

Обґрунтування та теоретичні розрахунки впливу робочих елементів вібросепаратора на деформацію і травмування насіння

У статті наведено результати досліджень деформації і травмування зернівки під дією робочих елементів машини та земного тяжіння. Застосовуються диференціювання системи рівнянь та відповідні координати поверхні та компоненти деформації, поступальної швидкості, кутової і швидкості зовнішніх чинників.

Ключові слова: зернівка, деформація, травмування, диференціювання, рівняння.

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

У зв'язку зі складністю процесів сепарування наукові дослідження проводять також за допомогою 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 нелінійного характеру, 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 можливості виділення важковідокремлювального насіння, бур'янів або інших культурних рослин із зернового вороху з мінімізацією втрат, травмувань та пошкоджень відокремленого високопродуктивного насіння за максимального їх 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 кінського – з бобових трав та ін.

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

Для дослідження ефективності фракційного розподілення зернового вороху і підготовки при цьому високоякісного насіння в процесі сепарування у великій мірі залежить від глибини та кількості знань про особливості зернівки як об'єкта сепарування.

Структурно-механічні властивості зернівки характеризують здатність протидіяти деформуванню 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 його

травмування та навіть повного пошкодження – руйнування, яке виникає у разі появи сили, що перевищує певну межу, яка називається межею міцності.

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

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

Аналіз останніх досліджень. Дослідження показують, що якісні показники зерна та насіння залежать у значній мірі від особливостей сорту, на які впливають ґрунтові та природно-кліматичні умови вирощування.

Ці фактори, безперечно, мають великий вплив на показники міцності зернівки, головні з них – 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 ΔL 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.

Про вплив попередників на руйнування зернівок звернули увагу такі дослідники, як Е. Лінкович, К. Толікадзе, А. Погребняк.

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

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

Академік П. Ребендер встановив, що рідина і наявні в ній біологічно-активні речовини просочуються в найтонші тріщини, внаслідок чого стінки тканин не можуть змикатися після зняття навантажень внаслідок

наявності прошарку у вигляді тоненької плівки з адсорбційного шару, який буде перешкоджати цьому.

Дослідник Б. Дерягін запропонував гіпотезу про розмелювання дії органічних речовин та підтвердив її експериментально.

Травмування зернівок, а потім їх руйнування відбувається, коли максимальне напруження σ менше від напруження, яке виникло внаслідок дії механічних або інших впливів σ_2 . У зв'язку з цим, щоб таке пошкодження відбулося, необхідна умова $\sigma \leq \sigma_1$.

У зв'язку із справедливістю положень лінійної механіки розвиток тріщин у довжину необхідно розвивати в напрямку збільшення в кожну сторону на половину довжини пластичної зони $-r_y = K_{\sigma}^2 / 2\sigma_{02}^2$, де σ_{02}^2 – умовна межа плинності.

В результаті такого фіктивного збільшення довжини тріщини $1+r_y$ елементи пружного і пружнопластичного рішення співпадають в галузі пружності.

Використавши граничні коефіцієнти інтенсивності напружень згідно з довжиною пошкоджень, відповідно до першої теорії отримуємо синтез умов міцності, тобто при $L=0$ матимемо $\sigma_1 = \sigma_8$. Таким чином, при збільшенні L , σ_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 і руйнування значно поширюється.

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

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

Дослідженнями М. Абрамсона і Г. Зусмановича на основі урожайних особливостей, характеристик за розмірами та особистої маси зернівок встановлено, що при виділенні насіння фракції як головну ознаку необхідно використовувати їх товщину.

Роботи Б. Черемхи свідчать про те, що найкращі посівні якості та урожайні властивості має насіння, у якого оптимальні співвідношення лінійних розмірів зернівок в межах 1:0, 9:2, у 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. Котова, В. Оробінського, М. Мерчалової, В. Кузнєцова, Л. Фадеєва та інших.

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. Василенка, П. Заїки, В. Горячкіна, А. Пугачова, О. Тарасенка, Л. Тищенко, В. Кузнєцова та інших.

Дослідження І. Строни, О. Тарасенка, В. Дрінча, П. Пугачова, С. Чазова, В. Оробінського та інших свід-

чать, що травмування зернівок залежить від комплексу фізико-механічних і біологічних властивостей насіння, а також від підбору і кількості обладнання, що його використовують для підготовки насіння. При цьому необхідно зазначити, що кількість травмованих зернівок у насінневому матеріалі може сягати у деяких випадках 60–90 % і навіть більше.

Дослідження В. Горшинського, А. Знолін, В. Целіновського та інших також показують потребу у застосуванні фракційних технологій шляхом відокремлення із загальної маси зернового вороху частини високоякісного насіння з використанням високопродуктивних сепараторів та доведення його до високих посівних кондицій на інших машинах меншої продуктивності, що дало б можливість значно знизити травмування насіння.

Таким чином, 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, біологічних особливостей насіння і розроблення нових способів та модернізацію робочих елементів, що забезпечуватимуть мінімальну кількість травмування зернівок і максимальне отримання біологічно цінного високоякісного насіння.

Мета дослідження – виявити вплив травмування зернівок під час збирання та післязбиральної обробки зернового вороху і підготовки 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 та шляхи зниження травмування насіння і пошкодження його мікроорганізмами як одного з головних резервів підвищення урожайності зернових культур.

Результати досліджень. Формалізацію деформації зернівок за дією зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) здійснимо з використанням загальної системи рівнянь кінематичного зв'язку абсолютно твердих тіл [10], яку в нашому випадку представимо у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{\xi} + \dot{U}_{\xi} + q(\zeta - U_{\zeta}) - r(\eta - U_{\eta}) &= \dot{X}_{\xi}; \\ \dot{\eta} + \dot{U}_{\eta} + r(\xi - U_{\xi}) - p(\zeta - U_{\zeta}) &= \dot{Y}_{\eta}; \\ \dot{\zeta} + \dot{U}_{\zeta} + p(\eta - U_{\eta}) - q(\xi - U_{\xi}) &= \dot{Z}_{\zeta}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\xi, \eta, \zeta; \dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}; p, q, r$ – відповідно координати поверхні, компоненти поступальної та кутової швидкостей зернівок, м, с⁻¹;

$U_{\xi}, U_{\eta}, U_{\zeta}; \dot{U}_{\xi}, \dot{U}_{\eta}, \dot{U}_{\zeta}$ – компоненти деформації та швидкості деформації об'єму насіння за напрямками осей $O_1\xi, O_1\eta, O_1\zeta$;

$\dot{X}_{\xi}, \dot{Y}_{\eta}, \dot{Z}_{\zeta}$ – компоненти швидкості зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) в неінерційній системі координат $O_1\xi\eta\zeta$, які визначимо за системою рівнянь ортогонального перетворення:

$$\begin{aligned}\dot{X}_\xi &= a_{11}\dot{X} + a_{21}\dot{Y} + a_{31}\dot{Z}; \\ \dot{Y}_\eta &= a_{12}\dot{X} + a_{22}\dot{Y} + a_{32}\dot{Z}; \\ \dot{Z}_\zeta &= a_{13}\dot{X} + a_{23}\dot{Y} + a_{33}\dot{Z},\end{aligned}\quad (2)$$

де

$$\begin{aligned}a_{11} &= \cos\psi \cos\varphi - \sin\psi \sin\varphi \cos\theta; \\ a_{22} &= -\sin\psi \sin\varphi + \cos\psi \cos\varphi \cos\theta; \\ a_{21} &= \sin\psi \cos\varphi + \cos\psi \sin\varphi \cos\theta; \\ a_{32} &= \cos\varphi \sin\theta; \\ a_{31} &= \sin\varphi \sin\theta; \\ a_{13} &= \sin\psi \sin\theta; \\ a_{12} &= -\cos\psi \sin\varphi - \sin\psi \cos\varphi \cos\theta; \\ a_{23} &= -\cos\psi \sin\theta;\end{aligned}\quad (3)$$

$a_{33} = \cos\theta$ – напрямні косинуси кутів Ейлера [10];

$\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ – компоненти швидкості зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) в інерційній системі координат O_1XYZ .

Припускаємо, що насіння, рухаючись за дією земного тяжіння, вільно падає на поверхню ротора очисної машини, при цьому координати його падіння в інерційній системі координат у загальному випадку формалізуємо рівнянням [3]:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = \left(\frac{gt^2}{2}\right)^2, \quad (4)$$

де $X, Y, Z; g, t$ – відповідно координати дотику зернівок з робочим елементом машини після завершення вільного падіння, прискорення земного тяжіння та час падіння в інерційній системі координат O_1XYZ .

Компоненти кутової швидкості p, q, r насіння в системі рівнянь (2) формалізуємо квазі- координатами у формі кінематичних рівнянь Ейлера:

$$\begin{aligned}p &= \dot{\psi} \sin\theta \sin\varphi + \dot{\theta} \cos\varphi; \\ q &= \dot{\psi} \sin\theta \cos\varphi - \dot{\theta} \sin\varphi; \\ r &= \dot{\phi} + \dot{\psi} \cos\theta,\end{aligned}\quad (5)$$

де $\theta, \varphi; \dot{\theta}, \dot{\psi}, \dot{\phi}$ – відповідно кути Ейлера та компоненти кутової швидкості: нутації, прецесії та власного кружляння-обертання зернівок.

Компоненти прискореного руху та прискорення деформації пружно-в'язкого насіння за дією зовнішніх чинників (ротора очисної машини та земного тяжіння) за напрямками осей координатної системи $O_1\xi\eta\zeta$ із врахуванням її обертання в загальному формалізуємо системою рівнянь:

$$\begin{aligned}\ddot{\xi} + \ddot{U}_\xi + Q(\dot{\zeta} - \dot{U}_\zeta) - R(\dot{\eta} - \dot{U}_\eta) &= \ddot{X}_\xi; \\ \ddot{\eta} + \ddot{U}_\eta + R(\dot{\xi} - \dot{U}_\xi) - P(\dot{\zeta} - \dot{U}_\zeta) &= \ddot{Y}_\eta; \\ \ddot{\zeta} + \ddot{U}_\zeta + P(\dot{\eta} - \dot{U}_\eta) - Q(\dot{\xi} - \dot{U}_\xi) &= \ddot{Z}_\zeta,\end{aligned}\quad (6)$$

де $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}; \ddot{\xi}, \ddot{\eta}, \ddot{\zeta}$ – компоненти поступальної швидкості та прискорення центра інерції зернівок, $m \cdot c^{-1}, m \cdot c^{-2}$;

$\ddot{U}_\xi, \ddot{U}_\eta, \ddot{U}_\zeta$ – компоненти прискореної деформації об'єму насіння за дією зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) за напрям-

ками осей $O_1\xi, O_1\eta, O_1\zeta$;

P, Q, R – компоненти швидкості обертання координатної системи $O_1\xi\eta\zeta$, визначені за кінематичними рівняннями Ейлера, при $\varphi = 0, c^{-1}$ [10]:

$$P = \dot{\theta}; \quad Q = \dot{\psi} \sin\theta; \quad R = qctq\theta. \quad (7)$$

Компоненти прискорення $(\ddot{X}_\xi, \ddot{Y}_\eta, \ddot{Z}_\zeta)$ за дією зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) в неінерційній системі координат $O_1\xi\eta\zeta$ визначимо за системою рівнянь:

$$\begin{aligned}\ddot{X}_\xi &= a_{11}\ddot{X} + a_{21}\ddot{Y} + a_{31}\ddot{Z}; \\ \ddot{Y}_\eta &= a_{12}\ddot{X} + a_{22}\ddot{Y} + a_{32}\ddot{Z}; \\ \ddot{Z}_\zeta &= a_{13}\ddot{X} + a_{23}\ddot{Y} + a_{33}\ddot{Z},\end{aligned}\quad (8)$$

де a_{ij} ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$) – напрямні косинуси кутів Ейлера;

$\ddot{X}_\xi, \ddot{Y}_\eta, \ddot{Z}_\zeta$ – компоненти прискорення зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння) в системі O_1XYZ , які визначимо за методом повторного диференціювання системи рівнянь (4, 10), представленої у параметричній формі в кожному конкретному випадку конфігурації механічної системи.

Припускаємо, що падіння насіння здійснюється на абсолютно тверду поверхню ротора очисної машини, який обертається в горизонтальній площині (рис.1). За параметрами, зображеними на схемі (рис.1), та рівнянням (4), координати дотику зерна в системі координат $O_2X_1Y_1Z_1$ опишемо системою рівнянь геометричного зв'язку:

$$\begin{aligned}X &= R_p \sin\omega t + R_p \sin\dot{\alpha} t \sin\omega t + \frac{gt^2}{2} \sin\dot{\alpha} t \sin\omega t; \\ Y &= R_p \cos\omega t + R_p \sin\dot{\alpha} t \cos\omega t + \frac{gt^2}{2} \sin\dot{\alpha} t \cos\omega t; \\ Z &= h + R_p - R_p \cos\dot{\alpha} t + \frac{gt^2}{2} \cos\dot{\alpha} t,\end{aligned}\quad (9)$$

де R_p – радіус сферичної частини ротора, m ; h – висота розміщення ротора, m ; $\dot{\alpha} t$ – кут дотику зерна із поверхнею ротора, $рад$; $\omega, \omega t$ – кутова швидкість та кут повороту ротора в горизонтальній площині $O_2X_1Y_1$, $рад \cdot c^{-1}, рад$;

За першим диференціюванням системи рівнянь геометричного зв'язку (9) запишемо:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= \omega R_p \cos\omega t + R_p \dot{\alpha} \cos\dot{\alpha} t \sin\omega t + \\ &+ R_p \omega \sin\dot{\alpha} t \cos\omega t + gt \sin\dot{\alpha} t \sin\omega t; \\ \dot{Y} &= -\omega R_p \sin\omega t + R_p \dot{\alpha} \cos\dot{\alpha} t \cos\omega t - \\ &- R_p \omega \sin\dot{\alpha} t \sin\omega t + gt \sin\dot{\alpha} t \cos\omega t; \\ \dot{Z} &= R_p \dot{\alpha} \sin\dot{\alpha} t + gt \cos\dot{\alpha} t.\end{aligned}\quad (10)$$

Дослідження характеру деформування і травмування насіння проведемо за способом чисельного їх розв'язку. За початковими параметрами деформування зернівок, геометричними та масовими їх параметрами $R = 4 \text{ мм}, m = 0,001 \text{ гр}$, функції "ELIPS" надамо у вигляді графіків (рис. 1, 2, 3.).

Результати аналізу графічних залежностей свідчать, що деформація-травмування зернової маси при

взаємодії із поверхнею ротора очисної машини діаметром 600 мм, який обертається з кутовою швидкістю 6 c^{-1} , за напрямком осей $O_1\xi$ відбувається в режимі розтягування (рис. 1, а), при цьому вона за напрямком осі $O_1\eta$ з плином часу суттєво збільшується (рис. 2, а). Це свідчить, що деформація речовини зерна в площині $O_1\eta\xi$ має тангенціальний характер, який обумовлений обертанням поверхні ротора машини. Одночасно такі пошкодження насіння за напрямком осі $O_1\zeta$ (рис.3, а) не перевищують граничної межі (0.032 мм), що забезпечує надійність виконання технологічного процесу очищення сировини.

Отже, наявність поступальних, тангенціальних та коріолісових компонентів прискорення у системі рівнянь свідчить, що за зовнішньою дією ротора очисної машини та земного тяжіння пружно-в'язка деформація і травмування зернівок здійснюється не тільки за напрямками їх дії, але й одночасно у площинах, що зумовлює завихрення-кружляння-обертання, витання зернівок.

Результати аналізу графічних залежностей (рис. б) свідчать, що переміщення зернівок за напрямком осі $O_1\xi$ проходить з підвищеною швидкістю відносно інших напрямків (рис. 6, а), яке відбувається у зворотному напрямку осі $O_1\xi$.

Висновки. За результатами аналізу вищенаведених положень констатуємо:

- компоненти швидкості нормальної та тангенціальної деформації і 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 в залежності від співвідношення пружної та в'язкої частини, зернівки деформуються і травмуються та переміщуються за напрямком дії робочого елемента машини;

- члени системи (10) свідчать, що деформація зернівок відбувається за моделлю пружнов'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, описані системою рівнянь (10), для кожного конкретного випадку модифікуються. При цьому координати, швидкості і прискорення зернівок визна-

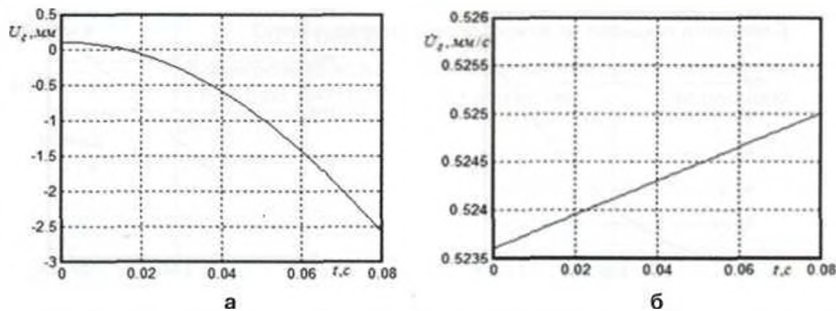


Рис. 1 – Характер кінематичних параметрів деформації зернівки за напрямком осі $O_1\xi$: а – переміщення, мм; б – швидкості, $\text{мм} \cdot \text{c}^{-1}$

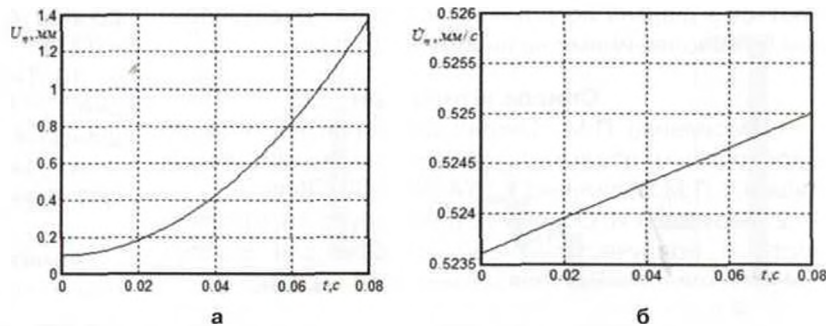


Рис. 2 – Характер кінематичних параметрів деформації речовини зерна за напрямком осі $O_1\eta$: а – переміщення, мм; б – швидкості, $\text{мм} \cdot \text{c}^{-1}$

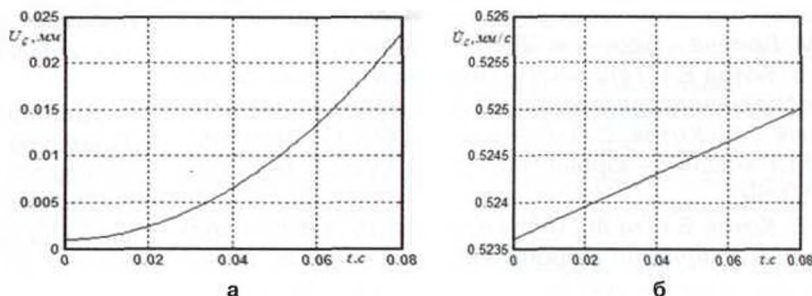


Рис. 3 – Характер кінематичних параметрів деформації насіння за напрямком осі $O_1\zeta$: а – переміщення, мм; б – швидкості, $\text{мм} \cdot \text{c}^{-1}$

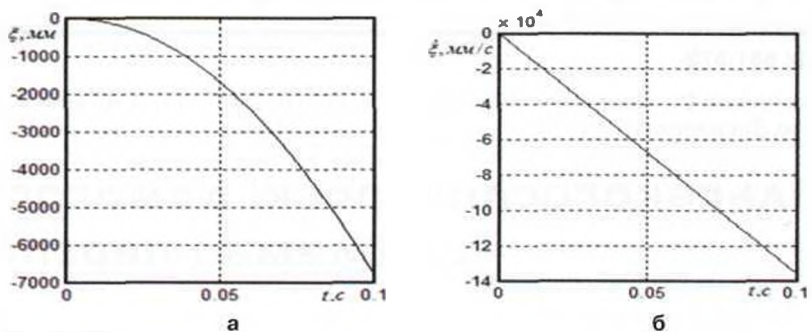


Рис. 4 – Характер переміщення та швидкості польоту зернівок при взаємодії з поверхнею ротора очисної машини: а, б – за напрямком осі $O_1\xi$

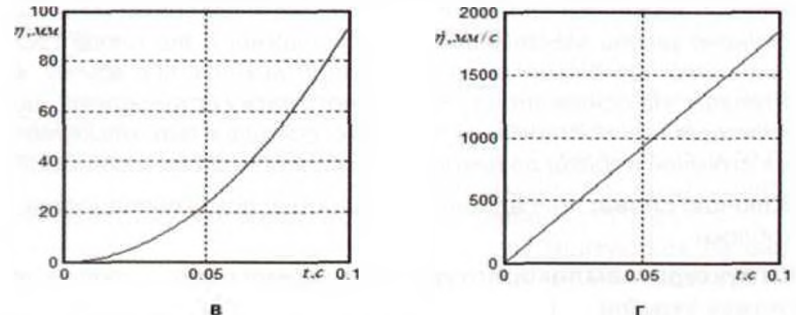


Рис. 5 – Характер переміщення та швидкості польоту зернівок при взаємодії з поверхнею ротора очисної машини: в, г – за напрямком осі $O_1\eta$

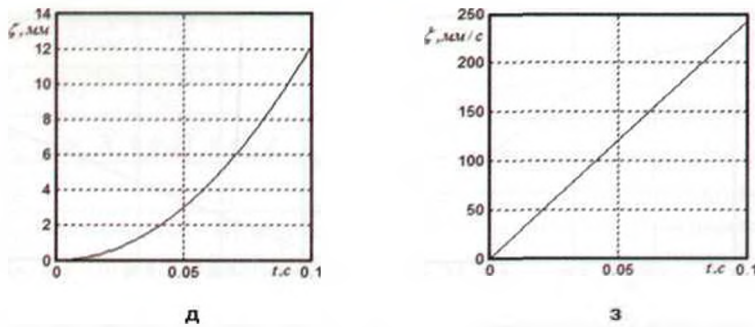


Рис. 6 – Характер переміщення та швидкості польоту зернівок при взаємодії з поверхнею ротора очисної машини за напрямком осі $O_1\xi$

чаються з рівнянь його поверхні або за представленим інтерполяційними чи іншими методами.

Список літератури

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. / П.М.Василенко К.: УАСХ. 1960-284с.
2. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести: Учеб. пособие для вузов/ 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.– Воронеж, 2006 – 382 с.
5. Котов В.І. Тенденції розвитку конструкції машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. / В.І.Котов, С.П. Степаненко, М.Г.Пастушенко / КВЕСГ машин. – Кіровоград: КДТУ. 2003. – Вип. 33.– С. 53-59.
6. Котов В.І. та ін. Теоретичне обґрунтування руху частинки зерна на вібропневморешеті при дії розпушуючих робочих органів / В.І.Котов, С.П.Степаненко, Р.А. Калініченко// Науковий вісник НАУ. – К., 2007. – Вип.115. – С.112-117.

7. Присяжнюк М.В., Адамчук В.В., і ін. 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 вполне 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. – Воронеж, 2003. – 331 с.

10. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация смесей. / Л.Н.Тищенко, В.П.Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: Міськдрук, 2011. – 280 с.

11. Тимошенко С.П. Курс теории упругости / С.П. Тимошенко. – К.: Наукова думка, 1972. – 501 с.

Аннотация. В статье рассматриваются деформации и травмирования зерновки от действия рабочих элементов машины и земного притяжения.

Используются дифференцирование систем уравнений и соответствующие координаты поверхности, компоненты деформации, поступательной скорости, угловой и скорости внешних факторов.

Summary. The paper investigates the weevil deformation and damage caused by the operating elements of the machine as well as by the gravitation.

The differentiation of the equation system, the corresponding surface coordinates and the deformation components, as well as forward and angle speed of the external factors are used.

Стаття надійшла до редакції 7 квітня 2014 р.