

УДК 631.365:633.34

© Р.В.Кірчук, к.т.н., О.В.Голій, к.т.н., К.Є.Копець, А.Е.Іванкевич
Луцький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ НАСІННЯ СОЇ У ПРИСТРОЇ ПІДГОТОВКИ ДО СУШІННЯ

Запропоновано математичну модель руху зерен сої поверхню конуса, який обертається, та проведено числовий експеримент, що дає змогу встановити параметри пристрої підготовки зерен сої до сушіння для отримання олії.

**ЗЕРНА СОЇ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, СУШІННЯ, НАДРІЗ
ЗЕРНИНИ, ПРИСТРІЙ ПІДГОТОВКИ ДО СУШІННЯ.**

Постановка проблеми. Для покращення енергоефективності процесу сушіння насіння сої, з подальшою переробкою її на олію,

пропонується перед процесом сушіння виконувати надріз насінин (рис.1). Це призводить до часткового збільшення площі контакту сушильного агента із матеріалом, утворення нових поверхонь випаровування вологи, інтенсифікації тепло-масообмінних процесів у зернині сої. Досягти такого результату дозволяє пристрій попередньої підготовки матеріалу до сушіння, що встановлюється у механізмі завантаження сушарки (рис.2).

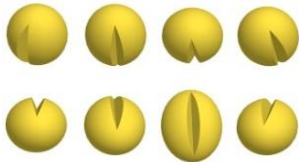


Рис.1 - Підготовлені (надрізані) зерна сої

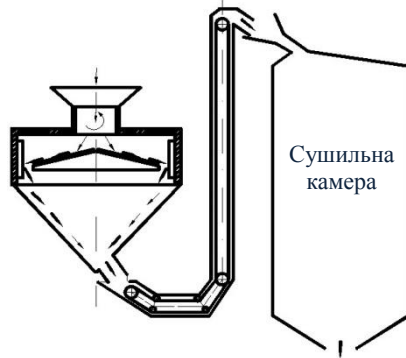


Рис.2 - Функціональна схема пристрою підготовки зерен сої до сушіння у комплексі з сушаркою

Згідно запропонованої технології пристрій підготовки насіння сої до сушіння являє собою конусоподібний диск із прямолінійними лопатками. Конус обертається навколо вертикальної осі. При обертанні конуса насінина ковзає вздовж лопаток, вилітає та вдаряється об загострену кромку деки.

Для визначення геометричних та кінематичних параметрів механізму необхідно розробити математичну модель переміщення насіння поверхнею конуса.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання аналізу руху зернового матеріалу поверхнями робочих органів сільськогосподарських машин і агрегатів присвячено багато уваги [1 – 4]. Розроблені моделі переміщення зерен сільськогосподарських матеріалів і на обертових конусоподібних поверхнях [5]. Однак мало уваги приділено моделюванню руху саме зерен сої та не враховано вплив повітряних потоків, що виникають у подібних механізмах. Наявність спрямовуючих лопаток на поверхні конуса пристрої підготовки зерен сої до сушіння зумовлює появу вертикально

спрямованого повітряного потоку, величина якого змінюється за радіусом конуса.

Мета дослідження – розробити математичну модель руху зерен сої поверхню конусоподібного диска з метою встановлення геометричних та кінематичних параметрів пристрою підготовки сої до сушіння, що є складовою частиною механізму завантаження сушарки.

Результати дослідження. Розглянемо конусоподібний диск із чотирма лопатками, що обертається навколо осі Z зі сталою кутовою швидкістю ω (рис.3).

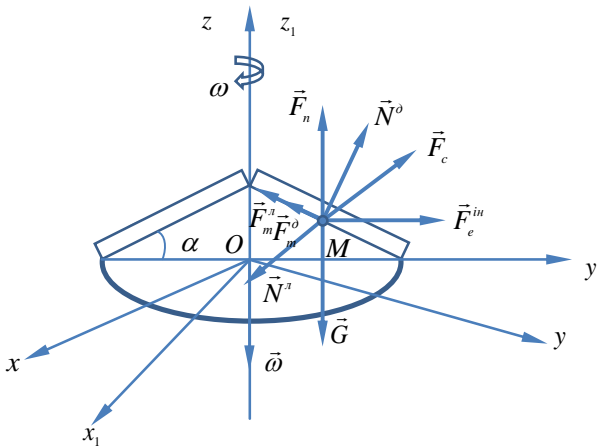


Рис. 3 - Розрахункова схема руху насінини сої поверхню диска

На поверхні диска розміщена насінинка сої масою m . При обертанні диска вона ковзає по диску і вздовж лопатки. Коефіцієнт тертя ковзання насіння сої і металу f .

Введемо нерухому $Oxyz$ та рухому систему координат $Ox_1y_1z_1$ з центром в т. O , що розміщена на основі уявного конуса.

Система координат $Ox_1y_1z_1$ обертається разом з диском навколо осі Oz_1 і є інерційною системою, тому рух точки M відносно диска буде описуватись диференційними рівняннями відносного руху.

При рівномірному обертанні диска переносне прискорення \vec{W}_e точки M складається лише з до осьової складової, величина якої $W_e = \omega^2 y_{1r}$. Тоді переносна сила інерції $F_e^{in} = m\omega^2 y_{1r}$ і направлена вздовж осі Oy_1 .

Вектор коріолісового прискорення \vec{W}_c направлений паралельно осі Ox_1 у бік зростання координати x_1 . Отже, коріолісова сила інерції $F_c^{in} = 2m\omega y_{1r}$, і направлена вздовж осі Ox_1 у протилежний бік до додатного напрямку.

Під дією сили ваги \vec{G} насінина тисне на поверхню диска, і при русі насінини у бік зростання координати y_{1r} виникає сила тертя \vec{F}_m° . Ця сила має напрям протилежний до напрямку вектора відносної швидкості насінини, тобто вздовж осі Oy_1 . За модулем, сили тертя визначається як $F_m^{\circ} = fN^{\circ}$. Внаслідок дії коріолісової сили \vec{F}_c^{in} насінина тисне на поверхню лопатки. Виникає сила тертя \vec{F}_m^{\prime} , що становить $F_m^{\prime} = fN^{\prime}$. Ця сила тертя має напрям також протилежний до напрямку вектора відносної швидкості насінини. Отже, обидві сили тертя мають один і той же напрям (рис. 1).

При обертанні лопаток диска спостерігається утворення повітряного потоку, що може впливати на характер руху насінини. Сила повітряного потоку визначається за формулою Ньютона:

$$F^n = k \cdot \gamma_n \cdot S (V_n - V_r)^2, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт опору повітря;

γ_n – об'ємна маса повітря, кг/м^3 ;

S – міделевий переріз, тобто проекція насінини на площину, перпендикулярну до напрямку повітряного потоку, м^2 ;

V_n, V_r – швидкості відповідно повітряного потоку та насінини у відносному русі, м/с .

При відносній швидкості $V_r = 0$ матимемо $F^n = G$. Тобто насінина перебуватиме у завислому стані, що відповідає критичній швидкості повітряного потоку $V_n = V_{кр}$. З літературних даних відомо, що для насіння сої $V_{кр} = 9,5 \dots 12,5 \text{ м/с}$ [6]:

$$k \cdot \gamma_n \cdot S = \frac{G}{V_{кр}^2}. \quad (2)$$

І формула (1) набере виду:

$$F^n = \frac{G}{V_{кр}^2} (V_n - V_r)^2, \quad (3)$$

або

$$F^n = \frac{G}{V_{kp}^2} (V_n - \dot{z}_{1r})^2. \quad (4)$$

За експериментальними даними отримана емпірична залежність зміни величини швидкості повітряного потоку з радіусом диска. Лінеаризуючі отриманий масив експериментальних даних встановлено:

$$V_n(y_{1r}) = a - b \cdot y_{1r},$$

де a, b - константи емпіричної залежності. Розмірність $[a]$ м/с, $[b]$ c^{-1} .

Для прикладу, при частоті обертання диска 55 об/хв емпірична залежність матиме вигляд: $V_n = 6,3 - 0,1 \cdot y_{1r}$.

Рівняння (4) можна записати так:

$$F^n = \frac{G}{V_{kp}^2} \left((a - b \cdot y_{1r}) - \dot{z}_{1r} \right)^2. \quad (5)$$

Таким чином, на насініну сої при її відносному русі діють такі сили: сила ваги насінини \vec{G} , сили тертя $\vec{F}_m^\delta, \vec{F}_m^\lambda$, реакції поверхонь N^δ, N^λ , переносна F_e^{ih} і коріолісова сили F_c^{ih} інерції, сила дії повітряного потоку F^n , що спричинена збуреним лопатками диска потоком повітря. Рівняння динаміки відносного руху насінини сої матиме вигляд [7,8]:

$$m\vec{W}_r = \vec{G} + \vec{F}_m^\delta + \vec{F}_m^\lambda + \vec{N}^\delta + \vec{N}^\lambda + \vec{F}_e^{ih} + \vec{F}_c^{ih} + \vec{F}^n. \quad (6)$$

Проектуючи це рівняння на осі Ox_1, Oy_1 та Oz_1 матимемо:

$$m\ddot{x}_{1r} = N^\lambda - F_c^{ih}; \quad (7)$$

$$m\ddot{y}_{1r} = F_e^{ih} - F_m^\delta \cos \alpha - F_m^\lambda \cos \alpha + N^\delta \sin \alpha; \quad (8)$$

$$m\ddot{z}_{1r} = N^\delta \cos \alpha - G + F^n. \quad (9)$$

Формуючі початкові умови поставленої задачі, можна записати $x_{1r} = 0$ і $\dot{x}_{1r} = 0$. Тоді з рівняння (7) випливає, що $N^\lambda = F_c^{ih}$. Тобто $N^\lambda = 2m\omega\dot{y}_{1r}$.

Виходячи з умови постійного контакту насінини із поверхнею диска ($N^\delta > 0$) та того, що рух насінини відбувається вздовж лопатки, можна записати:

$$z_{1r} = (R - y_{1r}) \sin \alpha. \quad (10)$$

Підставляючи (10) у рівняння (9) можна визначити невідому реакцію N^0 .

$$N^0 = \frac{\frac{m \cdot d^2 [(R - y_{1r}) \sin \alpha]}{dt^2} + mg - \frac{mg}{V_{kp}^2} \left[(a - by_{1r}) - \frac{d[(R - y_{1r}) \sin \alpha]}{dt} \right]^2}{\cos \alpha}, \quad (11)$$

або

$$N^0 = \frac{m \cdot \ddot{y}_{1r} \sin \alpha + mg - \frac{mg}{V_{kp}^2} [(a - by_{1r}) + \dot{y}_{1r} \sin \alpha]^2}{\cos \alpha}. \quad (12)$$

Для отримання рівняння руху насінини сої вздовж радіуса диска слід підставити значення реакції N^0 з рівняння (12) в (8). Після перетворень та спрощень отримаємо:

$$\ddot{y}_{1r} = \frac{\omega^2 y_{1r} - 2\omega f \cdot \dot{y}_{1r} \sin \alpha + (tg \alpha - f) \left[g - \frac{g}{V_{kp}^2} ((a - b \cdot y_{1r}) + \dot{y}_{1r} \sin \alpha)^2 \right]}{1 - \sin \alpha (tg \alpha - f)}. \quad (13)$$

На основі розробленої математичної моделі (13) можна виконати числовий експеримент в системі MathCad (рис.4, рис. 5), що дасть змогу взаємопов'язувати вхідні параметри пристрою підготовки сої до сушіння, а саме: кутову швидкість обертання диска ω , кута його нахилу α із вихідними параметрами: радіусом диска r , часом перебування насінини на диску, швидкістю вильоту насінини в зону надрізання V .

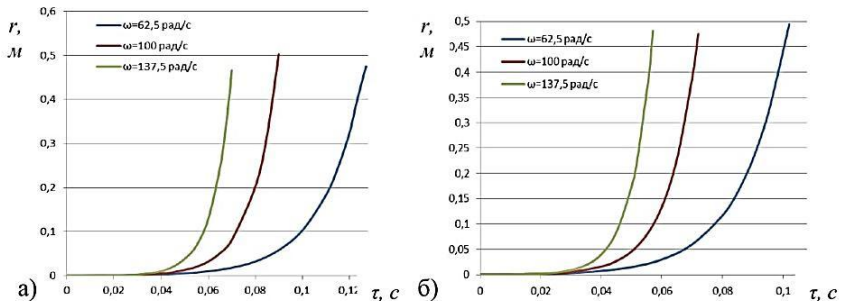


Рис.4 – Графік переміщення зернини сої з часом:
а) кут нахилу диска $\alpha=30^0$; б) $\alpha=40^0$

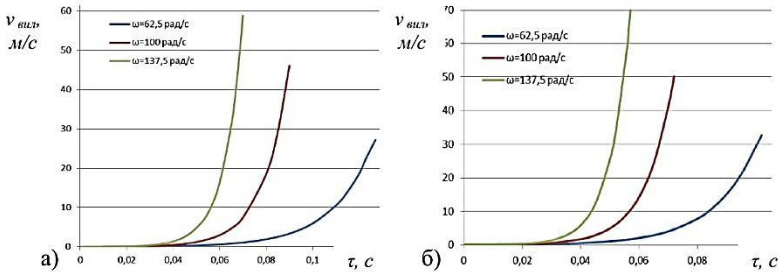


Рис.5 - Графік зміни швидкості зернини сої з часом:
 а) кут нахилу диску $\alpha=30^{\circ}$; б) $\alpha=40^{\circ}$

Висновки. Для зменшення енерговитрат на процес сушіння зерен сої пропонується виконувати попередню підготовку матеріалу до сушіння шляхом надрізу оболонки насінини. Механізм, що виконує дану операцію рекомендується встановлювати у завантажувальному пристрої сушарки. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано математичну модель та проведено числовий експеримент, що дало змогу встановити кінематичні та геометричні параметри механізму підготовки зерен сої до сушіння:

Література

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозйственных машин.- К.: Изд.УАСХН,1960.-283с.
2. Василенко П.М. Методика построения расчентых моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов). Учебное пособие / П.М. Василенко, В.П. Василенко – К: КИСМ, 1980. – 138 с.
3. Заика П.М. Избирательные задачи земледельческой механики: Практ. пособие.-Л: Изд-во УСХА, 1992.-512с.
4. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ // Навч. посібник / В.П.Ковбаса, В.М.Швайко, О.П.Гуцол. - Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2015.-536с.
5. Гевко Б.М. Математична модель руху зерна по рухомих поверхнях висівних апаратів //Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки №11т.1(65), 2012р.- с. 113-118.

6. Л.В. Пешук. Біохімія та технологія оліє-жирової сировини [Електронний ресурс]: - Режим доступу http://b-ko.com/book_407.html

7. Бондаренко А.А., Дубінін О.О., Переяславцев О.М. Теоретична механіка: Підручник: У 2 ч.-Ч.2:Динаміка.-К.:Знання, 2004.-590с.

8. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник.- К.:Техніка, 2002.-512с.:іл.

Рецензент д.т.н., проф. В.Ф. Дідух