УДК 635.017:631.53.01/02

Кушнарьов А., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НААНУ, **Сербій Є.,** канд. техн.наук, доцент, **Мариніна Л.,** молодший науковий співробітник (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

Обґрунтування вимог до фізико-механічних властивостей капсульованого насіння овочевих культур

У статті наведено вимоги до розмірних характеристик та коефіцієнтів тертя капсульованого насіння, які визначені за допомогою імітаційного моделювання роботи комірчасто-дискового висівного апарата.

Ключові слова: імітаційне моделювання, комірчасто-дисковий висівний апарат, капсульоване насіння.

Суть проблеми. Однією з умовою отримання високих урожаїв овочів є рівномірний розподіл посівного матеріалу на полі, чим забезпечується подальший правильний догляд за рослинами у перші дні їх розвитку. Насіння овочевих культур різноманітне за формою, розмірами та властивостями поверхні. Навіть у межах однієї культури розміри насіння різниться значною мірою [1]. Ці особливості насіння овочевих культур ставлять перед розробниками сівалок вельми складні вимоги до їх конструкції.

Для підвищення точності сівби ми пропонуємо альтернативний метод – використання простих за конструкцією, надійних і дешевих механічних сівалок, а на поверхні насіння овочевих (та інших дрібнонасінних)

© Кушнарьов А., Сербій Є., Мариніна Л., 2015

культур формування штучної оболонки задля отримання посівного матеріалу з однорідними властивостями, тобто універсалізувати фізико-механічні властивості насіння можна способом капсулювання, в результаті чого посівний матеріал набуває кулеподібної форми одного діаметра [2]. Тоді висівний апарат взаємодіє з капсулами кулястої форми, які мають один і той же коефіцієнт зовнішнього і внутрішнього тертя для різних культур овочів. Цим забезпечується як універсалізація висівних апаратів, так і овочевих сівалок.

Мета досліджень – визначити основні вимоги до фізико-механічних властивостей капсульованого насіння.

Виклад основного матеріалу. Ми вкладаємо в капсулювання дрібнонасінних овочевих культур основну ідею – отримати однорідний посівний матеріал, що забезпечує високу якість сівби простими та дешевими механічними сівалками. При цьому форма капсул, їх розмір та механічні властивості стають найважливішими характеристиками, які визначають якість сівби. До того ж за суміщеного посіву можна в капсулу одночасно поміщати насіння різних культур, добрива та засоби захисту насіння.

Оформлення насіння в глиняні кульки забезпечує такі переваги: всі капсули з насінням мають кулясту форму; зменшується стандартне відхилення розмірів капсул (практично до нуля); зменшується статичний і динамічний коефіцієнти тертя капсульованого насіння порівняно з необробленим насінням [3]; у разі руйнування капсули розміщене в ній насіння не травмується, а виділяється із зруйнованої маси глини [4].

Для обґрунтування вимог до капсульованого насіння овочевих культур в основу покладемо імітаційне моделювання, розроблене А. Кушнарьовим та Є. Сербієм для комірчасто-дискового висівного апарата [5]. Імітаційне моделювання складається з чотирьох етапів: 1) змістовний опис процесу; 2) створення формалізованої схеми процесу; 3) розроблення математичної моделі; 4) побудова алгоритму моделювання.

Перевагами імітаційного моделювання перед натурним експериментом є можливість глибше проникнути у фізичну суть складних процесів, істотно скоротити витрати на виготовлення експериментальних зразків, які передбачаються багатофакторним експериментом, скоротити час досліджень і фінансові витрати. Метод моделювання процесів на цифрових обчислювальних машинах дозволяє імітувати вплив випадкових чинників, чим повною мірою забезпечує прояв флуктуаційних властивостей деяких чинників у результатах досліджень, відзначається більшою точністю і простотою користування. Використання сучасних імітаційних моделей грунтується на ідеї методу Монте-Карло [6].

Розглянемо поставлення і рішення завдання «дослідження сівби капсульованого насіння овочевих культур» механічним комірчасто-дисковим висівним апаратом з горизонтальною віссю обертання. У процесі роботи капсула проходить три етапи: 1) заповнення комірки; 2) формування комірки; 3) перерозподіл насіння в борозні.

Задані параметри робочого органу висівного апарата: b_n – ширина клиноподрібної проточки диска; h_n – глибина клиноподрібної проточки диска; v_d – лінійна швидкість комірки диска; h_c – висота рівня насіння в насіннєвій камері; $v_{отн}$ – швидкість руху насіння відносно диска; S_z – довжина зони западання; t_z – час западання; D_k – діаметр комірки; H_k – глибина комірки; D_o – діаметр відбивача; E_o – пружність відбивача; $\alpha_н$ – кут нахилу виштовхувача; c_p – жорсткість пружини виштовхувача [5].

Ми ввели зміни в четвертий етап програми імітаційного моделювання – побудову алгоритму моделювання. Варійовані параметри: d_k – діаметр капсул; S_z – довжина зони западання; σ – середньоквадратичне відхилення розмірів капсул; f – коефіцієнт тертя капсул.

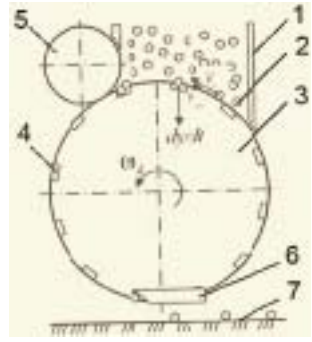

Рис. 1 – **Схема роботи комірчасто-дискового висівного апарата: 1** – насіннєва камера; **2** – насіння; **3** – висівний диск з клиноподібною проточкою; **4** – комірка; **5** – відбивач; **6** – клиноподібний виштовхувач; **7** – борозна [5]

Схема комірчасто-дискового висівного апарата наведена на рис. 1.

1. Поставлення і розв'язання задачі першого процесу звелося до розв'язання диференціального рівняння руху насіння у вигляді:

$$\frac{d^2y}{dt^2}+A\frac{dy}{dt}+Btg\tau-D\frac{dy}{dt}tg\tau=C \quad [5], \qquad (1)$$

де $A=2\frac{V_c}{R}\cdot f_{co}$,

$$B=-2(k-1)g\cdot ctg\alpha_4 f_{cd} n \quad [5]; \qquad (2, 3)$$

$$C=-2(k-1)gctg\alpha_4 n f_{cd} f_{co}+$$
$$+(k-1)\,gctg\alpha_4+g-\frac{V_c^2}{R} \quad [5]; \qquad (4)$$

$$D=2\frac{V_c}{R} \quad [5]. \qquad (5)$$

Із внесенням змін у четвертому етапі імітаційної моделі отримаємо:

$$tg\tau=\frac{R_2-y}{\sqrt{3R_1^2+2R_2y-y^2}}. \qquad (6)$$

де $f_{сн}$, f_{cd} = *const* – коефіцієнти внутрішнього тертя насіння та тертя по диску; V_c – абсолютна швидкість активного шару насіння, м/с; R_1, R_2 = *const* – радіуси насіння, яке западає і суміжного насіння, м; R = *const* – радіус висівного диска, м; y = *const* – занурення насіння в комірку, м; k = *const* – кількість насіння, розташованого уздовж лінії укладання; α_4 =45^0 – кут укладання насіння, град; n – положення насіння на вході до насіннєвої камери.

Постійні рівняння (1) містять геометричні та кінематичні параметри висівного диска, форми і розмірів висівних комірок (V_c, R, k), параметри фізико-механічних властивостей насіння (R_1, R_2, ,$f_{сн}$, f_{cd}).

2. Кут відбивання насіння, який знаходиться поверх комірок, визначають за формулою:

$$\delta = \arccos\frac{2d^2 - 4dR_1 - R_2^2}{2\sqrt{(d-R_1)^2(t+R_2^2)}}; \qquad (7)$$

$$\left.\begin{aligned}
\alpha &= \arccos\frac{2d^2 - 4dR_1 - R_2^2}{2\sqrt{(d-R_1)^2(t+R_2^2)}} - \\
&- \arccos\frac{d-R_1}{(d-R_2)\sqrt{2}} - \arcsin\frac{2+d-R_2\sin\delta}{R_2+2}; \\
\alpha_д &= \alpha - \arcsin\frac{r+a-R_2\sin\delta}{R_2+r-S} - \\
&- \arcsin\frac{r+a-R_2\sin\delta}{R_2+r} + \arccos\left(1-\frac{Sv_в}{R_2}\right); [5],
\end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

де $d = t$ – діаметр і глибина комірки, м; r – радіус активного виштовхувача, м; a – зазор між виштовхувачем та висівним диском, м; S – деформація активного виштовхувача, м; $v_в$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу виштовхувача; α – кут відбивання насіння, град.

Ці рівняння включають зв'язок геометричних параметрів диска та фізико-механічні властивості насіння.

3. Від вектора швидкості падіння насіння залежить його перерозподіл у борозні. У момент малого відхилення від вертикалі цього вектора насіння без відскакування і повздовжнього переміщення падає в борозну.

Завдання ставилося як коливальний рух активного виштовхувача і звелося до розв'язання рівняння [7]:

$$\frac{2\lambda}{V_{y1}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{m_в}{12}(l_1^2+l_2^2)+m_н(0{,}5l_1-h_1)^2+m_п h_2^2\right)V_{y1}^2+2\cdot\lambda\cdot m_o\cdot g\cdot h_2^2}{2h_1h_2gc_p\lambda}} + \frac{m_в}{3c_p}\times\arccos\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right), \qquad (9)$$

де $m_в$, $m_н$, $m_п$ – маса виштовхувача, насіння та пружини відповідно, кг; c_p – жорсткість пружини, Н/м; λ_0, λ – статичні та динамічні стиснення пружини, м; V_{y1} – вертикальна швидкість руху виштовхувача насіння з комірки, м/с; l_1, l_2 – довжина та висота виштовхувача, м; h_1 – відстань між центром обертання виштовхувача та пружиною; h_2 – відстань між центром обертання виштовхувача та насінням, м.

Рівняння (9) поєднує параметри активного виштовхувача, властивості насіння та кінематичні параметри висівного апарата.

Таким чином, усі три послідовні взаємодії насіння з робочими органами висівного апарата описуються рівняннями. Проте виникають певні проблеми.

Якщо геометричні та кінематичні параметри робочих органів висівного апарата можуть мати постійне значення, то фізико-механічні властивості насіння мають стохастичний характер. Таким чином, підставляючи середні значення фізико-механічних параметрів насіння, не можна відобразити реальність процесу сівби.

У результаті імітаційного моделювання процесу сівби капсульованого в глині насіння [4] визначено, що зменшення середньоквадратичного відхилення розмірів насіння підвищує точність сівби та зменшує ймовірність утворення «двійників» насіння та його дроблення (рис. 2-4).

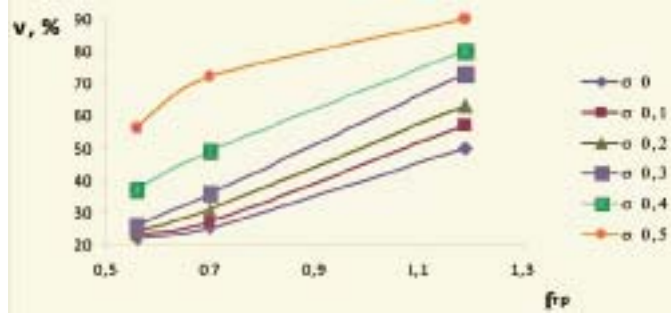

Рис. 2 – **Залежність точності сівби від коефіцієнта внутрішнього тертя насіння за різних середньоквадратичних відхилень розмірів насіння**

Рис. 3 – **Залежність коефіцієнта западання насіння в комірку від середньоквадратичного відхилення розмірів насіння**

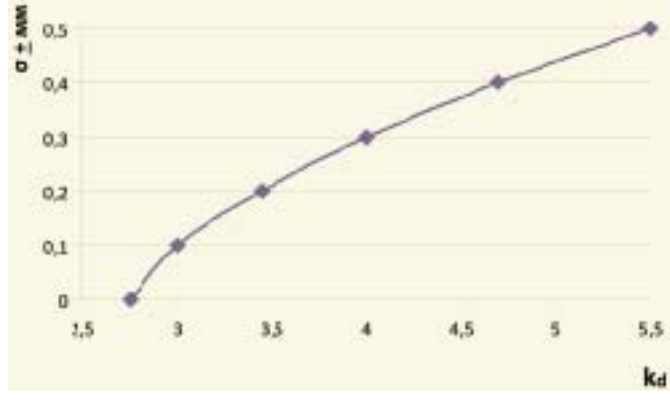

Рис. 4 – **Залежність коефіцієнта дроблення насіння від середньоквадратичного відхилення розмірів насіння**

Аналіз графіків, отриманих у результаті імітаційного моделювання показує, що точність сівби практично забезпечується за умов отримання насіння, коефіцієнт тертя якого рівний 0,5 та середньоквадратичне відхилення розмірів капсул σ становить $\pm$0,1...$\pm$0,2 мм.

Висновки. Таким чином, ми сформулювали вимоги до капсульованого насіння для точної сівби комірчасто-дисковим висівним апаратом: коефіцієнт тертя повинен бути не більше 0,6, а коефіцієнт варіації розмірів капсул – не більше 5-8 %.

Щоб універсалізувати фізико-механічні властивості насіння овочевих культур, потрібно формувати на поверхні насінини штучну оболонку способом капсулювання. Ми обираємо капсулювання насіння в глині способом утворення циліндричної капсули з насінням з наступним формуванням в дражираторі капсули кулеподібної форми.

Список літератури

1. Ткаченко Н. М. Семена овощных и бахчевых культур / Н. М. Ткаченко, Ф. А. Ткаченко. – М.: Колос, 1977. – 192 с.

2. Мариніна Л. Дослідження розмірно-масових характеристик капсульованого насіння / Л. Мариніна // Науковий огляд. 2014. – № 8. – С. 71-79.

3. Кушнарьов А. Дослідження процесу капсулювання насіння овочевих культур / А. Кушнарьов, Л. Мазурик // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 4. – С. 23-25.

4. Кушнарев А.С. Имитационное моделирование процесса высева капсулированных в глину семян овощей механическим ячеисто-дисковым высевающим аппаратом / А.С. Кушнарев, Е.К. Сербий, А.С. Кушнарев // Науковий вісник ТДАТУ. – Вип. 2. – Том 5. – Мелитополь, 2014. – С. 30-39.

5. Кушнарев А. Использование методов математического (имитационного) моделирования при разработке конструктивних и технологических параметров высевающего апарата / А. Кушнарев, Е. Сербий, С. Кушнарев, В. Шейченко // Техніка АПК. – № 3-4. – 2008. – С. 11-15.

6. Розробити методичні положення та технічні засоби для імітаційного моделювання технологічних операцій сільськогосподарських машин (посів овочевих культур, садіння картоплі, збирання зернових методом обчісування, сепарація та домолот обчесаного вороху): Звіт про НДР (заключний) / УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Керівник роботи А.С. Кушнарьов. – № держреєстрації 0110U005922. – Дослідницьке, 2010. – 70 с.

7. Сербій Є.К. Обгрунтування конструктивних та технологічних параметрів висівного апарату овочевої сівалки: дис. … канд. техн. наук: 05.05.11 / Сербій Є. К. – Мелітополь, 2007. – 209 с.

Аннотация. *В статье приведены требования к размерным характеристикам и коэффициентам трений капсулированных семян, которые определены с помощью имитационного моделирования работы ячеисто-дискового высевного аппарата.*

Summary. *The article states the requirements for dimensional characteristics and friction coefficient of encapsulated seeds, determined by means of simulation of cellular-disk sowing machine.*

Стаття надійшла до редакції 14 квітня 2015 р.