

УДК 621.928:167

І.М. Дударев

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИЗМАТИЧНОГО СЕПАРАТОРА

У статті обґрунтовано конструкцію призматичного сепаратора та наведено результати теоретичного дослідження процесу його роботи.

Ключові слова: *призматичний сепаратор, рух частинки матеріалу, переміщення.*

Постановка проблеми. Сепаратори широко використовуються для попередньої очистки зернової маси, а також для сепарування різних сипких матеріалів. Найбільш поширені сепаратори, що мають плоскі решета, які здійснюють коливний рух, та циліндричної форми, що обертаються. Циліндричні сепаратори мають низку переваг в порівнянні з сепараторами з плоскими решетами: не потребують врівноваження, відрізняються плавністю ходу та простим приводом, для них не потрібні розрівнювачі шару матеріалу. За якістю очищення циліндричні сепаратори поступаються машинам з плоскими решетами. Це пояснюється тим, що у циліндричних решіт практично відсутня складова відносно швидкості переміщення матеріалу робочою поверхнею. Таким чином, дослідження спрямовані на обґрунтування конструкції сепаратора з врахуванням переваг циліндричних сепараторів та сепараторів з плоскими решетами, а також дослідження роботи запропонованого сепаратора є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових працях [1–3] представлено ґрунтовний аналіз роботи циліндричних сепараторів та сепараторів з плоскими решетами. Однак, робота призматичного сепаратора, конструкція якого пропонується, є малодослідженою, тому потребує більш ґрунтового аналізу.

Мета дослідження – обґрунтування конструкції призматичного сепаратора та дослідження його роботи.

Результати дослідження. Для сепарування сипких матеріалів пропонується конструкція призматичного сепаратора (рис. 1) [4], який містить раму та каркас, що виконаний з можливістю обертання. Каркас виконаний у вигляді ребер горизонтально розміщеної правильної призми. До ребер каркаса з зовнішньої сторони кріпляться змінні решета. Каркас з решетами утворює робочу камеру сепаратора. Крім того, до ребер з внутрішньої сторони кріпляться спрямовувачі, які встановлюються перпендикулярно до поверхні змінних решіт та під кутом до ребер каркаса, що забезпечує переміщення матеріалу вздовж горизонтальної осі сепаратора. З торців до каркаса кріпляться завантажувальна та вивантажувальна конусоподібні горловини. Каркас розташований в кожусі, що нерухомо кріпиться на рамі. У нижній частині корпусу кожуха передбачено жолоб з вивантажувальним шнеком. У торцевих кришках кожуха передбачено отвори для завантажувального та вивантажувального лотків. З внутрішньої сторони до кришки кожуха прикріплено підпружинений чистик.

Під час роботи сепаратора матеріал, що підлягає сепарації, через завантажувальний лоток надходить у завантажувальну конусоподібну горловину, звідки спрямовується на внутрішню поверхню змінних решіт, що прикріплені до ребер каркаса. Під час обертання каркаса від привода відбувається ковзання матеріалу поверхнями змінних решіт та пересипання з одного на інше. Внаслідок цього дрібні частинки матеріалу проходять через отвори в решетах, а решета матеріалу рухається вздовж спрямовувачів внаслідок підпору наступних порцій матеріалу та вивантажується з сепаратора через вивантажувальну конусоподібну горловину та вивантажувальний лоток. Дрібні частинки матеріалу сходять внутрішньою поверхнею корпусу кожуха в жолоб, з якого вивантажуються вивантажувальним шнеком. Під час обертання каркаса підпружинений чистик очищає змінні решета від залишків матеріалу. Для сепарування різних матеріалів використовують набір змінних решіт з отворами різної форми та розмірів.

Дослідимо процес переміщення частинки матеріалу (матеріальної точки A) внутрішньою поверхнею грані сепаратора (решетом) вздовж спрямовувача (рис. 2 а). Робоча камера сепаратора здійснює обертальний рух з кутовою швидкістю ω навколо горизонтальної осі, що проходить через точку O . Розташуємо початок нерухомої системи координат XYZ в точці O , спрямувавши вісь OX вздовж горизонтальної осі робочої камери в напрямку переміщення матеріалу сепарато-

ром. Початок рухомої системи координат xuz розташуємо у точці B , що відповідає розміщенню частинки матеріалу у крайньому верхньому положенні на грані (решеті) біля спрямовувача (початкове положення частинки матеріалу співпадає з точкою B). Вісь Bx спрямуємо вздовж спрямовувача у напрямку відносного руху частинки матеріалу, що має місце під час обертання робочої камери. Вісь Bz спрямуємо перпендикулярно до площини грані, якою переміщується частинка матеріалу, всередину сепаратора. Вісь Bu розташуємо в площині грані так, як показано на рис. 2, а. Спрямовувач встановлений під кутом β до горизонталі (ребра), що лежить в площині грані.

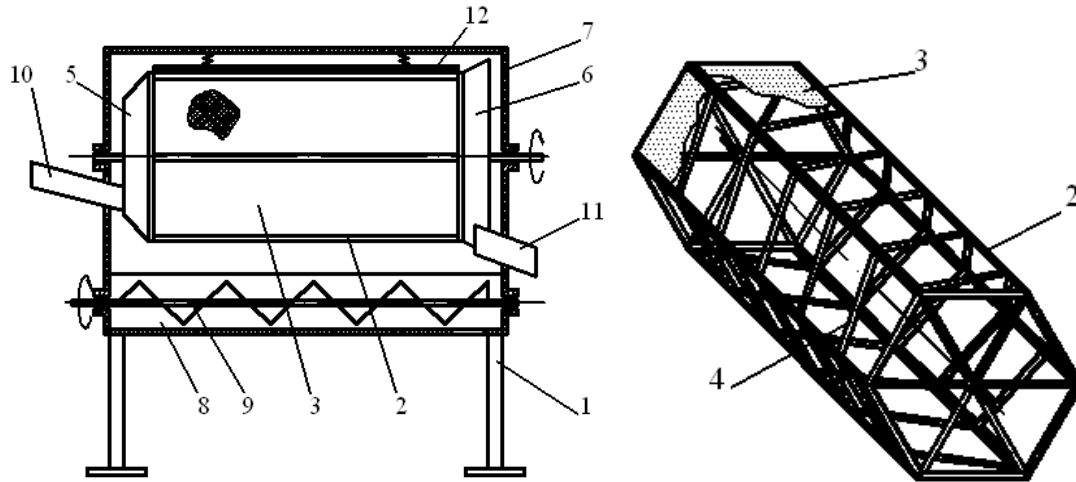


Рис. 1. Призматичний сепаратор: 1 – рама; 2 – каркас; 3 – решета; 4 – спрямовувачі; 5 – завантажувальна конусоподібна горловина; 6 – вивантажувальна конусоподібна горловина; 7 – кожух; 8 – жолоб; 9 – вивантажувальний шнек; 10 – завантажувальний лоток; 11 – вивантажувальний лоток; 12 – чистик.

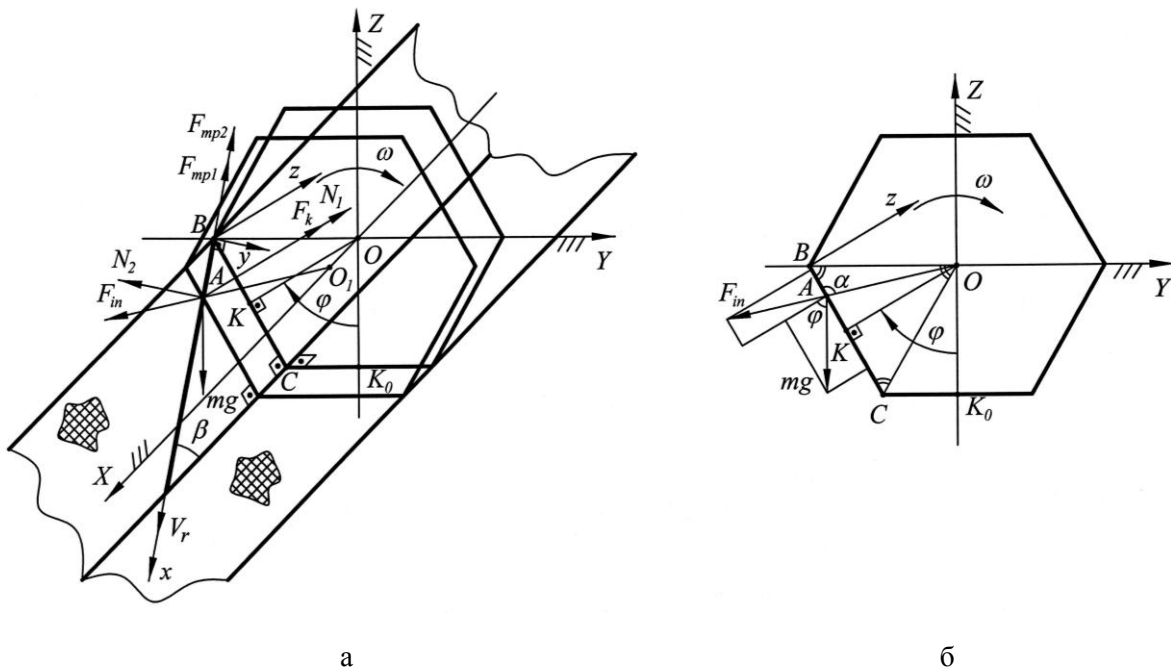


Рис. 2. Розрахункові схеми призматичного сепаратора

Під час рівномірного обертання робочої камери сепаратора на частинку матеріалу (матеріальну точку A) будуть діяти: сила інерції переносного руху F_{in} , яка спрямована вздовж відрізка, що визначає відстань від горизонтальної осі обертання робочої камери до точки A ; коріолісова сила інерції F_k , яка спрямована паралельно осі Bz . Розглянемо сили тертя, що діють на частинку

матеріалу. Під дією сили ваги частинки матеріалу mg (m – маса частинки матеріалу, кг; g – прискорення вільного падіння, m/c^2) та сили інерції переносного руху F_{in} частинка тисне на поверхню грані і під час руху частинки вздовж спрямовувача виникає сила тертя F_{mp1} . Ця сила має напрям протилежний до напрямку вектора відносної швидкості частинки V_r , тобто вздовж осі Bx . За модулем сила тертя $F_{mp1} = fN_1$ (де f – коефіцієнт тертя ковзання частинки по поверхні грані та спрямовувача; N_1 – нормальна реакція поверхні грані, Н). Також під дією сили ваги mg частинка тисне на поверхню спрямовувача, що зумовлює виникнення сили тертя F_{mp2} , яка становить $F_{mp2} = fN_2$ (де N_2 – нормальна реакція поверхні спрямовувача, Н). Ця сила тертя має напрям також протилежний до напрямку вектора відносної швидкості частинки матеріалу V_r .

Таким чином, рух частинки матеріалу (матеріальної точки A) буде описуватися диференціальними рівняннями відносного руху точки:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= mg \sin \varphi \sin \beta + F_{in} \cos \alpha \sin \beta - F_{mp1} - F_{mp2}; \\ m\ddot{y} &= mg \sin \varphi \cos \beta + F_{in} \cos \alpha \cos \beta - N_2; \\ m\ddot{z} &= N_1 + F_k - mg \cos \varphi - F_{in} \sin \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де \ddot{x} , \ddot{y} , \ddot{z} – відповідно проекції вектора прискорення точки A на осі координат x , y , z , m/c^2 ; φ – кут повороту каркаса сепаратора, град.; α – кут між відрізком, що визначає відстань від горизонтальної осі обертання робочої камери та точкою A і прямою, що проходить через точку A поперек грані в її площині (у площині рис. 2 б – це кут $\angle OAB$), град.

Відносний рух частинки матеріалу відбувається вздовж осі Bx , тому $y = z = 0$. Отже, $\ddot{y} = \ddot{z} = 0$, тоді з другого та третього рівнянь системи (1) визначаємо нормальні реакції поверхонь грані та спрямовувача:

$$N_1 = mg \cos \varphi + F_{in} \sin \alpha - F_k, \quad (2)$$

$$N_2 = mg \sin \varphi \cos \beta + F_{in} \cos \alpha \cos \beta. \quad (3)$$

Сили інерції визначаються за залежностями:

$$F_{in} = m\omega^2 r, \quad (4)$$

$$F_k = 2m\omega\dot{x} \sin \beta, \quad (5)$$

де r – відстань від горизонтальної осі обертання робочої камери до точки A (у площині рис. 2, б – це відрізок OA), м; $\dot{x} = V_r$ – відносна швидкість частинки вздовж спрямовувача, м/с.

Підставляючи значення сил F_{mp1} , F_{mp2} , F_{in} та F_k в перше рівняння системи (1), дістанемо диференціальне рівняння відносного руху частинки матеріалу:

$$\ddot{x} = g[(\sin \beta - f \cos \beta) \sin \varphi - f \cos \varphi] + \quad (6)$$

$$+ \omega^2 r[(\sin \beta - f \cos \beta) \cos \alpha - f \sin \alpha] + 2f\omega\dot{x} \sin \beta, \quad (7)$$

$$\sin \varphi = \sin(\varphi_0 + \omega t) = \sin \varphi_0 \cos(\omega t) + \cos \varphi_0 \sin(\omega t), \quad (8)$$

$$\cos \varphi = \cos(\varphi_0 + \omega t) = \cos \varphi_0 \cos(\omega t) - \sin \varphi_0 \sin(\omega t),$$

де φ_0 – кут повороту робочої камери сепаратора за якого розпочинається рух частинки матеріалу поверхнею грані вздовж спрямовувача, град.; t – час, с.

Оскільки призматичний сепаратор має шість граней (решіт), тоді в поперечному перерізі сепаратора матимемо шестигранник. Встановимо залежність для визначення відстані r від горизонтальної осі обертання каркаса до точки A . Розглянемо трикутник ΔAOB (рис. 2 б), тут $OA = r$, $OB = r_0$ (де r_0 – конструктивний параметр сепаратора, м), $BA = s$ (де $s = \dot{x} t \sin \beta = x \sin \beta$, м). Кут $\angle OBC = 60^\circ$, оскільки трикутник ΔBOC – рівносторонній. Позначимо кут $\angle BAO = \alpha$, тоді за теоремою косинусів з трикутника ΔAOB , отримаємо:

$$r = \sqrt{s^2 + r_0^2 - 2sr_0 \cos 60^\circ} = \sqrt{(\dot{x} t \sin \beta - r_0) \dot{x} t \sin \beta + r_0^2}. \quad (9)$$

За теоремою синусів з трикутника ΔAOB визначимо кут α :

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{r_0 \sin 60^\circ}{r} \right] = \arcsin \left[\frac{\sqrt{3}r_0}{2\sqrt{(\dot{x}t \sin \beta - r_0)\dot{x}t \sin \beta + r_0^2}} \right]. \quad (10)$$

Визначимо умову рівноваги частинки матеріалу, за якої частинка залишатиметься у стані відносного спокою на поверхні грані і не буде ковзати вниз. Це можливо за умови, що усі сили, які діють під час обертання робочої камери сепаратора, будуть взаємно врівноважені.

Щоб частинка матеріалу знаходилася в рівновазі, сума проєкцій сил на вісь Bx має бути рівною нулю, тобто:

$$mg \sin \varphi \sin \beta + F_{in} \cos \alpha \sin \beta - F_{mp1} - F_{mp2} = 0. \quad (11)$$

Підставляючи значення сил у рівняння (11) та враховуючи, що у стані рівноваги частинки матеріалу $\dot{x} = V_r = 0$, після перетворень отримаємо:

$$\omega = \sqrt{\frac{g[f \cos \varphi_0 + (f \cos \beta - \sin \beta) \sin \varphi_0]}{r[(\sin \beta - f \cos \beta) \cos \alpha - f \sin \alpha]}}. \quad (12)$$

Значення кутів φ_0 та β має бути більшим за значення кута тертя частинки матеріалу поверхню решета сепаратора. За прийнятими значеннями кутів φ_0 та β розраховують за виразом (12) кутову швидкість обертання ω робочої камери призматичного сепаратора. Значення кутової швидкості обертання робочої камери сепаратора приймається меншим за розраховане.

Аналітичний розв'язок диференціального рівняння (6) є ускладненим. Для розв'язування рівняння застосуємо чисельний метод Рунге-Кутти. Реалізація методу у системі комп'ютерної математики MathCAD дозволила побудувати графічні залежності, що представлені на рис. 3.

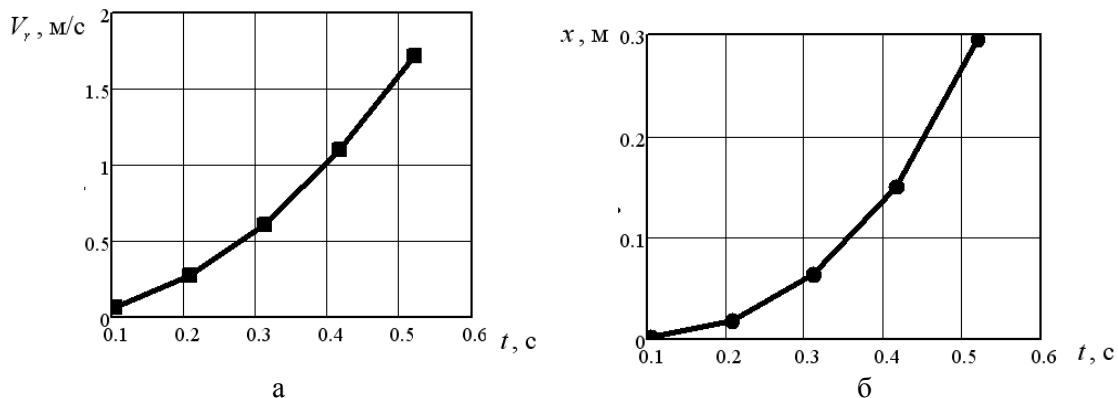


Рис. 3. Графічні залежності відносної швидкості частинки матеріалу V_r (а) та її переміщення x (б) від часу t при $f=0,4$; $\varphi_0 = 45^\circ$; $\beta = 45^\circ$; $r_0 = 0,3$ м; $\omega = 2,04$ рад/с.

Висновки

У статті запропонована конструкція призматичного сепаратора, в якому реалізовано елементи принципів роботи як циліндричного сепаратора, так і сепаратора з плоскими решетами, що дозволяє підвищити продуктивність сепаратора та забезпечити високу якість сепарування сипкої суміші. Крім того, проведено теоретичне дослідження роботи сепаратора, зокрема, досліджено переміщення частинки матеріалу поверхню решета сепаратора.

1. Карташевич С.М. Механико-технологические основы повышения эффективности механизированных комплексов для послеуборочной обработки зерна и семян: Монография / С.М. Карташевич. – Минск, 2001. – 288 с.
2. Хайліс Г.А. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навчальний посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. – Київ: УМК ВО, 1991. – 200 с.
3. Соколов А.Я. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств: Учебное пособие для вузов. Труд колл. авторов. Под редакцией Соколова А.Я. – М.: Машиностроение, 1969. – 637 с.
4. Патент на корисну модель №59337 Україна, МПК А23 N15/00. Призматичний сепаратор / Дударев І.М.; Заявлено 01.11.2010; Опубл. 10.05.2011; Бюл. № 9.