

УДК 631.354:633.1

Дерев'яно Д., кандидат с-г. наук, доцент (ЖНАЕУ)

## Обґрунтування та теоретичні розрахунки деформації і травмування зернівок внаслідок переміщення їх робочими елементами вібросепаратора

*У статті досліджується взаємозв'язок інерційних та неінерційних систем з урахуванням радіуса деформації, радіуса зернівки, кута, об'єму та швидкості деформації.*

*Використовуючи диференціювання та компоненти швидкості, деформації, координати дотику, прискореного руху, витання і застосувавши систему рівнянь, отримуємо модель деформації та травмування зернівки.*

**Ключові слова:** зернівка, деформація, травмування, радіус, кут, диференціювання.

**Суть проблеми.** Отримання високоякісного насіння з мінімальною кількістю деформації, травм та пошкоджень тісно пов'язане з науковим вивченням процесів, що відбуваються під час сепарування зернової суміші. Адже використовувані 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 різними математичними та фізичними методами. 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 важковідокремлюваного насіння, бур'янів або інших культурних рослин із зернового вороху з мінімізацією втрат, травмувань і пошкоджень та відокремленням високопродуктивного насіння при максимальному їх вирівнянні за багатьма ознаками. Загальновідомо, що не зовсім легко відбирається насіння овесу і ячменю із насіння пшениці, овесу і пшениці – з жита; частинок редьки дикої і пшениці – із гречки; насіння щавлю кінського і бобових трав тощо.

Якщо говорити в загальному, то важковідокремлюваним насінням бур'янів і культурних рослин є таке, розміри і швидкість кружляння-обертання, витання якого співпадають або несуттєво відрізняються від швидкості кружляння-обертання, витання насіння основної культури.

Дослідження ефективності фракційного розподілення зернового вороху і підготовки високоякісного насіння в процесі сепарування великою мірою ґрунтуються на особливостях насіння 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 і травмування.

Подолання пружної та пластичної деформації в зерні під впливом зовнішніх сил призводить до його травмування та навіть повного пошкодження – руйнування, яке утворюється у разі виникнення 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 складають зернівку. Одночасно травмуванню і руйнуванню протидіють внутрішній сили та структурний каркас зернівки, а внаслідок порушення зв'язків між молекулами настає деформація, травмування і порушується міцність, що сприяє частковому або повному 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.** Дослідження показують, що якісні показники зерна та насіння залежать значною мірою 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 тощо.

Дослідження свідчать, що зусилля  $P$  та деформації  $\Delta L$  травмування й руйнування зернівок під дією 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, особливо після спекотної погоди, зернівки інтенсивно поглинають вологу, внаслідок чого, як показують дослідження Г. Егорова, оболонка, зародок і ендосперм наповнюються водою, що призводить до підвищення внутрішньої напруги, а висипання зерна викликає руйнівні процеси.

Вологість зернівки і температурний режим значною мірою впливають на її міцність, а значить, на деформацію, травмування, руйнування зерна.

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 у зв'язку з наявністю тоненької плівки із адсорбційного шару.

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

Травмування зернівок, а потім їх руйнування відбувається тоді, коли максимальне напруження  $\sigma$  менше від напруження, яке виникло внаслідок дії механічних або інших впливів  $\sigma_2$ . 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 кожну сторону на половину довжини пластичної зони –  $r_y = K_{\sigma}^2 / 2\sigma_{0,2}^2$ , де  $\sigma_{0,2}$  – умовна межа плинності.

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

Використавши граничний коефіцієнт інтенсивності напружень згідно з довжиною пошкоджень відповідно до першої теорії, отримаємо синтез умов міцності, тобто при  $L=0$  матимемо  $\sigma = \sigma_g$ . Таким чином, із збільшенням  $L - \sigma_1$  зменшуватиметься.

Якщо відстань між тріщинами становить більше  $0,5(L_1 + L_2)$ , то тріщини незалежні одна від одної, а отже, інтенсивність травмування і руйнування значно збільшується.

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

Ще на початку минулого століття дослідник W. Vrenclly 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 особистою масою зернівок встановлено, що для поділу насіння на фракції як основну ознаку необхідно використовувати товщину насінин.

В роботах Б. Черемхи йдеться про те, що найкращі посівні якості та урожайні властивості має насіння, у якого оптимальні співвідношення лінійних розмірів зернівок знаходяться у межах 1:0, 9:2, у цьому разі надбавка урожаю порівняно з контролем в середньому за три роки становить 6,3 – 7,3 ц/га.

Результати досліджень фракціонування зернового вороху з використанням сортувальних решіт різних зернових машин показують їх вплив на травмування, розподіл та якість насіння, що відзначається в роботах А. Тарасенка, Б. Котова, В. Оробінського, М. Мерчалової, В. Кузнєцова, Л. Фадєєва та інших.

Створення фундаменту наукових основ теорії взаємовпливу робочих поверхонь механізмів, зернових сумішей та віброрешітного сепарування і фракціонування з метою пошуку оптимальних параметрів ошадливих режимів їх роботи висвітлено у працях П. Василенка, П. Заїки, В. Горячкіна, А. Пугачова, О. Тарасенка, Л. Тіщенко, В. Кузнєцова та інших.

Дослідження І. Строни, О. Тарасенка, В. Дрінча, П. Пугачова, С. Чазова, В. Орабінського та інших свідчать, що травмування зернівок залежить від комплексу фізико-механічних і біологічних властивостей насіння, а також від вибору та кількості обладнання, яке використовують для його підготовки. При цьому необхідно зазначити, що кількість травмованих зернівок у насінневному матеріалі може сягати у деяких випадках 60 – 90% і навіть більше.

Дослідження Горшинського В., Знолін А., Целіновського В. та інших також вказують на потребу застосування 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 та біологічних особливостей насіння і розроблення нових способів, а також модернізація 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 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 і шляхи зниження травмування насіння та пошкодження його мікроорганізмами як одного з головних резервів підвищення урожайності зернових культур.

**Результати досліджень.** Розглянемо випадок, коли зернівка сферичної конфігурації падає з висоти  $Z_1$  на циліндричну поверхню очисного решета вібросепаратора, який з кутовою швидкістю  $\omega$  обертається навколо вертикальної осі  $O_2Z_1$  (рис. 1).

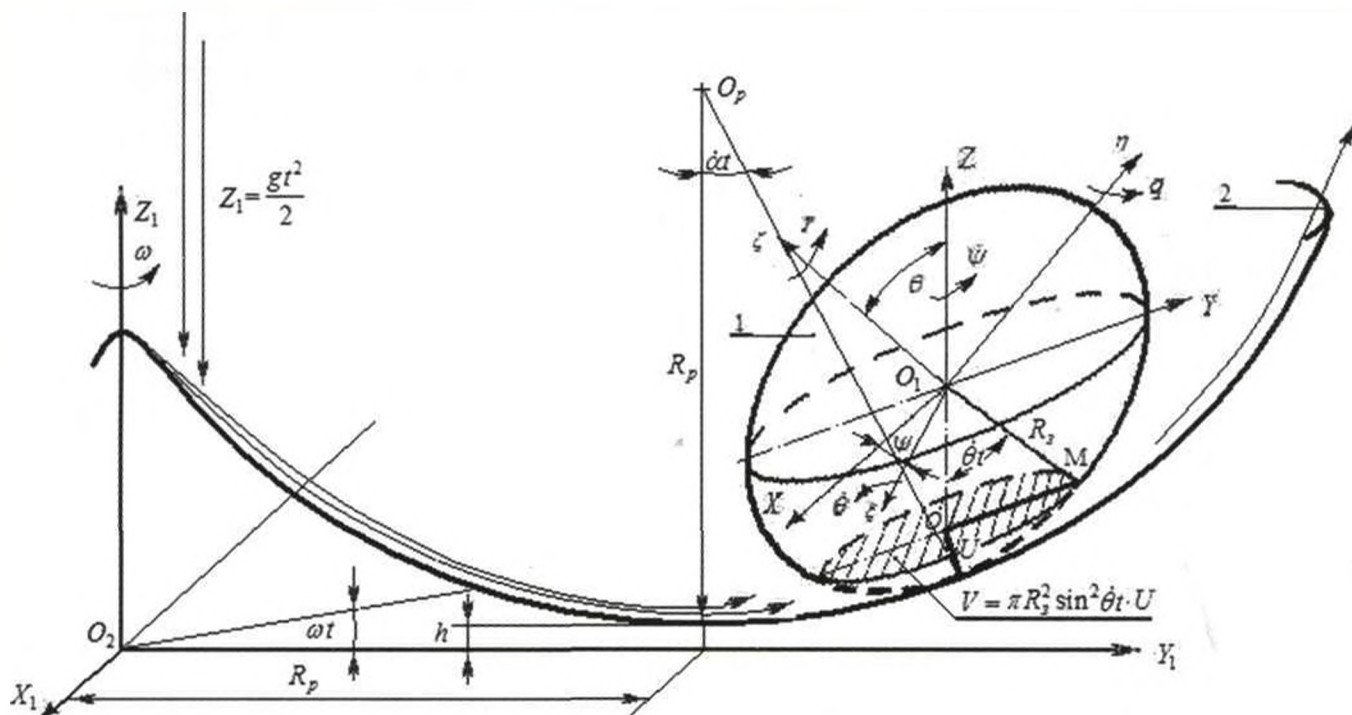


Рис. 1 – Розрахункова схема деформування зернівки сферичної конфігурації за зовнішньою дією ротора очисної машини: 1, 2 – відповідно зернівка та поверхня ротора очисної машини;  $U$  – компонента деформації речовини зерна;  $R_3$  – радіус зернівки;  $R_p$  – радіус сферичної частини ротора;  $h$  – висота розміщення ротора;  $\alpha t$  – кут дотику зернівки із поверхнею ротора;  $\omega$ ,  $\omega t$  – кутова швидкість та кут повороту ротора в горизонтальній площині  $O_2X_1Y_1$ ;  $O_1XYZ$ ,  $O_1\xi\eta\zeta$  – інерційна та неінерційна системи координат

В центрі інерції  $O_1$  зернівки 1 сферичної конфігурації (рис. 1) розмістимо неінерційну систему координат  $O_1\xi\eta\zeta$  (систему, поширену в теорії гіроскопів [15, 16 та ін.], 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  $ZO_1\xi$ . 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  $ZO_1\xi$  і  $\zeta O_1\xi$ ,  $\psi$  – кут, утворений площинами  $ZO_1X$  та  $ZO_1\xi$ . При такому розміщенні систем відліку кути  $\theta$  і  $\psi$  будуть визначати положення неінерційної системи координат  $O_1\xi\eta\zeta$  відносно інерційної  $O_1XYZ$ .

Крім того, з поверхнею ротора очисної машини поєднаємо інерційну систему координат  $O_2X_1Y_1Z_1$ . Враховуючи сферичну конфігурацію зернівки, радіус деформації речовини виразимо через радіус зерна  $R$  та кут  $\theta t$  (рис. 1):

$$OM = R_3 \sin \theta t, \quad (1)$$

де  $R_3$  – радіус зернівки сферичної конфігурації, м;  $\theta t$  – кут, утворений площинами  $XO_1O$  та  $XO_1M$ ,  $gr$ .

Тоді рівняння площі круга деформації об'єму зернівки набуває вигляду:

$$S = \pi R_3^2 \sin^2 \theta t, \quad (2)$$

де  $\pi = 3.14$  – відношення довжини кола деформації до його діаметра.

Використавши рівняння (2) та схему (рис. 1) рівняння об'єму зернівки, що деформується за напрямком осі  $O_1\zeta$ , формалізуємо співвідношенням:

$$V = \pi R_3^2 \sin^2 \theta t U, \quad (3)$$

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

Швидкість деформації об'єму зернівки визначимо за методом диференціювання виразу (3) за часом:

$$\dot{V} = 2\pi R_3^2 \theta \sin \theta t \cos \theta t \dot{U} + \pi R_3^2 \sin^2 \theta t \dot{U}. \quad (4)$$

Після повторного диференціювання виразу (4) за часом рівняння прискорення деформації об'єму зернівки набуває вигляду:

$$\ddot{V} = \pi R_3^2 (2\ddot{\theta} \sin \theta t \cos \theta t U + \sin^2 \theta t \ddot{U} + 2\dot{\theta}^2 \cos^2 \theta t \dot{U} - 2\dot{\theta}^2 \sin^2 \theta t \dot{U} + 2\dot{\theta} \sin \theta t \times \cos \theta t \dot{U} + 2\dot{\theta} \sin \theta t \cos \theta t \dot{U}). \quad (5)$$

Оскільки рівняння (5) аналітично відображає прискорення деформації одиничного об'єму зернівки, то після перемноження на  $\pi R_3^2 \sin^2 \theta t$  та спрощення воно набуває вигляду:

$$\ddot{V} = 2\ddot{\theta} U \cos \theta t + \ddot{U} + 2\dot{\theta}^2 U (\cos^2 \theta t - 1) + 4\dot{\theta} U \cos \theta t. \quad (6)$$

Далі, формалізуємо деформацію пружно-в'язкої зернівки за дією зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) з використанням загальної системи рівнянь кінематичного зв'язку абсолютно твердих тіл [10], яку представимо у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{\xi} + \dot{U}_\xi + q(\zeta - U_\zeta) - r(\eta - U_\eta) &= \dot{X}_\xi; \\ \dot{\eta} + \dot{U}_\eta + r(\xi - U_\xi) - p(\zeta - U_\zeta) &= \dot{Y}_\eta; \\ \dot{\zeta} + \dot{U}_\zeta + p(\eta - U_\eta) - q(\xi - U_\xi) &= \dot{Z}_\zeta, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$ ;  $\dot{\xi}$ ,  $\dot{\eta}$ ,  $\dot{\zeta}$ ;  $p$ ,  $q$ ,  $r$  – відповідно координати поверхні, компоненти поступальної та кутової швидкостей насіння, м,  $s^{-1}$ ;

$U_{\xi}, U_{\eta}, U_{\zeta}; \dot{U}_{\xi}, \dot{U}_{\eta}, \dot{U}_{\zeta}$  – компоненти деформації та швидкості деформації за напрямками осей  $O_1\xi, O_1\eta, O_1\zeta$ ;  
 $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$  – 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 [10, 20]:

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

де

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

$a_{33} = \cos\theta$  – напрямні косинуси кутів Ейлера [10, 20]; (9)

$X, Y, Z$  – компоненти швидкості зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) в інерційній системі координат  $OXYZ$ .

Припускаємо, що зерно з бункера машини під дією земного тяжіння вільно падає на поверхню ротора очисної машини, при цьому координати його падіння в інерційній системі координат у загальному випадку формалізуємо рівнянням [10]:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = \left(\frac{gt^2}{2}\right)^2, \quad (10)$$

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

Компоненти кутової швидкості  $p, q, r$  зернівок в системі рівнянь (11) формалізуємо квазі-координатами у формі кінематичних рівнянь Ейлера [10]:

$$\begin{aligned} p &= \dot{\psi} \sin\theta \sin\varphi + \dot{\theta} \cos\varphi; \\ q &= \dot{\psi} \sin\theta \cos\varphi - \dot{\theta} \sin\varphi; \\ r &= \dot{\varphi} + \dot{\psi} \cos\theta, \end{aligned} \quad (11)$$

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

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

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} + \ddot{U}_{\xi} + Q(\dot{\xi} - \dot{U}_{\xi}) - R(\dot{\eta} - \dot{U}_{\eta}) &= \ddot{X}_{\xi}; \\ \ddot{\eta} + \ddot{U}_{\eta} + R(\dot{\xi} - \dot{U}_{\xi}) - P(\dot{\zeta} - \dot{U}_{\zeta}) &= \ddot{Y}_{\eta}; \\ \ddot{\zeta} + \ddot{U}_{\zeta} + P(\dot{\eta} - \dot{U}_{\eta}) - Q(\dot{\xi} - \dot{U}_{\xi}) &= \ddot{Z}_{\zeta}, \end{aligned} \quad (12)$$

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

$\dot{U}_{\xi}, \dot{U}_{\eta}, \dot{U}_{\zeta}$  – компоненти прискореної деформації об'єму речовини зерна за дією зовнішніх чинників (робочого елемента машини, земного тяжіння тощо) у напрямках 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]:

$$P = \dot{\theta}; \quad Q = \dot{\psi} \sin\theta; \quad R = qctg\theta. \quad (13)$$

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 [10, 20]:

$$\begin{aligned} \ddot{X}_{\xi} &= a_{11}\ddot{X} + a_{21}\ddot{Y} + a_{31}\ddot{Z}; \\ \ddot{Y}_{\eta} &= a_{12}\ddot{X} + a_{22}\ddot{Y} + a_{32}\ddot{Z}; \\ \ddot{Z}_{\zeta} &= a_{13}\ddot{X} + a_{23}\ddot{Y} + a_{33}\ddot{Z}, \end{aligned} \quad (14)$$

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

За параметрами, зображеними на рис. 1, та попередніми рівняннями опишемо систему рівняння геометричного зв'язку. Підставляючи кінематичні параметри  $X, Y, Z$  у систему рівнянь, швидкість зміни дотику поверхні ротора вібросепаратора із зернівками в неінерційній системі координат, компонентів прискорення обертання, диференціюючи систему рівнянь, формалізуючи наступною системою рівнянь, враховуючи прискорення деформації, отримуємо систему рівнянь 15-23, що розміщується в додатках.

Припустивши, що речовина зернівки є однорідною, а пружно-в'язкі властивості незмінні за будь-яким напрямком, отримуємо:

$$N = \frac{1}{2}(A\dot{p}^2 + B\dot{q}^2 + C\dot{r}^2) + \frac{1}{2}C_p\dot{\omega}^2 + \frac{1}{2}m_i(\dot{\xi}_1^2 + \dot{\eta}_1^2 + \dot{\zeta}_1^2). \quad (15)$$

Використовуючи модель деформації об'єму речовини зернівок сферичної конфігурації розмірністю  $Dж \cdot c^{-2}$  або  $кг \cdot м^{-2} \cdot c^{-4}$ , формалізуючи наступними аналітичними виразами та застосовуючи значну кількість диференціальних рівнянь (понад 40 виразів), отримуємо деформацію травмування зернівок.

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

- компоненти швидкості нормальної та тангенціальної деформації-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 свідчать, що деформація зернівок відбувається за моделлю пружно-в'язкого тіла Фойгта, аналітично модифікованого компонентами приско-

рень деформації радіального, тангенціального та коріолісового характеру;

- оскільки зернівки різноманітних сільськогосподарських культур різняться за конфігураціями, то компоненти прискорення руху, описані системою рівнянь, для кожного конкретного випадку модифікуються. При цьому координати, швидкості і прискорення зернівок визначаються з рівнянь його поверхні або за представленням інтерполяційними чи іншими методами.

### Список літератури

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко.– К.:УАСХ.– 1960.– 284 с.

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 зерноматеріалів. / 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 вібро-пневморешеті 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., та ін.. Теорія вібра-

ційних 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 – 331с.

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 исследуется взаимосвязь инерционных и неинерционных систем с учётом радиуса деформации, радиуса зерновки, угла, объёма и скорости деформации.

Используя дифференцирование и компоненты скорости, деформации, координаты соприкосновения, ускоренного движения, оборотов и используя систему уравнений, получаем модель деформации и травмирования зерновок.

**Summary.** The paper investigates the interconnection between the inert systems including the deformation radius, the weevil radius, as well as the deformation angle, volume and speed.

Having used differentiation and speed components, the touch off coordinates, the coordinates of the accelerated movement and whirling as well as having used the equation system we get the model and the weevil damage.

Стаття надійшла до редакції 7 квітня 2014 р.