

УДК 631.3:6311/6

МАТЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОРОБКИ НАСІННЄВОЇ МАСИ ОВОЧЕБАШТАННИХ КУЛЬТУР РОТОРНИМ СЕПАРАТОРОМ

Пастушенко С.І

Огієнко М.М

Чорноморський державний університет імені Петра Могили

Приведено результати математичного моделювання процесу руху крупної фракції технологічної маси овоче-баштанних культур. Отримано диференціальне рівняння розрахунку автоколивань частинок кірки огірка і дині при переміщенні вздовж внутрішньої поверхні барабана похилого циліндричного сепаратора.

The results of mathematical design of process of motion of large faction of technological mass of vegetables and melon cultures are resulted. Differential equalization of calculation of particles of crust of cucumber and melon is got at moving along the internal surface of drum of sloping cylinder separator.

Постановка проблеми

Галузь виробництва насіння овоче-баштанних культур на сьогоднішній день має проблему відсутності сучасного обладнання, яка потребує термінового вирішення шляхом створення нових високопродуктивних машин. Розробка технологічного обладнання для механізованого отримання насіння овоче-баштанних культур здійснюється за умови теоретичного обґрунтування процесу роботи машини [1].

Для довиділення залишків насіння із попередньо переробленої технологічної маси овоче-баштанних культур створено похилий циліндричний сепаратор [2], який може використовуватися як самостійна установка для отримання насіння, або як окремий елемент потокової лінії для доробки технологічної маси. Циліндричний роторний сепаратор (рис. 1) являє собою сітчастий барабан, що обертається, навколо центральної осі під кутом до горизонту. Крупні частинки кірки дині або огірка подаються на внутрішню поверхню барабана. Параметри роторного сепаратора (діаметр, число обертів в хвилину, нахил) підбираються так, щоб переміщення об'ємних мас по решету відбувалося без відриву від поверхні барабану, для забезпечення тертя кірки, інтенсифікуючи при цьому процес просіювання насіння крізь решето.

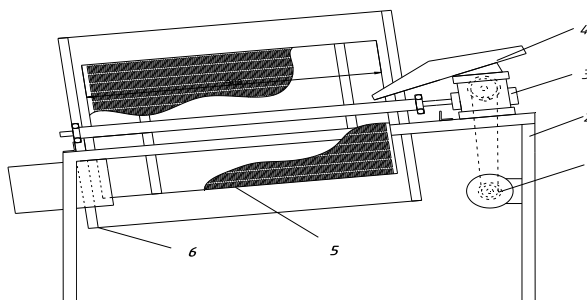


Рис. 1. Схема циліндричного роторного сепаратора
1 – електродвигун; 2 – рама; 3 – редуктор; 4 – подавальний лоток;
5 – сітчастий барабан; 6 – підбарабання

Безвідривний рух подрібнених мас складається з їх періодичних підйомів і опускань у внутрішній поверхні сепаратора (рис. 2). З погляду теорії коливань ці переміщення являються автоколиваннями. За своєю сутністю автоколивання в сепараторі близькі до автоколивань маятника Фруда – маятника на валу, що обертається [3]. У цих автоколивальних системах відбувається періодичне зростання сил (моментів) тертя і поновлюючих сил. Найбільш складним процесом є процес дії сил тертя [4].

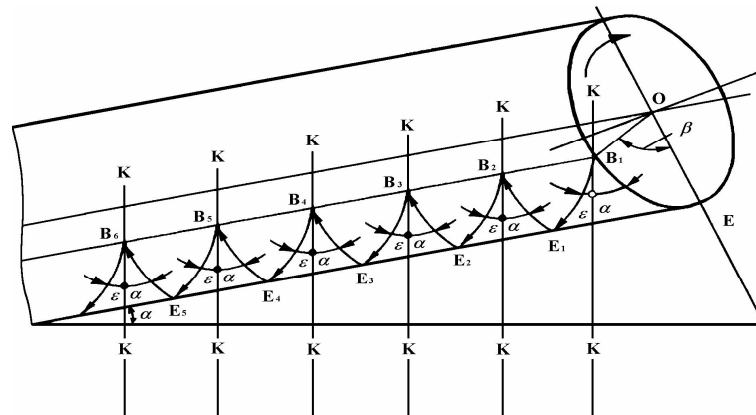


Рис. 2. Схема руху матеріалу в похилому циліндричному сепараторі

Для дослідження процесів, що протікають у сепараторі потрібно обґрунтувати математичну модель руху кірки вздовж барабана при різних умовах роботи, що дасть можливість визначити час протирання кірки та висоту її піднімання, т.я. ці параметри суттєво впливають на якість відокремлення насіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивченню механізмів тертя і їх математичним моделям присвячено велика кількість робіт. Слідуючи [5], розглянемо основні положення процесу визначення коефіцієнту тертя. Р.Амонт і Ш.Кулон ввели поняття коефіцієнта тертя як відношення сили тертя до навантаження

$$F_{mp} = f_{mp} \cdot N, \quad (1)$$

де N – сила нормального тиску; F_{mp} – сила тертя; f_{mp} – коефіцієнт тертя.

Значення коефіцієнта тертя для різних пар матеріалів приводяться в різних фізико-технічних довідниках, наприклад в [6].

Подальші дослідження відомих вчених показали, що коефіцієнт тертя залежить не тільки від виду матеріалу тіл, що труться, але і від ступеня обробки поверхонь і їх змащення. Далі з'ясувалося, що сила статичного тертя (при зрушуванні з місця) відрізняється від сили тертя руху. Кулон вивчав силу тертя при повільному зсуві контактуючих тіл.

Відомо, що введення мастила і просто змочування водою зменшує тертя. Теорія змащування (в'язкого тертя) була дана вперше Рейнольдсом в 1886 р. Якщо змащування недостатньо, то діють всі три механічні сили тертя: сила статичного опору здвигу з місця, кулонова сила і сила в'язкого тертя. У 1902 р. Штробек експериментально показав, що за відсутності змащування сила тертя при зрушенні не падає відразу до кулонової сили, а відбувається поступове її зниження.

Залежність коефіцієнта тертя від швидкості ковзання (відносного руху поверхонь, що труться) крупної кірки дині чи огірка в найбільшій мірі відображається рівнянням запропонованим И.В. Крагельським і В.С. Щедровим [7] у вигляді:

$$f_{mp} = (a + b \cdot |v|) e^{-c|v|} + d, \quad (2)$$

де a, b, c, d – постійні, що характеризують режим ковзання і властивості матеріалів пари (подрібнена кірка, м'якоть, решітне полотно); $|v|$ – відносна швидкість руху кірки вздовж барабана сепаратора.

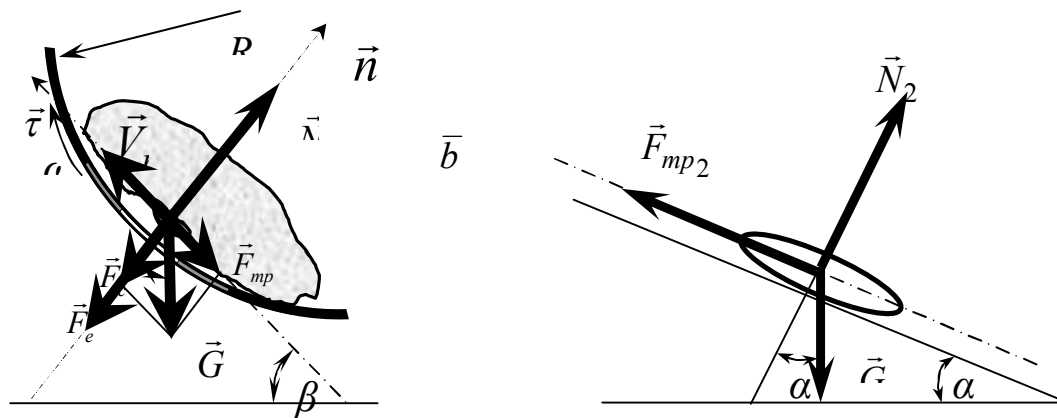


Рис. 3. Схема сил, що діють на насінину

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо математичну модель роботи циліндричного сепаратора, як випадок квазістатки (постійного малого прослизання) частинки на внутрішній поверхні барабана. Сили, що діють на насінину в її відносному русі показано на рис. 3.

Вважаємо, що тіло знаходиться в умовах рівноваги дії сил

$$G \cdot \sin \beta - F_{mp} = 0, \quad (3)$$

де β – кутова координата; G – вага тіла ($G = mg$); m – маса тіла; F_{mp} – сила тертя.

Силу тертя визначимо з урахуванням обертання

$$F_{mp} = (G \cdot \cos \beta + C) f_{mp}, \quad (4)$$

де C – відцентрова сила тиску

$$C = m \frac{V_0^2}{R}, \quad (5)$$

де V_0 – постійна окружна швидкість; R – радіус.

Підставляючи (3), (4) в (5), одержимо рівняння для рівноважної швидкості обертання тіла

$$V_0 = \sqrt{Rg \left(\frac{\sin \beta}{f_{mp}} - \cos \beta \right)}, \quad (6)$$

враховуючи, що

$$V_0 = \frac{\pi R n}{30}, \quad (7)$$

де n - число обертів сепаратора. Знайдемо число обертів барабана з (7)

$$n = \left(\frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{R}{g}} \left(\frac{\sin \beta}{f_{mp}} - \cos \beta \right) \right)^{1/2}. \quad (8)$$

Приймаючи $\beta \approx \frac{\pi}{4}$, як найменший кут піднімання кірки, одержуємо рівняння зв'язку числа обертів і радіусу сепаратора:

$$n \approx \frac{18}{\sqrt{R}}, \quad (9)$$

Розглянемо динаміку руху кірки деякої маси m по внутрішній поверхні сепаратора. Поточне її положення визначимо кутовою координатою $\beta(t)$.

Рівняння динаміки кірки в загальному вигляді

$$\sum_{i=1} M_i = 0, \quad (10)$$

де M_i – i -тий момент, що діє на тіло.

Момент сили інерції

$$M_1 = J\ddot{\beta} \quad (11)$$

де $\ddot{\beta}$ – кутове прискорення; J – момент інерції тіла:

$$J = mR^2. \quad (12)$$

Момент сили скочування:

$$M_2 = mg R \sin \beta. \quad (13)$$

Момент сили тертя:

$$M_3 = -f_{mp} \left[mg \cos \beta + m \frac{(R\dot{\beta})^2}{R} \right] R. \quad (14)$$

Підсумовуючи моменти з врахуванням їх знаків, одержуємо

$$\ddot{\beta} m R^2 + mg \sin \beta - f_{mp} \left[mg \cos \beta + m \frac{(R\dot{\beta})^2}{R} \right] R = 0. \quad (15)$$

тут $\dot{\beta}$ – кутова швидкість. Після ряду перетворень

$$\ddot{\beta} + \left(\sqrt{\frac{g}{R}} \right)^2 \sin \beta = f_{mp} \left[\dot{\beta}^2 + \left(\sqrt{\frac{g}{R}} \right)^2 \cos \beta \right]. \quad (16)$$

На рис. 4 і 5 приведені результати розрахунку автоколивань кірки всередині барабана по рівнянню (16) при постійному значенні коефіцієнту тертя в межах 0,3...0,4 при якому можливе протирання кірки по решету.

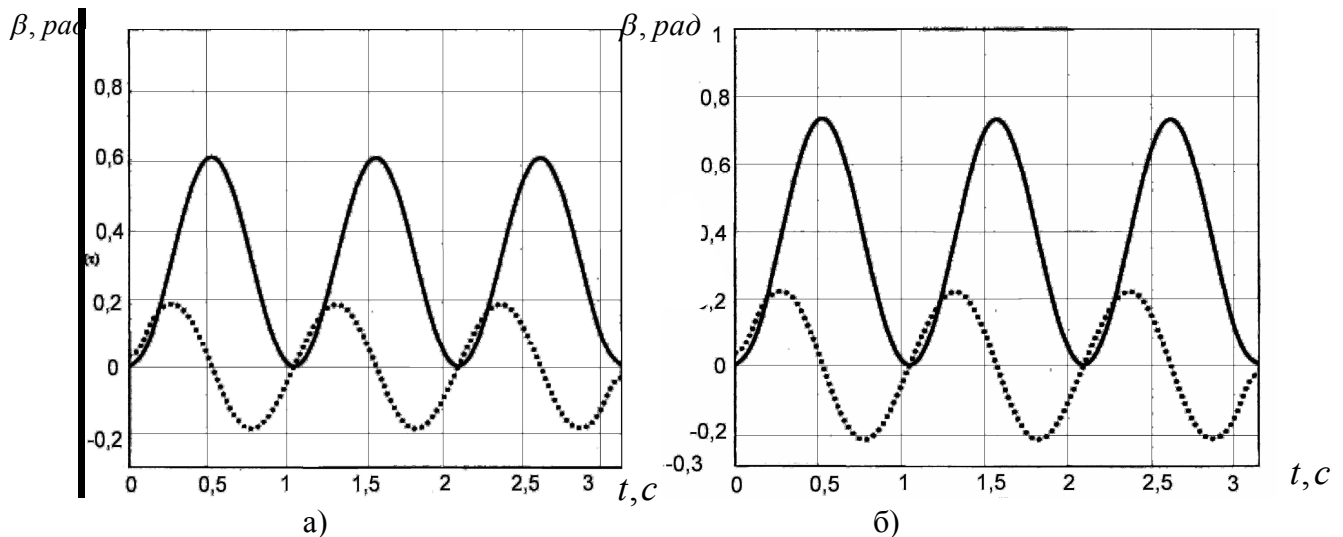


Рис. 4. Автоколивання тіла по колу сепаратора, при а) $f_{mp} = 0,3$, б) $f_{mp} = 0,35$

— $-\beta(\tau)$; $0,1 \cdot d/dt \cdot \beta(\tau)$

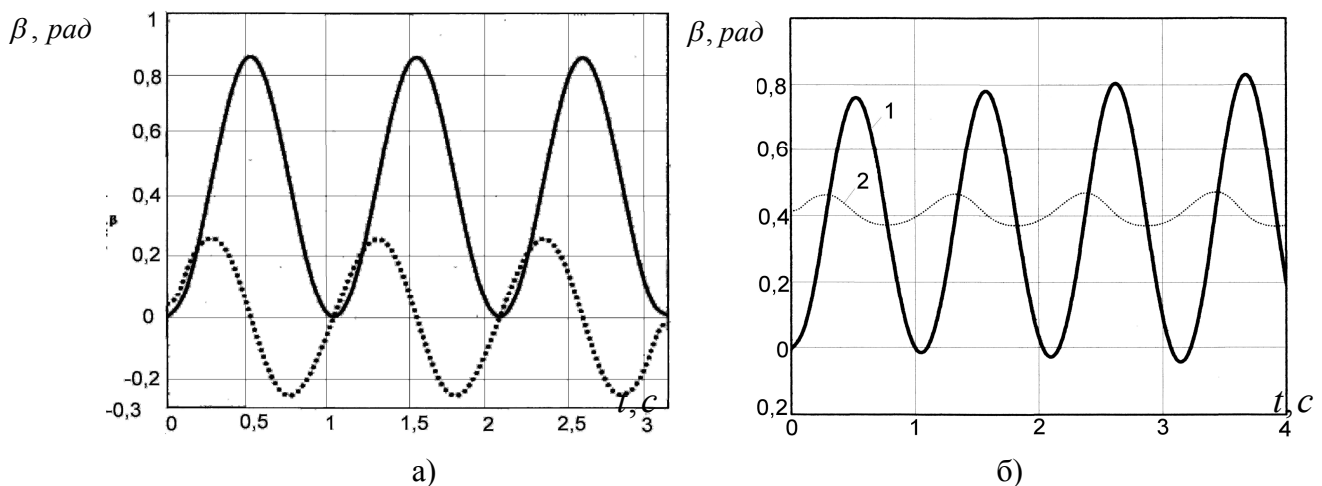


Рис. 5. Автоколивання тіла по колу перетину сепаратора, при

а) $f_{mp} = 0,4$, б) 1. $\beta(t)$; 2. $f_{mp} = 0,35 + 0,2|6 - \beta|e^{-0,5|6 - \beta|}$

З рис. 4, 5, а, видно, що в межах зміни коефіцієнта тертя від 0,3 до 0,4 спостерігається лінійне підвищення амплітуди (в радіанах) піднімання кірки. На рис. 5, б приведені результати розрахунку автоколивань кірки по рівнянню (16) при змінному коефіцієнті тертя. При збільшенні коефіцієнту тертя коливальний рух кірки неможливий, так як вона буде рухатися разом з барабаном без протирання.

Аналізуючи отримані графічні залежності спостерігаємо збільшення кута підйому кірки при зміні коефіцієнту тертя, в зв'язку з цим можна стверджувати, що для робочої поверхні сепаруючого барабана потрібно підбирати матеріали, які забезпечують рух фрагментів кірки з коефіцієнтом тертя 0,37...0,4, при даних значеннях параметру збільшується шлях проходження кірки по внутрішній поверхні барабана, і цим забезпечується більш повне відділення насіння.

Висновки

В статті наведено результати математичного моделювання руху крупної фракції технологічної маси овоче-баштанних культур, а саме дині і огірка. Отримано рівняння розрахунку автоколивань частинок кірки та побудовано діаграми залежностей кута підйому кірки вказаних культур при різних значеннях коефіцієнта тертя ($f_{mp} = 0,3 \dots 0,4$) що дозволило, аналізуючи графіки, визначити висоту ($\beta = 0 \dots 1$ рад.) підйому кірки та час її проходження вздовж барабана сепаратора для кожного з значень коефіцієнта тертя.

Література

1. Анисимов И.Ф. Машины и поточные линии для производства семян овоощебахчевых культур / И.Ф Анисимов.- Кишинев: Штиинца, 1987.
2. Пат. 30735 U України, A23N15/00. Циліндричний сепаратор насіння овоче-баштанних культур / Огієнко М.М., Пастушенко С.І, Горбенко О.А., Думенко К.М. – заявл. 09.11.07; Опубл. 11.03.08. Бюл. №5.
3. Алешкевич В.А., Ахметьев В.М. Автоколебания в курсе общей физике// Физическое образование в вузах. Т.8 №3, 2002. – С.7 -13.
4. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: Учебник для технических вузов. – М.: Машиностроение, 2001. – 352 с.
5. Первозванский А.А. Трение – сила знакомая, но таинственная//Саратовский образовательный журнал, №2, 1998.–С. 129 – 134.
6. Эберт Г. Краткий справочник по физике. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.
7. Справочник по триботехнике. Том 1. Теоретические основы. – Варшава: Машиностроение, 1989. – 397 с.