

## Дослідження за актуальними проблемами інженерно-технічного забезпечення АПК

УДК 631.354:633.1

Дерев'янку Д., канд. с-г. наук, доцент ЖНАЕУ

### Формалізація деформації і травмування зернівки, поверхню якої надано еліпсоїдом обертання

*У статті досліджується виникнення деформації та травмування зернівки описуванням її поверхні рівнянням еліпсоїду обертання, розглядаються схеми еліпсоїду переміщень зернівки та використовуються системи диференціальних рівнянь.*

**Ключові слова:** зернівка, деформація, травмування, еліпсоїд, диференціальні рівняння.

**Суть проблеми.** Щоб отримати високоякісне насіння, мінімізуючи його травмування та пошкодження, необхідно вивчити процеси, що відбуваються під час сепарування зернової суміші. На жаль, використовувани нині сортувальні та насінноочисні машини за

своїми виробничо-технічними характеристиками не завжди відповідають вимогам часу.

У зв'язку зі складністю процесів сепарування їх наукові дослідження проводять також за допомогою різних математичних та фізичних методів. Поряд із засто-

суванням диференціальних рівнянь будуються 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 за мінімальних втрат, травмувань та пошкоджень, відокремлення 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, частинки редьки дикої і пшениці – з гречки, насіння щавлю конячого і бобових трав та ін.

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.

Для дослідження ефективності фракційного розподілу зернового вороху і підготовки при цьому високоякісного насіння в процесі сепарування у великій мірі залежить від глибини та кількості знань про особливості 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.

Подолання пружної та пластичної деформації в зернівці під впливом зовнішніх сил призводить до його травмування та навіть повного пошкодження – руйнування, яке виникає з появою 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.

Мінімізуючи негативний вплив деформації, травмування та руйнування зернівки, можна максимально покращити показники її якості, і таким чином підвищити її продуктивні характеристики, тобто якісну урожайність.

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

Головні серед 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 ін.

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.

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

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

Вологість зернівки і температурний режим – важливі фактори впливу на міцність зернівки, а значить, на їх деформацію, травмування, руйнування.

Академік П. Ребендер [8] встановив, що рідина і наявні в ній біологічно активні речовини просочуються в найтонші тріщини, утворюючи тоненьку адсорбційну плівку, внаслідок чого стінки тканин не можуть змикатися після зняття навантажень через наявність прошарку.

Дослідник Б. Дерягін [8] запропонував гіпотезу про розпорошення дії органічних речовин та підтвердив її експериментально.

Травмування зернівок, а потім їх руйнування відбувається у разі, 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 відбулося, необхідна умова  $\sigma \leq \sigma_2$ .

Зважаючи на справедливість положень лінійної механіки, розвиток тріщин у довжину необхідно розвивати в напрямку збільшення в кожную 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 в ділянці пружності.

Використавши граничні коефіцієнти інтенсивності напружень, згідно з довжиною пошкоджень відповідно до першої теорії отримуємо синтез умов міцності, тобто при  $L=0$  матимемо  $\sigma_1 = \sigma_2$ . 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 і, таким чином, інтенсивність травмування і руйнування значно поширюється.

Відомо, що щільність зернівок залежить від 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. 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 [8] на основі урожайних особливостей, характеристик за

розмірами та масою зернівок встановлено, що при виділенні насіння фракції як головну ознаку необхідно використовувати товщину зернин.

Роботи Б. Черемхи [7] свідчать про те, що найкращі посівні якості та урожайні властивості має насіння, у якого оптимальне співвідношення лінійних розмірів зернівок знаходиться в межах 1:0,9:2. У цьому випадку 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, розподілення та якість насіння, що відзначається у роботах А. Тарасенка, Б. Котова, В. Оробінського, М. Мерчалової, В. Кузнецова, Л. Фадєєва та ін [4, 5, 6, 8].

У створенні фундаменту наукових основ теорії взаємодії робочих поверхонь механізмів, зернової 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. Тіщенка, В. Кузнецова та інших [1, 2, 6, 8, 9].

Дослідження І. Строни, О. Тарасенка, В. Дрінча, П. Пугачова, С. Чазова, В. Оробінського [1, 4, 6, 8] та інших свідчать, що травмування зернівок залежить від комплексу фізико-механічних і біологічних властивостей насіння, а також від підбору і кількості обладнання, на якому проходить його підготовка. При цьому слід зазначити, що кількість травмованих зернівок у насіннєвому матеріалі може сягати у деяких випадках 60-90% і навіть більше.

Дослідження В. Горшинського, А. Знолін, В. Целіновського [8,9] 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 обробки вороху для фракційного підготовки 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 обробки та модернізація робочих елементів для мінімізації травмування зернівок і максимального 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.** Для аналітичного дослідження переміщення зернівки її поверхню аналі-

тично 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 еліпсоїдальної частини зернівки; координати її поверхні.

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

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

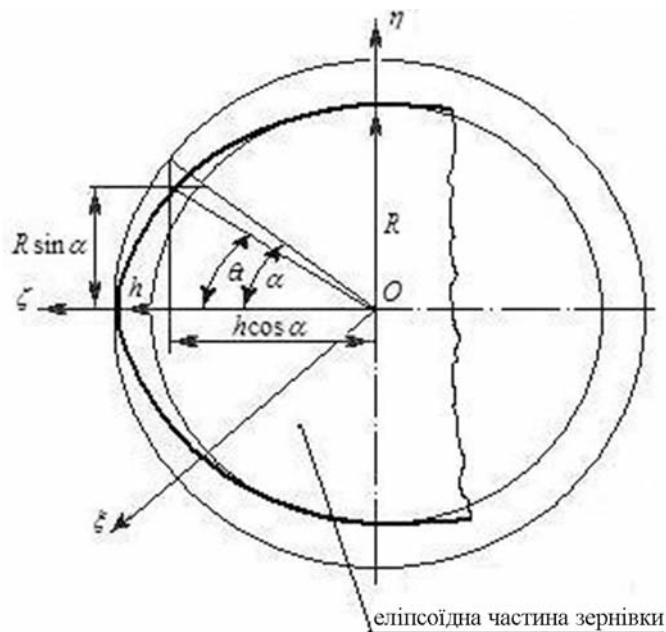


Рис. 1 – Схема еліпсоїдної частини зернівки:  $R, h$  – радіус та товщина зерна

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

Оскільки параметри  $\alpha$  і  $\theta$  знаходяться у 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  $\operatorname{ctg} \theta = \cos \theta / \sin \theta$ ;  $\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$ , 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 у рівнянні (5) певні перетворення, запишемо:

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

Остаточний розрахунок:

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

Далі, за рівнянням (6) перше рівняння (2) набуває форми:

$$\zeta = \frac{h^2 \cos \theta}{z}, \quad \text{де } z = \sqrt{R^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta}. \quad (7)$$

Аналогічно із рівності (4) знаходимо вираз для  $\sin\alpha$ :

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

Підставивши (8) в друге рівняння (2), отримаємо:

$$\xi = \eta = \frac{R^2 \sin\theta}{z}. \quad (9)$$

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

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

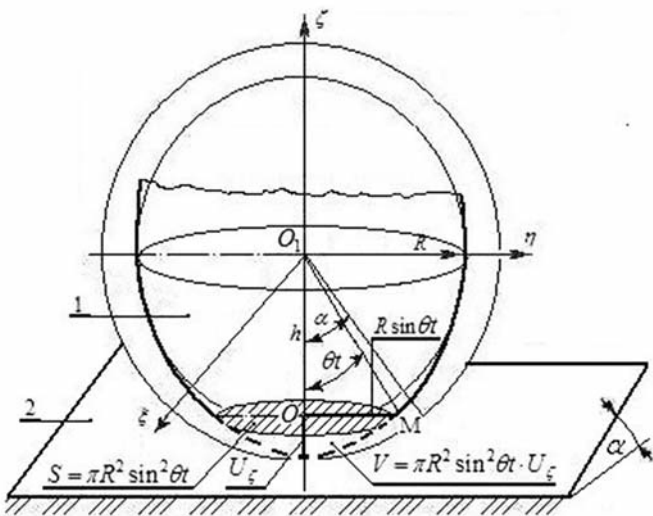


Рис. 2 – Схема переміщення елементарного об'єму зернівки у площинах системи координат  $O\xi\eta\zeta$

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

Використавши рівняння (9) та схему (рис. 2), об'єм зернівки, що деформується за напрямком осі  $O_1\zeta$ , формалізуємо співвідношенням:

$$V = \pi R^4 \frac{\sin^2\theta U}{R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta}, \quad (11)$$

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

Швидкість деформації об'єму зернівки визначимо за методом диференціювання виразу (10) за часом:

$$\dot{V} = \pi R^4 \frac{(2\dot{\theta} \sin\theta \cos\theta U + \sin^2\theta \dot{U})(R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta) - \sin^2\theta (R^2 - h^2) 2\dot{\theta} \sin\theta \cos\theta U}{(R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta)^2};$$

За спрощенням рівняння набуває форми:

$$\dot{V} = \pi R^4 \frac{2\dot{\theta} \sin\theta \cos\theta [(R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta) - \sin^2\theta (R^2 - h^2)] U + \sin^2\theta (R^2 \times \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta) \dot{U}}{(R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta)^2}. \quad (12)$$

Після спрощення та за позначеннями:

$$D_0 = (R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta)^{-2};$$

$$D_1 = \pi R^4 2U \sin\theta \cos\theta [(R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta) - \sin^2\theta (R^2 - h^2)] D_0;$$

$$D_2 = -\dot{\theta}^2 U \{8 \sin^2\theta \cos^2\theta (R^2 - h^2) [R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta - \sin^2\theta (R^2 - h^2)] + (2(\cos^2\theta - \sin^2\theta) [R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta - \sin^2\theta (R^2 - h^2)]) D_0\};$$

$$D_3 = 4\dot{U} \dot{\theta} [\sin\theta \cos\theta [(R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta) - \sin^2\theta \times \cos\theta (R^2 - h^2) (R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta)] D_0;$$

$$D_4 = \sin^2\theta \cdot (R^2 \sin^2\theta + h^2 \cos^2\theta);$$

рівняння (12) набуває форми:

$$\ddot{V} = \ddot{\theta} D_1 + D_2 + D_3 + \ddot{U} D_4. \quad (14)$$

Припускаємо, що падіння об'єкта сировини з конфігурацією еліпсоїда обертання здійснюється на абсолютну тверду поверхню робочого елемента машини, встановлену горизонтально. Тоді за відсутності обертання системи координат  $O_1\xi\eta\zeta$  прискорення поступального руху із врахуванням прискорення деформації об'єму зернівки за напрямком осі  $O_1\zeta$  формалізуємо рівнянням:

$$\ddot{\zeta}_1 = -\ddot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 - \ddot{U} D_4 + g. \quad (15)$$

Використавши рівняння (14), модель потужності деформації об'єкта сферичної конфігурації формалізуємо аналітичним виразом:

$$N = \frac{1}{2} m [(\ddot{\theta} D_1)^2 - 2\ddot{\theta} D_1 (-D_2 - D_3 - \ddot{U} D_4 + g) + (\ddot{U} D_4)^2 - 2\ddot{U} D_4 (-\ddot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 + g)], \quad (16)$$

Тоді систему диференціальних рівнянь, які описують деформацію об'єкта сировини за конфігурацією еліпсоїда обертання, представимо у формі:

$$\ddot{\theta} D_1^2 - D_1 (-D_2 - D_3 - \ddot{U} D_4 + g) = 0; \quad (17)$$

$$\ddot{U} D_4^2 - D_4 (-\ddot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 + g) = 0. \quad (18)$$

За перетвореннями системи рівнянь (16, 17) отримаємо:

$$\ddot{\theta} = (-D_2 - D_3 - \ddot{U} D_4 + g) / D_1; \quad (19)$$

$$\ddot{U} = (-\ddot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 + g) / D_4. \quad (20)$$

Для виключення вторинної похідної деформації  $\ddot{U}$  з рівняння (20) 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).

Провівши диференціювання та позначення рівнянь, після спрощення отримаємо:

$$\ddot{\theta} = [D_2/D_1 - D_3/D_1 - D_6 D_4/D_1 + g/D_1] / (1 + D_5 D_4/D_1), \quad (21)$$

$$\ddot{U} = (-\ddot{\theta} D_1 - D_2 - D_3 + g) / D_4. \quad (22)$$

Пружні та в'язкі властивості насіння, представлені першими та другими компонентами систем рівнянь (19, 20) та (21, 22), є змінними, що суттєво впливає на характер деформування-травмування зернівок. Для теоретичної зміни пружних та в'язких властивостей насіння необхідно надавати початкові значення параметра  $\dot{\theta}$  розмірністю  $s^{-1}$ , який у рівняннях відображує параметр розсіювання зовнішньої дії.

**Висновки.** За результатами вищенаведеного аналізу об'рунтування 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 тягіння, 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;

- деформація зернівок відбувається за моделлю пружно-в'язкого тіла Фойгта, аналітично модифікованого компонентами прискорень деформації радіального, тангенціального та коріюлісового 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 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. Тарасенко А.П. Снижения травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. / А.П.Тарасенко. – Воронеж, 2003 – 331с.
9. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация смесей. / Л.Н.Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: Миськдрук, 2011. – 280 с.
10. Тимошенко С.П. Курс теории упругости / С.П. Тимошенко. – К.: Наукова думка, 1972. – 501 с.

**Аннотация.** В статье исследуется возникновение деформации и травмирования зерновки описанием ее поверхности уравнением эллипсоида оборочивания, рассматривается схема эллипсоида и перемещение зерновки с использованием систем дифференциальных уравнений.

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

The paper investigates the appearance of the weevil deformation and damage by describing its surface by the equation of the ellipsoid of rotation, as well as scheme of the ellipsoid of movements. The investigation uses the system of differential equations.

Стаття надійшла до редакції 7 квітня 2014 р.