

*применяемого оборудования. В результате аналитических исследований установлено рациональные технологические параметры процесса сушки цикория корневого и конструкционные параметры сушилки, при которых обеспечиваются определенные технологические параметры.*

***Конструкционные параметры, сушка, технологические параметры, цикорий корневой, качественные показатели материала.***

*The author highlights the technology of drying root chicory with aim of ensuring the maximum conservation of its qualitative indices under minimal specific power consumption of equipment applied. The result of the analytical research conducted make it possible to determine rational technological parameters of root chicory drying process and construction parameters of drier under which specified technological parameters of drying process are provided.*

***Construction parameters, drying, technological parameters, root chicory, qualitative indices of material.***

УДК 631.354:633.1

## **ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДЕФОРМАЦІЇ І ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНІВКИ, ПОВЕРХНЮ ЯКОЇ НАДАНО ЕЛІПСОЇДОМ ОБЕРТАННЯ**

***Д.А. Дерев'янка, кандидат сільськогосподарських наук  
Житомирський національний агроекологічний університет***

*Наведено теоретичні розрахунки впливу різних факторів на деформацію і травмування насіння під час переміщення в насіннеочисних машинах.*

***Зернівка, деформація, травмування, еліпсоїд, диференціальні рівняння.***

**Постановка проблеми.** Отримання високоякісного насіння з мінімальною кількістю травм та пошкоджень тісно пов'язане з науковим вивченням процесів, що відбуваються під час сепарування зернової суміші. А використовувані нині сортувальні та насіннеочисні машини за своїми виробничо-технічними характеристиками не завжди відповідають вимогам часу.

© Д.А. Дерев'янка, 2014

У зв'язку з складністю процесів сепарування їх наукові дослідження проводять також з використанням різних математичних та фізичних методів. Поряд із застосуванням диференціальних рівнянь будуємо динамічні моделі, стохастичні диференціальні рівняння, рівняння руху сипких матеріалів, що складаються з твердих частинок, а для описання процесу сегрегації та розподілення зернової суміші на фракції розглядають динаміку подвійного сипкого середовища.

Сучасні технології підготовки високоякісного насіння повинні відповідати специфічним вимогам щодо можливості виділення важко відокремлювального насіння бур'янів або інших культурних рослин із зернового вороху та мінімізації втрат, травмувань і пошкоджень, відокремлення високопродуктивного насіння та максимального його вирівнювання за багатьма ознаками. Загальновідомо, що не зовсім легко відбирається насіння овесу і ячменю з насіння пшениці, овесу і пшениці – з жита; частинок редьки дикої і пшениці – з гречки, насіння щавлю і бобових трав тощо.

Важко відокремлюваним насінням бур'янів і культурних рослин є таке, розміри і швидкості кружляння-обертання й витання якого співпадають або несуттєво відрізняються від швидкості кружляння-обертання й витання насіння основної культури.

Для дослідження ефективності фракційного розподілення зернового вороху і підготовки при цьому високоякісного насіння в процесі сепарування необхідні певні знання про особливості насіння як об'єкта сепарування.

Структурно-механічні властивості зернівки характеризують здатність протидіяти деформації та травмуванню в поєднанні із здатністю пружно та пластично деформуватися під впливом зовнішніх механічних навантажень, а залежно від їх характеру і величини дії на зернівку її лінійні розміри та форми змінюються, тобто виникають деформації.

Подолання пружної та пластичної деформації в зернівці під впливом зовнішніх сил призводить до її травмування та навіть повного пошкодження – руйнування, яке виникає з повною силою, що перевищує певну межу, яка називається межею міцності.

Здатність зернівки чинити опір механічному руйнуванню і буде тією міцністю, яка є результатом впливу сил зчеплення молекул, що є складовим зернівки. Одночасно травмуванню-руйнуванню перешкоджають внутрішні сили та структурний каркас зернівки, а через порушення зв'язків між молекулами настає деформація, травмування і порушується міцність зернівки, що сприяє її руйнуванню.

Впливаючи на мінімізацію негативного впливу деформації, травмування та руйнування зернівки, буде забезпечене максимальне досягнення її якісних показників, що безумовно впливає на зростання її продуктивних характеристик, тобто якісної урожайності.

**Аналіз останніх досліджень.** Результати досліджень показують, що якісні показники зерна та насіння значною мірою залежать від особливостей сорту, на які безумовно впливають ґрунтові та природно-кліматичні умови вирощування.

Ці фактори безперечно мають великий вплив на показники міцності зернівки, головними серед яких будуть температурний, водний і поживний режими, попередники, кількість та якість застосовуваних поживних речовин, систем захисту від бур'янів, шкідників та хвороб, технології вирощування, збирання, оброблення та інше.

Дослідження свідчать, що зусилля  $P$  та деформації  $\Delta L$  травмування й руйнування зернівок при отриманні механічних навантажень на різних стадіях технологічних процесів у різних сортів озимої пшениці, жита та інших зернових культур також різні.

При вплив попередників на руйнування зернівок звернули увагу такі дослідники, як Е.І. Лінкович, К.Е. Толікадзе, А.В. Погребняк [8].

Відомо, що під час випадання опадів зернівки інтенсивно, особливо після жаркої погоди, поглинають вологу, внаслідок чого, як показують дослідження Г.А. Егорова [8] оболонка, зародок і ендосперм наповнюються водою, що призводить до підвищення внутрішньої напруги, а висихання, впливає на руйнівні процеси.

Вологість зернівки і температурний режим є одними із важливих факторів впливу на міцність зернівки, а значить на їх деформацію, травмування, руйнування.

Академік П.А. Ребендер [8] встановив, що рідина і наявні в ній біологічно-активні речовини просочуються в найтонші тріщини, внаслідок чого стінки тканин не можуть змикатися після зняття навантажень у зв'язку із наявністю прошарку тоненької плівки адсорбційного шару, який буде перешкоджати цьому.

Травмування зернівок, а потім їх руйнування відбувається коли максимальне напруження  $\sigma$  менше від напруження, яке виникло внаслідок дії механічних або інших впливів  $\sigma_1$ . У зв'язку з цим, щоб таке пошкодження відбулася необхідна умова  $\sigma \leq \sigma_1$ .

У зв'язку із справедливістю положень лінійної механіки розвиток тріщин у довжину необхідно розвивати в напрямку збільшення в кожному сторону на половину довжини пластичної зони -  $r_y = K_c^2 / 2\pi\sigma_{0.2}^2$ , де  $\sigma_{0.2}^2$  – умовна межа міцності, а  $K_c$  – граничний коефіцієнт інтенсивності напружень.

В результаті такого фіктивного збільшення довжини тріщини  $L+r_y$  елементи пружного і пружнопластичного рішення співпадають в області пружності.

Використавши граничні коефіцієнти інтенсивності напружень згідно довжини пошкоджень відповідно до теорії пружності отримаємо синтез умов міцності, тобто при  $L=0$  матимемо  $\sigma_1 = \sigma_B$ , таким чином при збільшенні  $L$ ,  $\sigma_1$  зменшуватиметься.

Якщо відстань між тріщинами становить більше  $0,5(L_1+L_2)$ , то тріщини незалежні одна від іншої і таким чином інтенсивність травмування та руйнування значно поширюється.

Відомо, що щільність зернівок залежить від дозрівання, тобто чим вони дозрілі, тим вона вища. В такому стані, якщо відокремлювати зернівки малої щільності, створюється можливість підвищити біологічну цінність насіннєвого матеріалу.

Ще на початку минулого століття дослідник W.E. Brencly [8] встановив, що головним показником біологічної повноцінності насіння є його індивідуальна маса, яка в абсолютних цифрах відображає запас поживних речовин.

Дослідженнями М.А. Абрамсона і Г.З. Зусмановича [8] на основі урожайних особливостей, характеристик по розмірах та особистої маси зернівок встановлено, що при виділені насіння фракції в якості головного признаку необхідно використовувати їх товщину.

Роботи Б.М. Черемхи говорять про те, що найкращі посівні якості та урожайні властивості має насіння, у якого оптимальні співвідношення лінійних розмірів зернівок в межах 1:0, 3:2, в цьому випадку прибавка урожаю порівняно з контролем в середньому за три роки становить 6,3 – 7,3 ц/га.

Результати досліджень фракціонування зернового вороху при використанні сортувальних решіт різних зернових машин показують їх вплив на травмування, розподілення та якість насіння, що відзначається у роботах А.П. Тарасенка, Б.І. Котова, В.І. Оробінського, М.Е. Мерчалової, В.В. Кузнєцова, Л.В. Фадєєва та інших [5, 6].

У створенні фундаменту наукових основ теорії взаємовпливу робочих поверхонь механізмів, зернових сумішей, та віброрешітного сепарування і фракціонування з метою пошуку оптимальних параметрів ощадливих режимів їх роботи висвітлено у працях П.В. Василенка, П.М. Заїки, В.П. Горячкіна, А.Н. Пугачова, О.П. Тарасенка, Л.М. Тіщенко, В.В. Кузнєцова та інших [1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 12].

Дослідження І.Г. Строни, О.П. Тарасенка, В.М. Дрінча, П.М. Пугачова, С.А. Чазова, В.І. Оробінського [4, 9] та інших свідчать, що травмування зернівок залежить від комплексу фізико-

механічних і біологічних властивостей насіння, а також від підбирання і кількості обладнання на якому проходить його підготовлення, при цьому необхідно зазначити, що кількість травмованих зернівок у насіннєвому матеріалі може сягати у деяких випадках 60–90% і навіть більше.

Дослідження Горшинського В.В., Знолін А.Н., Целіновського В.М. [9] та інших також показують потребу застосування фракційних технологій шляхом відокремлення із загальної маси зернового вороху частини високоякісного насіння при використанні високопродуктивних сепараторів та доведення його до високих посівних кондицій на інших машинах меншої продуктивності, що дало б можливість значно знизити травмування насіння.

Таким чином, проведений аналіз впливу деформації на травмування і руйнування зернівок та використання технологій обробітку вороху фракційним підготовленням високоякісного насіння показує, що головними факторами утворення систем і їх розвитку є глибоке і всебічне вивчення фізико-механічних та біологічних особливостей насіння та розроблення нових способів та модернізацію робочих елементів, що забезпечуватимуть мінімальну кількість травмування зернівок і максимальне отримання біологічно цінного високоякісного насіння.

**Мета досліджень** – виявити вплив травмування зернівок під час збирання та післязбиральної обробки зернового вороху і підготовлення насіння на якісні його показники, дослідити ефективність післязбиральної підготовки високоякісного насіння озимої пшениці та жита на різних стадіях технологічних процесів, у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Запропонувати шляхи зниження травмування насіння і пошкодження його мікроорганізмами як одного з головних резервів підвищення урожайності зернових культур.

**Методи досліджень.** Дослідження та теоретичні обґрунтування виконували методом математичного моделювання роботи машин і технологічних процесів. Поряд з цим використовувалися розрахункові диференціальні рівняння, перетворення та графічні визначення на основі використання законів механіки.

Експериментальні, лабораторні та виробничі дослідження виконувалися у виробничих умовах, державних лабораторіях, насіннєвих станціях, заготівельному комбінаті та учбових закладах із використанням натурних зразків, технічних засобів, приладів та знарядь згідно існуючих державних стандартних методів.

**Результати досліджень.** Для аналітичного дослідження переміщення зернівки її поверхню аналітично опишемо рівнянням еліпсоїда обертання:

$$\frac{\xi^2 + \eta^2}{h^2} + \frac{\zeta^2}{R^2} = 1, \quad (1)$$

де  $R, h; \xi, \eta, \zeta$  – відповідно радіус та висота еліпсоїдної частини зернівки, координати її поверхні.

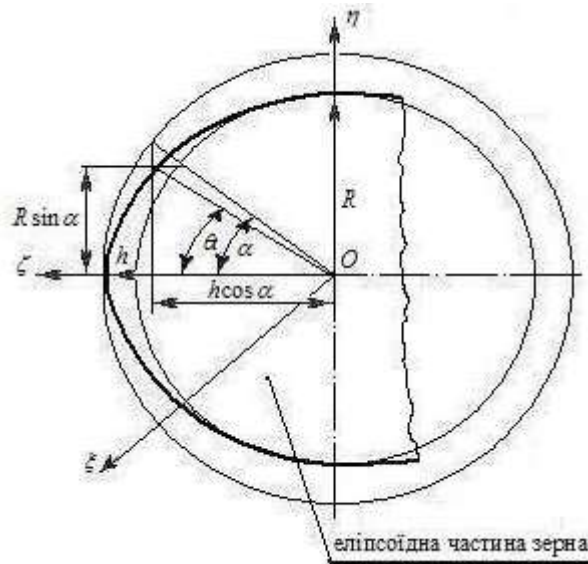


Рис. 1. Схема еліпсоїдної частини зернівки:  $R, h$  – радіус та товщина зерна.

За схемою (рис. 1) рівняння (1) представимо у параметричному вигляді:

$$\begin{aligned} \zeta &= h \cos \alpha; \\ \xi &= \eta = R \sin \alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\alpha$  і  $\theta$  – параметри еліпсоїда обертання.

Оскільки параметри  $\alpha$  і  $\theta$  знаходяться в співвідношенні:

$$\frac{R}{h} = \frac{\operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \alpha} \quad (3)$$

то звівши рівняння (3) до квадрату маємо:

$$\frac{R^2}{h^2} = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha}{\operatorname{ctg}^2 \theta}. \quad (4)$$

Оскільки  $\operatorname{ctg} \theta = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$ ;  $\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$ , то рівняння (4) набуває вигляду:

$$\frac{R^2}{h^2} = \frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} \left( \frac{\cos^2 \alpha}{1 - \cos^2 \alpha} \right)^{-1} \quad (5)$$

Провівши певні перетворення, запишемо:

$$\frac{R^2 \cos^2 \alpha}{1 - \cos^2 \alpha} = h^2 \frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta}. \quad (6)$$

Остаточний розрахунок матиме вигляд:

$$\cos \alpha = \frac{h \cos \theta}{\sqrt{R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta}}. \quad (7)$$

Аналогічно знаходимо вираз для  $\sin \alpha$ :

$$\sin \alpha = \frac{R \sin \theta}{\sqrt{R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta}}. \quad (8)$$

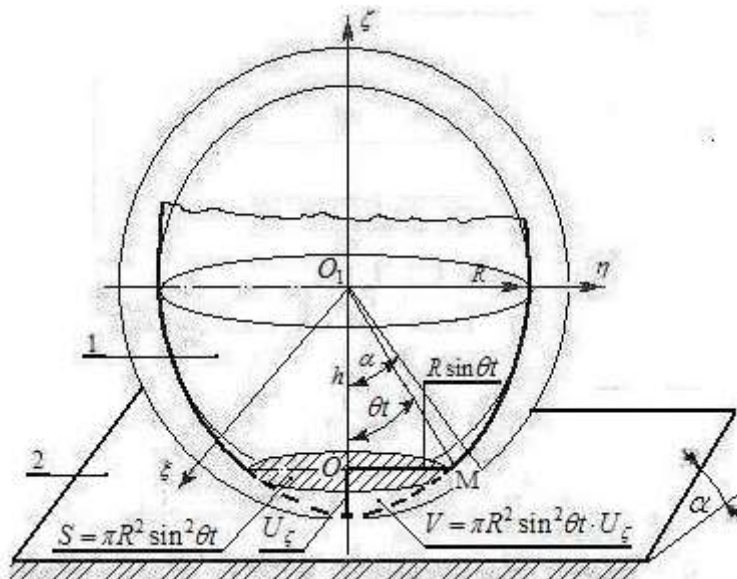


Рис. 2. Схема переміщень елементарного об'єму зернівки у площинах системи координат  $O\xi\eta\zeta$ .

Тоді рівняння площі кола деформації зернівки (рис. 2) набуває вигляду:

$$S = \pi R^4 \frac{\sin^2 \theta}{R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta}, \quad (9)$$

де  $\pi = 3,14$  – відношення довжини кола деформації до його діаметру.

Використавши окремі рівняння та схему (рис. 2), об'єм зернівки, що деформується за напрямком осі  $O_1\zeta$ , формалізуємо співвідношенням:

$$V = \pi R^4 \frac{\sin^2 \theta U}{R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta}, \quad (10)$$

де  $V$  – об'єм зернівки, що деформується під дією земного тяжіння,  $m^3$ ,  $U$  – компонента деформації об'єму зернівки,  $m$ .

Після перетворень і спрощень швидкість деформації зернівки визначимо по формулі:

$$\dot{V} = \pi R^4 \frac{2\dot{\theta} \sin \theta \cos \theta [(R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta) - \sin^2 \theta (R^2 - h^2)] U + \sin^2 \theta (R^2 \times \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta) \dot{U}}{(R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta)^2}. \quad (11)$$

В результаті перетворень отримуємо:

$$\ddot{\theta} = (-D_2 - D_3 - \dot{U} D_4 + g) / D_1; \quad (12)$$

$$\ddot{U} = (-\dot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 + g) / D_4. \quad (13)$$

Для виключення вторинної похідної деформації  $\ddot{U}$  із рівнянь створимо рівняння геометричного зв'язку. Для цього деформацію об'єму зернівок за зовнішньою дією робочого елемента машини виразимо через радіус  $R$  зернівки та кут  $\theta$  деформації (рис. 2).

Після перетворень отримуємо:

$$\ddot{\theta} = [D_2 / D_1 - D_3 / D_1 - D_6 D_4 / D_1 + g / D_1] / (1 + D_5 D_4 / D_1); \quad (14)$$

$$\ddot{U} = (-\dot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 + g) / D_4. \quad (15)$$

Пружні та в'язкі властивості насіння, представлені першими та другими компонентами систем рівнянь (12, 13) та (14, 15), є змінними, що суттєво впливає на характер деформування-травмування зернівок. Для теоретичної зміни пружних та в'язких властивостей насіння необхідно надавати початкові значення параметру  $\dot{\theta}$  розмірністю  $c^{-1}$ , який у рівняннях відображає параметр розсіювання зовнішньої дії.

### Висновки

За результатами вищенаведеного аналізу обґрунтування та досліджень можна зробити такі висновки:

- компоненти швидкості нормальної і тангенціальної деформації та травмування насіння виражаються через компоненти швидкості переміщення точки дотику поверхні зернівок;

- сутність кінематичного зв'язку полягає в тому, що при взаємодії зернівок, робочого елемента машини та земного тяжіння, наданого системою рівнянь (10), компоненти їх швидкостей, а також прискорень, аналітично зрівнюються; при цьому зернівки деформуються і травмуються в залежності від співвідношення пружної та в'язкої частини та переміщуються за напрямком дії робочого елемента машини;

- деформація зернівок відбувається за моделлю пружно-в'язкого тіла Фойгта, аналітично модифікованого компонентами прискорень деформації радіального, тангенціального та коріолісового характеру;

- оскільки зернівки різноманітних сільськогосподарських культур різняться за конфігураціями, то компоненти прискорення руху для кожного конкретного випадку модифікуються.



## Список літератури

1. *Василенко П.М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельськохозяйственных машин / *П.М. Василенко*. – К.: УСХА, 1960. – 284 с.
2. *Безухов Н.И.* Основы теории упругости, пластичности и ползучести : учеб. пособие для втузов / *Н.И. Безухов*. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
3. *Беляев Н.М.* Сопротивление материалов / *Н.М. Беляев*. – М.: Наука, 1976. – 608 с.
4. *Дринча В.М.* Исследования сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки / *В.М. Дринча*. – Ворониж, 2006. – 382 с.
5. *Котов Б.І.* Тенденції розвитку конструкції машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів / *Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко* / КВЕСГ машин. – Кіровоград: КДТУ. – 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.
6. *Котов Б.І.* Теоретичне обґрунтування руху частинки зерна на вібропневморешеті при дії розпушующих робочих органів / *Б.І. Котов, С.П. Степаненко, Р.А. Калініченко* // Науковий вісник НАУ. – К., 2007. – Вип. 115. – С. 112–117.
7. *Присяжнюк М.В.* Теорія вібраційних машин сільськогосподарського виробництва / [*М.В. Присяжнюк, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, О.М. Черниш, В.В. Яременко*]. – К.: Аграрна наука, 2013. – 439 с.
8. *Ишлинский А.Ю.* Пространственное деформирование не впоене упругих и вязко-пластических тел / *А.Ю. Ишлинский* // Известия АН СССР. От. техн. наук. – 1945. – №3. – С. 250–260.
9. *Тарасенко А.П.* Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / *А.П. Тарасенко*. – Ворониж, 2003. – 331 с.
10. *Тищенко Л.Н.* Виброрешетная сепарация смесей / *Л.Н.Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский*. – Х.: Міськдрук, 2011. – 280 с.
11. *Тимошенко С.П.* Курс теории упругости / *С.П. Тимошенко*. – К.: Наукова думка, 1972. – 501 с.
12. *Uhe J.* *Pneumatik separation of grain and straw mixtures* / *J.B. Uhe, B.J. Lamp*. Transaction of the ASAE. – 1966. – Vol. 9. – P. 244–246.

*В статье исследуется возникновение деформации и травмирования зерновки описанием ее поверхности уравнением эллипсоида обращения.*

***Зерновка, деформация, травмирование, эллипсоид, дифференциальное уравнение.***

*The substantiation and theoretical calculations of effects of different factors on seed deformation and damage in process of movement are given in paper.*

***Weavil, deformation, damage, ellipsoid, differential equation.***