формування високого і якісного урожаю під час технологічних процесів збирання, післязбирального оброблення, підготовлення та сівби становитиме 3777247 гривень.

Визначення економічних показників ефективності виконано згідно з ГОСТ 23728-88 – ГОСТ 23730-88.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему, яка полягає у теоретичному і конструкційно-технологічному вдосконаленні та розробленні високоефективних технічних засобів для комплексної реалізації процесів підготовлення високоякісного насіння і сівби зернових культур шляхом зниження його макро- та мікротравмування.

1. Збирання зернових культур за вологості зернівок більше 30% та значного впливу механічних навантажень у зоні раптової зміни швидкості хлібної маси як за величиною, так і за напрямком, призводить до деформування, травмування та зниження якості насіння, погіршує його польову схожість на 20–25 %, що приводить до зниження урожайності. Тому обмолочування зернових культур та підготовлення їх насіння необхідно проводити за вологості 15–16 % із застосуванням оптимальних способів та засобів, що забезпечують мінімальні механічні навантаження.

2. Розроблені математичні моделі впливу молотильних агрегатів барабанного і роторного типу на травмування зернівок та динаміки травмування насіння робочими органами вібросепаратора свідчить, що на травмування зернівок впливають умови контактування, імпульс сили ударяння та співударяння, швидкість руху, довжина шляху переміщення, тертя з поверхнями та накопичення травмованого насіння після обмолочування і кожної наступної  $i$ -тої дії сприяє зростанню мікротравмування зернівок навіть до 60–80 % за будь-яких технологічних операцій. Встановлено, що у молотильних агрегатах барабанного типу спостерігається підвищене мікротравмування насіння у порівнянні з роторним (більше 20 %).

3. Експериментально встановлено, що при фракційному розподіленні зернового вороху, кращі показниками якості та менше травмування зернівок досягається при застосуванні сортувальних решіт з діаметром отворів комірок 2,4–2,6 мм та швидкості руху насіння у пневмосепарувальному каналі 7,5–8 м/с у порівнянні із використанням решіт з меншим діаметром отворів, але більшою швидкістю руху 8,5–9,5 м/с.

4. Розроблена математична модель деформування пружно-в'язкої еліпсоїдної зернівки свідчить, що при падінні насіння масою 0,04–0,05 г з поперечним радіусом 3–4 мм на сферичну поверхню розподільника радіусом 600 мм, який обертається з кутовою швидкістю до  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ , тангенційна деформація становить 0,021 – 0,025 мм і характеризується початковим підвищенням з наступним уповільненням.

5. За побудованою математичною моделлю руху зернівки, форма якої описується рівнянням еліпсоїда обертання, після диференціювання, позначень, скорочень, підстановок та застосування незалежних кінематичних параметрів здійснено оптимізацію енергії прискорення з метою мінімізації проходження процесу деформування. Згідно отриманих диференційних рівнянь, обертання диска-розподільника радіусом 600 мм з кутовою швидкістю до  $6 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$  мінімально впливає на деформування зернівки, а збільшення швидкості суттєво підвищує степінь деформування та травмування насіння.

6. Експериментально встановлено, що зростання обертів диска розподільника пневмосепарувального пристрою вібросепаратора більше  $110 \text{ хв}^{-1}$  суттєво впливає на швидкість, час руху насіння та його мікротравмування.

Для досягнення ефективності та якості очищення і мінімального мікротравмування, частота обертів диска  $n_p$  повинна становити (за різних коефіцієнтів тертя:  $f = 0,3 - 0,5$ )  $n_p = 42,0 \text{ хв}^{-1} - 54,2 \text{ хв}^{-1}$ . Кути нахилу секторів лопаток  $\alpha = 30^\circ - 45^\circ$  і довжина лопаток 135 мм забезпечують швидкість руху насіння 7,5–8 м/с та мінімальне його мікротравмування.

7. Експериментально встановлено, що застосування пневмосепарувального пристрою розробленої конструкції з кутом спрямування зернового вороху  $110^\circ$  без обмеження руху, наявності додаткових продуктивних вікон та гумового покриття, сприяє підвищенню продуктивності та ефективності очищення і зменшенню макротравмування насіння пшениці з 5,1 % до 2,4 %, а жита – з 6,3 % до 3,5 %. Мікротравмування пшениці знизилось з 20,4 % до 5,8 %, а жита – з 28,7 % до 8,6 %.

8. Експериментально встановлено, що застосування запропонованої конструкції вловлювача – розподільника дозволяє затримати, відібрати і калібрувати велике, наповнене і найбільш якісне насіння за одне проходження, що значно зменшило мікротравмування зернівок, покращило їх якість, суттєво підвищило продуктивність вібросепаратора. Макротравмування насіння пшениці зменшилось з 6,3 % до 2,0 %, а жита - з 7,0 % до 3,0 %.

9. На основі розробленої математичної моделі руху насіння по поверхні робочого органу дискового сошника запатентованої конструкції, експериментально підтверджено, що для зниження мікротравмування та оптимального розподілу насіння на поверхні подошви ґрунту у вигляді смуги, а не в рядку, на пластині розподільника необхідно розмістити у шаховому порядку 9 рядів штирів діаметром 3 мм і довжиною 10–15 мм, покритих гумою або іншими еластичними матеріалами, з відстанню між в штирями в ряду 15 мм і між рядами – 18 мм. Це дозволить знизити мікротравмування з 6,2 % до 2,7 %, сприятиме зростанню польової схожості, кращому використанню вологи, поживи, сонячної енергії та суттєвому збільшенню урожайності.

10. Результати досліджень впроваджено на підприємствах ПАТ «Червона зірка» (м. Кропивницький); Житомирський обласний державний центр експертизи сортів рослин (м. Житомир); ФОП «Тарасевич» (м. Житомир); СВТП «Механік» (м. Житомир); ПП «Україна» (Попільнянський район Житомирської області); СВК «Маяк» (Оратівський район Вінницької області); СФГ «Стецівське» (Звенигородський район Черкаської області), що підтверджується актами впровадження.

11. Загальний сезонний економічний ефект від зниження травмування зернівок, підвищення якості насіння та урожайності зернових культур за технологічних процесів збирання, оброблення, підготовки і сівби становить понад 3 млн 777 тис. грн.

## **Список основних опублікованих праць за темою дисертаційної роботи**

### **Монографії**

1. Дерев'яно Д. А. Вплив травмування на якість насіння зернових культур : монографія / Д. А. Дерев'яно, О. П. Тарасенко, В. І. Оробінський. – Житомир, 2012. – 439 с.
2. Дерев'яно Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння : монографія / Д. А. Дерев'яно. – Житомир, 2015. – 772 с.

### **Праці у наукових фахових виданнях**

3. Головач І. В. Зниження травмування насіння при застосуванні гумових матеріалів та вдосконалення очисток / І. В. Головач, Д. А. Дерев'яно, О. Д. Дерев'яно // Всеукраїнський науково-технічний журнал ВНАУ. – 2016. – № 3 (95). – С. 26–30.
4. Головач І. В. Травмування насіння при підсушуванні технічними засобами / І. В. Головач, Д. А. Дерев'яно, О. Д. Дерев'яно // Всеукраїнський науково-технічний журнал ВНАУ. – 2017. – № 1 (96). – С. 78–82.
5. Грабар І. Г. Вплив кількісно-якісного обліку на втрати зерна та його якісні показники при переміщенні і зберіганні / І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, С. М. Герук // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. – 2010. – Вип. 4. – С. 34–36.
6. Грабар І. Г. Насіння – початок і основа агротехнології / І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, С. М. Герук // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. – 2010. – Вип. 4. – С. 42–44.
7. Грабар І. Г. Правильність прийняття рішень при випробуваннях зернових комбайнів, іншої техніки і новітніх технологій у сільськогосподарському виробництві при застосуванні розрахункових моделей для мінімального травмування зерна / І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, С. М. Герук // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. – 2010. – Вип. 5. – С. 49–53.
8. Грабар І. Г. Вплив вологості зерна при збиранні та післязбиральній очистці зернового вороху озимого жита на його травмування і насінневі якості / І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, С. М. Герук // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. – 2010. – Вип. 5. – С. 60–62.
9. Грабар І. Г. Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насінневого матеріалу / І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, С. М. Герук // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержав. міжвід. наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40, ч. 1. – С. 3–5.
10. Грабар І. Г. Вплив обмолоту на посівні якості зерна пшениці, жита та інших зернових / І. Г. Грабар, Д. А. Дерев'яно, С. М. Герук // Конструювання, виробництво та

експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержав. міжвід. наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40, ч. 1. – С. 6–9.

11. Дерев'яно Д. А. Визначення оптимальної вологості зерна під час обмолоту та післязбиральної підготовки насіння / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 12. – С. 24–25.

12. Дерев'яно Д. А. Вплив травмування і пошкоджень мікроорганізмами жита озимого при збиранні, післязбиральній обробці та посіві / Д. А. Дерев'яно // Вісн. аграр. науки. – 2011. – № 10. – С. 45–48.

13. Дерев'яно Д. А. Шляхи покращення якісних показників зерна / Д. А. Дерев'яно // Зб. наук. ст. / Луцький нац. техн. ун-т. – 2011. – Вип. 21. – С. 117–122.

14. Дерев'яно Д. А. Вплив вологості зерна при обмолоті та післязбиральній доробці зернового вороху озимої пшениці на її травмування і насінневі якості / Д. А. Дерев'яно // Зб. наук. пр. КНТУ. – 2011. – Вип. 24. – С. 181–184.

15. Дерев'яно Д. А. Травмування зерна внаслідок дії внутрішніх і зовнішніх чинників на якість насіння і зернофуражу / Д. А. Дерев'яно // Зб. наук. пр. КНТУ. – 2011. – Вип. 24. – С. 184–187.

16. Дерев'яно Д. А. Вплив травмування і мікроорганізмів на якісні показники зерна і насіння озимої пшениці при збиранні, післязбиральному обробітку та посіві / Д. А. Дерев'яно // Вісн. ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2011. – Вип. 107. – С. 247–250.

17. Дерев'яно Д. А. Поліпшення технології післязбирального дороблення зерна / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 1. – С. 34–35.

18. Дерев'яно Д. А. Поліпшення ефективності післязбиральної обробки зерна та насіння / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 2. – С. 25–26.

19. Дерев'яно Д. А. Вплив травмування і пошкодження мікроорганізмів на якісні показники зерна озимого жита / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 3. – С. 28–32.

20. Дерев'яно Д. А. Залежність якісних показників насіння озимої пшениці / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 4. – С. 16–19.

21. Дерев'яно Д. А. Післязбиральне оброблення зерна і насіння на зерночисному заводі “Petkus” / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 5. – С. 14–17.

22. Дерев'яно Д. А. Дослідження показників якості насінневого матеріалу озимої пшениці під час збирання, післязбирального обробітку і посіву / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 6. – С. 34–36.

23. Дерев'яно Д. А. Вплив технологічного процесу очищення зерна на якість насіння / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 11. – С. 22–25.

24. Дерев'яно Д. А. Вплив технологічних процесів на якість зерна і насіння під час підготовки на вібросепараторі / Д. А. Дерев'яно // ННЦ «ІМЕСГ» міжвід. темат. наук. зб. – 2011. – Вип. 95. – С. 123–134.

25. Дерев'яно Д. А. Вплив травмувань та мікроорганізмів на якість зерна і насіння від збирання до посіву / Д. А. Дерев'яно // Наук. вісник НУБіПУ. – 2011. – Вип. 166. – С. 72–78.

26. Дерев'яно Д. А. Вплив вологості зерна на його травмування і насінневі якості під час обмолоту та післязбирального дороблення зернового вороху озимої пшениці / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 1. – С. 24–26.

27. Дерев'яно Д. А. Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насінневого матеріалу / Д. А. Дерев'яно // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 2. – С. 30–31.

28. Дерев'яно Д. А. Вплив режимів роботи зернового комбайна на травмування, втрати та якість зерна / Д. А. Дерев'яно // ННЦ «ІМЕСГ» : міжвід. темат. наук. зб. – 2013. – Вип. 98, Т. 1. – С. 273–280.

29. Дерев'яно Д. А. Фракціонування зернового вороху, травмування зернівок і якість насіння / Д. А. Дерев'яно, В. І. Оробінський, А. І. Синявська // Луцький нац. техн. ун-т. – 2013. – Вип. 24. – С. 99–108.



30. Дерев'яно Д. А. Вплив сортувальних решіт на травмування та якість насіння озимію пшениці / Д. А. Дерев'яно, О. П. Тарасенко, В. І. Оробінській, А. І. Синявська // *Техніка і технології АПК*. – 2013. – № 10. – С. 27–29.
31. Дерев'яно Д. А. Вдосконалення пневмосепарування в зерноочисній машині та його вплив на травмування і якість насіння / Д. А. Дерев'яно, О. П. Тарасенко, В. І. Оробінський // *ННЦ «ІМЕСГ» : міжвід. темат. наук. зб.* – 2013. – Вип. 97, т. 1. – С. 375–386.
32. Дерев'яно Д. А. Регулювання швидкості руху повітря в аспіраційному каналі, збільшення ширини отворів решіт та їх вплив на травмування та якість насіння / Д. А. Дерев'яно, О. П. Тарасенко, В. І. Оробінський // *Техніка і технології АПК*. – 2013. – № 12. – С. 24–26.
33. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування режимів фракційного розподілення зернового вороху при підготовленні насіння / Д. А. Дерев'яно // *ННЦ «ІМЕСГ» : міжвід. темат. наук. зб.* – 2014. – Вип. 99, т. 1. – С. 57–67.
34. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування ефективності схеми зерноочисних машин для обробки зернового вороху після обмолочування / Д. А. Дерев'яно // *Вісн. аграр. науки*. – 2014. – № 6. – С. 52–57.
35. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування і теоретичні розрахунки руху зернівки у пневмосистемі з кільцевим аспіраційним каналом та дисковим розподільником у вібровідцентровій зерноочисній машині / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2014. – № 5. – С. 29–33.
36. Дерев'яно Д. А. Травмування та якість насіння на різних стадіях технологічних процесів / Д. А. Дерев'яно // *Інженерія природокористування*. – 2014. – № 1. – С. 114–123.
37. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування та теоретичні розрахунки руху зернівок у кільцевому аспіраційному каналі вібровідцентрового сепаратора / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2014. – № 9. – С. 24–27.
38. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування та теоретичні розрахунки деформації і травмування зернівок внаслідок переміщення їх робочими елементами вібросепаратора / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2014. – № 10. – С. 9–13.
39. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування розподілення зернового вороху сортувальними решетами з різною шириною отворів / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2014. – № 11. – С. 27–31.
40. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування та теоретичні розрахунки впливу робочих елементів вібросепаратора на деформацію і травмування насіння / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2014. – № 12. – С. 12–16.
41. Дерев'яно Д. А. Дослідження впливу розміщення і заробляння насіння в ґрунт на його травмування та якість при сівбі / Д. А. Дерев'яно // *Зб. наук. пр. ВНАУ*. – 2014. – Вип. 2(85). – С. 53–60.
42. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування дослідження переміщення насіння і його травмування по розподільчій пластині запропонованої конструкції дискового сошника / Д. А. Дерев'яно, *Зб. наук. пр. ВНАУ*. – 2014. – С. 43–52.
43. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування ефективності схеми зерноочисних машин для обробки зернового вороху після обмолочування / Д. А. Дерев'яно // *Вісн. ЖНАЕУ*. – 2014. – № 2, т. 4. – С. 199–206.
44. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування та теоретичні розрахунки руху зернівок вздовж лопаток похилих секторів вібровідцентрового сепаратора / Д. А. Дерев'яно // *Зб. наук. пр. Укр. НДПІВТ ім. Л. Погорілого*. – 2014. – Вип. 18. – С. 285–293.
45. Дерев'яно Д. А. Дослідження впливу механічних навантажень на травмування насіння барабаними аксіально-роторними обмолочувальними апаратами / Д. А. Дерев'яно // *Зб. наук. пр. КНТУ*. – 2014. – Вип. 27. – С. 168–173.
46. Дерев'яно Д. А. Вплив травмування на міцність насіння зернових культур / Д. А. Дерев'яно // *Зб. наук. пр. КНТУ*. – 2014. – Вип. 44. – С. 7–12.
47. Дерев'яно Д. А. Формалізація деформації і травмування зернівок, поверхню якої

надано еліпсоїдом обертання / Д. А. Дерев'яно // *Наук. вісн. НУБіПУ*. – 2014. – Вип. 196. – С. 217–225.

48. Дерев'яно Д. А. Вплив надходження хлібної маси в молотильний апарат під час обмолочування на травмування насіння / Д. А. Дерев'яно // *Вісник аграрної науки*. – 2014. – № 8. – С. 53–56.

49. Дерев'яно Д. А. Формалізація деформації і травмування зернівки, поверхні якої надано еліпсоїдом обертання / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2015. – № 1. – С. 18–22.

50. Дерев'яно Д. А. Обґрунтування розподілення зернового вороху сортувальними решетами із різною шириною отворів / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2015. – № 2. – С. 18–22.

51. Дерев'яно Д. А. Вплив робочих елементів скребкового транспортера на травмування та якість насіння зернових культур / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2015. – № 7. – С. 16–19.

52. Дерев'яно Д. А. Вплив стрічкового транспортера на травмування та якість насіння зернових культур / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2015. – № 8. – С. 11–14.

53. Дерев'яно Д. А. Вплив робочих елементів ковшового транспортера на травмування та якість насіння зернових культур / Д. А. Дерев'яно, О. Д. Дерев'яно // *Всеукраїнський науково-технічний журнал ВНАУ*. – 2015. – № 3 (92). – С. 73–77.

54. Дерев'яно Д. А. Вплив робочих елементів шнекового транспортера на травмування та якість насіння зернових культур / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2015. – № 9. – С. 11–18.

55. Дерев'яно Д. А. Дослідження ударної взаємодії травмування насіння поверхнею циліндричного решета вібросепаратора після його сходження з диска розподільника / Д. А. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2015. – № 6. – С. 9–12.

56. Дерев'яно Д. А. Исследование влияния перемещения семян на их травмирование и качества по распределительной пластине модернизированной конструкции дискового сошника / Д. А. Дерев'яно // *ННЦ «ІМЕСГ»: загальнодержавний зб.* – 2015. – Вип. №1(100). – С. 99–110.

57. Дерев'яно Д. А. Дослідження процесу травмування насіння при його русі по поверхні циліндричного решета вібровідцентрового сепаратора / Д. А. Дерев'яно // *Всеукраїнський науково-технічний журнал ВНАУ*. – 2015. – № 2 (90). – С. 14–18.

58. Дерев'яно Д. А. Дослідження процесу травмування насіння при його русі по поверхні циліндричного решета вібровідцентрового сепаратора / Д. А. Дерев'яно // *Всеукраїнський науково-технічний журнал ВНАУ*. – 2015. – № 1(91). – С. 32–38.

59. Дерев'яно Д. А. Вплив технічних засобів на травмування і якість насіння під час підсушування / Д. А. Дерев'яно, О. Д. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2016. – № 7. – С. 23–26.

60. Дерев'яно Д. А. Дослідження травмування насіння робочими елементами протруювача при проходженні технологічного процесу / Д. А. Дерев'яно // *Зб. наук. пр. КНТУ*. – 2016. – Вип. 29. – С. 18–24.

61. Дерев'яно Д. А. Вплив компонентів зернового вороху на травмування і якість насіння / Д. А. Дерев'яно, О. Д. Дерев'яно // *Техніка і технології АПК*. – 2016. – № 6. – С. 17–20.

62. Дерев'яно Д. А. Вплив віброприспособування на рух насіння по поверхні циліндричного решета та його травмування / Д. А. Дерев'яно, О. Д. Дерев'яно // *Вісник ЖНАЕУ*. – 2016. № 1 (53), Т.3. – С. 257–262.

63. Дерев'яно Д. А. Травмування зернівок та режими підсушування при підготовленні насіння / Д. А. Дерев'яно, О. М. Сукманюк, О. Д. Дерев'яно // *Подільський вісник : сільське господарство, техніка, економіка*. – 2017. Вип. 27. – С. 121–129.

### Публікації в іноземних наукових фахових виданнях

64. Дерев'яно Д. А. Влияние травмирования и микроорганизмов на качество семян озимой пшеницы при уборке, послеуборочной обработке и посеве / Д. А. Дерев'яно // Вестн. Воронежского гос. аграр. ун-та. – 2011. – Вып. 2. – С. 53–55.

65. Дерев'яно Д. А. Качественные показатели зерна и семян озимой ржи и влияние на них травмирования и микроорганизмов / Д. А. Дерев'яно // Вестн. Воронежского гос. аграр. ун-та. – 2011. – Вып. 3. – С. 39–41.

66. Дерев'яно Д. А. Улучшение посевных качеств семян пшеницы при послеуборочной обработке / Д. А. Дерев'яно // Междунар. сельскохозяйственный журн. – 2011. – Вып. 3. – С. 59–60.

67. Дерев'яно Д. А. Влияние травмирования зерна на качество семенного материала / Д. А. Дерев'яно // Междунар. сельскохозяйственный журнал. – 2011. – Вып. 5. – С. 50–51.

68. Дерев'яно Д. А. Влияние послеуборочной обработки на качество зерна и семян пшеницы / Д. А. Дерев'яно // Междунар. сельскохозяйственный журнал. – 2011. – Вып. 4. – С. 58–59.

69. Дерев'яно Д. А. Определение оптимальной влажности зерна при обмолоте и послеуборочной подготовке семян / Д. А. Дерев'яно // Международный с.-х. журн. – 2011. – Вып. 6. – С. 41–42.

70. Дерев'яно Д. А. Исследование повреждений зерна и семян озимой ржи / Д. А. Дерев'яно // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – Вып. 7. – С. 30–31.

71. Дерев'яно Д. А. Изменение качества семян зерновых на различных технологических стадиях / Д. А. Дерев'яно // С.-ХМИ. – Технологии. – 2012. – № 2. – С. 41–43.

72. Дерев'яно Д. А. Качество семян озимой пшеницы в зависимости от технологий их подготовки на зерноочистительных заводах / Д. А. Дерев'яно. Агро XXI, М., № 1 – 3. – 2012. – С. 39–41.

73. D. Derevjanko. The modeling of the seed injury dynamics / D. Derevjanko, E. Sukmaniuk, S. Chychylyuk, R. Grudovyi, O. Derevjanko. // Massachusetts Review of Science and Technologies, "MIT Press", 2016, № 1 (13). – P. 743–749.

74. D. Derevjanko. Caryopsides injury and drying modes while seed preparing / D. Derevjanko, E. Sukmaniuk, O. Derevjanko. // "History, Problems and Prospects of Development of Modern Civilization" The XVIII International Academic Congress (Japan, Tokyo, 25-27 January 2017) "Tokyo University Press" 2017. – P. 108–113.

75. D. Derevjanko Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation / D. Derevjanko, E. Sukmaniuk, O. Derevjanko // INMATEH - Agricultural Engineering journal. – 2017. – Vol. 53, No.2. – PP. 89–94.

### Тези наукових доповідей

76. Дерев'яно Д. А. Вплив травмування і розподілення зернової маси при збиранні та післязбиральній підготовці на якість насіння / Д. А. Дерев'яно // Матеріали XXII Міжнародної науково-технічної конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» та IX Всеукраїнської конференції семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії 21–23 травня 2014 року. ННЦ «ІМЕСГ». – 2014. – С. 71–73.

77. Дерев'яно Д. А. Вплив механічних навантажень на травмування насіння / Д. А. Дерев'яно, О. М. Сукманюк, О. Д. Дерев'яно // Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник наукових праць XVIII Міжнародної наукової конференції (16–18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль: Крок, 2017, – С. 77–79.

### Патенти України на винахід

78. Патент 96249 МПК А01С7/20 (2006.01). Сошник дводисковий широкорядний. Патент України МПК А01 С 7/20 (2006.01). Д. А. Дерев'яно, І. Г. Грабар, А. І. Синявська – № 96249; заявл. 31.01.2011 р.; Опубл. 10.10.2011 р.; Бюл. № 19.

79. Пат. НА 100320 С2 МПК (2012.01) В07В9/00. Відцентровий пневмосепаруючий пристрій зерносепаратора. Пат. України КМ МПК (2012. 01) В07В9/00. Д. А. Дерев'яно – № 100320; завл. 14.06.2011 р.; опубл. 26.12.2012 р.; Бюл. № 23.

80. Пат. UA 100794 С2 МПК (2013.01) В07В 9/00. Відцентровий розкидний пневмосепаруючий пристрій зерносепаратора. Пат. України. МПК (2013. 01) В07В9/00. Д. А. Дерев'яно – № 100794; заявл. 18.07.2011 р.; опубл. 25.01.2013 р.; Бюл. № 2.

81. Пат. UA 105313 МПК (2014.01) В07В1/22 (2006.01) В07В9/00. Сепаратор вібровідцентровий. Пат. України МПК (2014. 01) В07В 1/22(2006.01) В07В9/00. Д. А. Дерев'яно – № 105313; заявл. 12.03.2013 р.; опубл. 25.04.2014 р.; Бюл. № 8.

#### **Патенти України на корисну модель**

82. Пат. КМ. 66213 МПК (2011.01) В 07 В 9/00. Сепаратор вібровідцентровий Пат. України на КМ МПК (2011. 01) В07 В 9/00. Д. А. Дерев'яно, І. Г. Грабар, А. І. Синявська – № 66213; заявл. 14.06.2011 р.; Опубл. 26.12.2011 р.; Бюл. № 24.

83. Пат. КМ. 66218 МПК (2011. 01) В 07 В 9/00. Сепаратор вібровідцентровий, Пат. України на КМ МПК (2011. 01) В07 В 9/00. Д. А. Дерев'яно, І. Г. Грабар, А. І. Синявська – № 66218; заявл. 14.06.2011 р.; опубл. 26.12.2011 р.; Бюл. № 24.

#### **Анотація**

**Дерев'яно Д. А. Механіко-технологічне обґрунтування процесів зниження травмування насіння зернових культур технічними засобами.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Наукова робота присвячена важливій науково-практичній проблемі підвищення ефективності механізованих процесів на всіх стадіях підготовки насіння і сівби зернових культур та їх впливу на зниження травмування зернівок і підвищення їх якості для збільшення урожайності та валового виробництва зерна.

Шляхом розроблення теорії та аналізу математичних моделей визначено вплив робочих органів зернозбиральних молотильних агрегатів, насіннеочисних машин, протруювачів, транспортувальних і авантажувальних технічних засобів та зернової сівалки на збирання, очищення, фракційне розподілення, деформування і, особливо, травмування зернівок у цьому взаємозв'язку та рівномірне розміщення насіння у ґрунті у разі сівби не в рядку, а у стрічці.

Обґрунтовано, розроблено і створено конструкційно-технологічні пристрої робочих органів технічних засобів, які рекомендовано, або впроваджено у виробництво, що підтверджується патентами на винаходи та відповідними актами.

Проведено експериментальні дослідження травмування насіння і показників якості на всіх стадіях технологічних процесів його підготовки та сівби технічними засобами у різних ґрунтово-кліматичних зонах Лісостепу і Полісся України.

За результатами досліджень визначено шляхи підвищення ефективності та продуктивності технічних засобів, зниження травмування і підвищення якості насіння встановлено перспективи вдосконалення технологій і технічних засобів підготовки високоякісного насіння для збільшення урожайності та валового виробництва зернових культур.

Враховуючи велику площу посіву зернових у нашій країні, що становить більше 10 млн га, а значить значні обсяги підготовлюваного високоякісного насіння для засівання цих площ, річний економічний ефект від запропонованих заходів та експлуатації

розроблених конструкцій робочих органів технічних засобів може становити сотні мільйонів гривень, адже тільки сезонна ефективність підготовки насіння однією насіннеочисною машиною становила близько 2 млн гривень.

**Ключові слова:** технічні засоби, технологічні процеси, травмування, зернівка, деформування, якість насіння, зернові культури.

### Аннотація

**Деревянко Д. А. Механико-технологическое обоснование процессов снижения травмирования семян зерновых культур техническими средствами.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя.

Научная работа посвящена важной научно-практической проблеме повышения эффективности механизированных процессов на всех стадиях подготовки семян и посева зерновых культур и их влияния на снижение травмирования зерновок и повышение их качества для увеличения урожайности и валового производства зерна.

Путем разработки и анализа математических моделей определено влияние рабочих органов зерноуборочных молотильных агрегатов, семяочистительных машин, програвливателей, транспортировочных и загрузочных технических средств, а также зерновой сеялки на очистку, фракционное распределение, деформацию и, особенно, травмирование зерновок в этой взаимосвязи и равномерное размещение семян в почве при посеве не в рядке, а в полосе.

Обоснованы, разработаны и созданы конструкционно-технологические приспособления рабочих органов технических средств, которые рекомендованы или внедрены в производство, что подтверждается патентами на изобретения и соответствующими актами.

Проведены экспериментальные исследования травмирования семян и показателей качества на всех стадиях технологических процессов их подготовки и посева техническими средствами в различных почвенно-климатических зонах Лесостепи и Полесья Украины.

На основании результатов исследований определены пути повышения эффективности и продуктивности технических средств, снижения травмирования и повышения качества семян предоставлены перспективы совершенствования технологий и технических средств подготовки высококачественных семян для увеличения урожайности и валового производства зерновых культур.

Учитывая большую площадь посева зерновых в нашей стране, которая составляет более 10 млн гектаров, а соответственно потребность большого количества подготовки высококачественных семян для засева этих площадей, годовой экономической эффект от предложенных мероприятий и эксплуатации разработанных конструкций рабочих органов технических средств может составлять сотни миллионов гривен, если только учесть, что сезонная эффективность подготовки семян одной семяочистительной машиной составила около 2 млн гривен.

**Ключевые слова:** технические средства, технологические процессы, травмы, зерновка, деформация, качество семян, зерновые культуры.

### Annotation

**Derevianko D. The mechanic and technological substantiation of the processes of the seed damaging decreasing by means of engineering tools.** – The Manuscript. Thesis on the competition the scientific degree of the doctor of technical sciences on speciality 05.05.11 – Machines and Devices for Mechanisation of Agricultural Production – Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj.

The scientific research solves the scientific and practical problems concerning the improvement in the mechanical processes efficiency at all stages of seed preparation and grain crop sowing, as well as their effects on reducing the weevils damaging and on upgrading their quality for grain yields and growth output increasing.

The constructive and technological developments of the working organs of the technical facilities which have been recommended or introduced into the production, have been substantiated, developed and designed. It has been proved by the patents on the inventions and by the corresponding acts.

The experimental research of seed damaging and seed quality at all stages of the technological processes of seed preparation and sowing by means of technical facilities in various soil and climatic zones of Forest Steppe and Ukraine's Polissia has been conducted.

The research has determined the ways of increasing the technical facilities efficiency and productivity, decreasing seed damaging and upgrading its quality, as well as has given the perspectives for updating the technologies and technological facilities for preparing high quality seeds and for increasing yield as well as grain crops gross output.

Paying attention to a large area of grain crops sowing in our country, which totals to 10 mln. ha, that requires a considerable volume of high-quality seeds for sowing on this area, an annual economic effect from the offered measures and exploitation of the technical facilities may equal hundreds of millions hryvnas, hence only seasonal efficiency from seed preparation by one seed refiner may equal approximately 2 mln. hr.

**Key words:** technical facilities, technological processes, damaging, weevil, deformation, seed quality, grain crops.

Підписано до друку 10.05.2018 р.  
Формат 60×84/16. Умов. друк. арк. 1,9  
Наклад 100 примірників. Зам. № 471

Свідоцтво про державну реєстрацію  
ДК № 3402 від 23.02.2009 р.  
Житомирський національний агроекологічний університет, 2018  
10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7