

УДК 664.74.001

СЕПАРАЦІЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ НА ТРИ ФРАКЦІЇ ПРИ ЇХ ВІБРАЦІЙНОМУ ПЕРЕМІЩЕННІ

Фалько О. Л., к.т.н.

Донецький інститут залізничного транспорту.

Тел. (095) 6071894

Анотація - запропоновано пристрій для сепарації порошкового матеріалу на три фракції, проведено аналітичні дослідження.

Ключові слова – сепарація, порошкові матеріали, сипка суміш.

Постановка проблеми. У харчовій, хімічній, фармацевтичній галузях відбувається сепарація сипких сумішей. Сепарація сипких сумішей, які містять дрібнодисперсні порошкові фракції часток, є технологічним процесом, який важко реалізується через посилені адгезійні властивості дрібнодисперсних часток. Наприклад, сортування муки ситовим способом (очищення від домішок, що засмічують) є неможливим при відносній вологості більше 14% через забивання комірок сит [1]. Інші достатньо поширені способи сепарації, що застосовуються для порошкових матеріалів (вібраційний, пневматичний), також мають істотні недоліки [1], обумовлені аутогезійними та адгезійними властивостями дрібнодисперсних часток.

Аналіз останніх досліджень. Для вирішення цієї проблеми було розроблено декілька нових, більш ефективних способів сепарації: віброадгезійний [2], за різницею у висоті польоту часток [3,4], за різницею у дальності польоту часток [5], які, на відміну від поширених способів сепарації, реалізуються саме завдяки адгезійним властивостям часток.

Формування цілей статті. Цілями статті є опис конструкції нового пристрою і аналітичний опис процесу вібропереміщення і сепарації порошкових матеріалів на новому пристрої.

Основна частина. На рис. 1 представлено принципову конструктивну схему нового пристрою для сепарації сипких сумішей. Пристрій має завантажувальний вібробункер 1 із заслінкою 2 для регулювання подачі сипкої суміші з посиленими адгезійними властивостями. Вібропривод 3 приводить у коливальний рух робочий

орган, який складається з верхньої пластини 4, до якої знизу впритул жорстко закріплена решітка 5 із наскрізними вертикальними каналами, які закрито знизу пластиною 6, а в каналах розташовано ударники 7 з можливістю руху під дією інерції та співударяння у кожному періоді коливань робочого органу з нижньою стороною пластини 4. Кут нахилу робочого органу до горизонту – 45° .

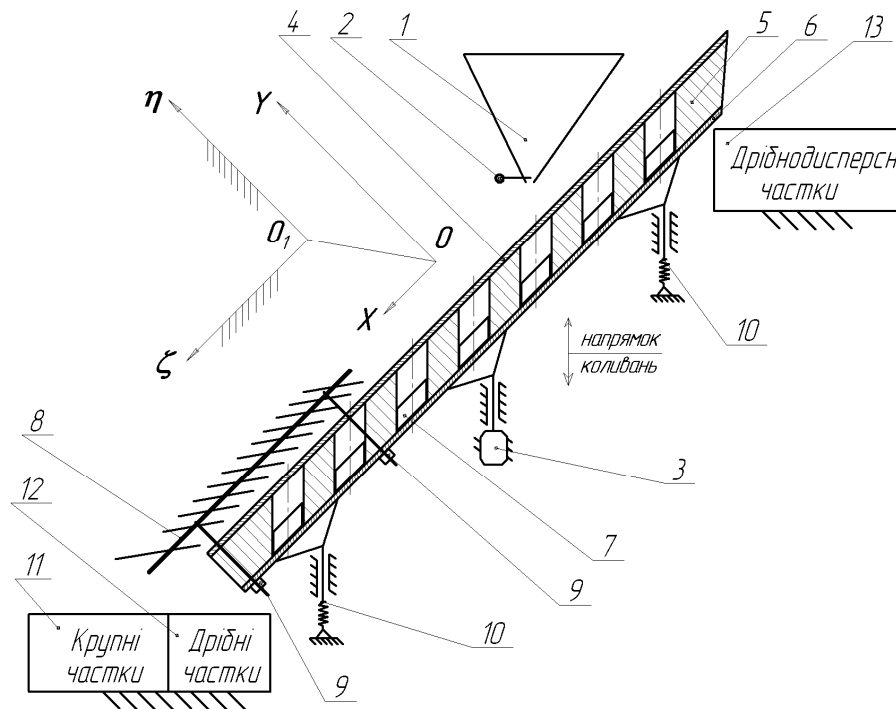


Рис. 1. Конструктивна схема пристрою для сепарації.

Над пластиною 4 у нижній частині встановлено пакет розподільчих пластин 8 з можливістю регулювання його висоти (7-20 мм) відносно верхньої робочої поверхні пластини 4 за допомогою регулювальних гвинтів 9. Пластини 8 встановлено під тупим кутом нахилу до пластини 4 і, водночас, під від'ємним тупим кутом нахилу до горизонту з можливістю регулювання відстаней між ними уздовж лінії нахилу пластини 4. Розподільчі пластини 8 встановлюються паралельно одна до одної на однаковій відстані від поверхні пластини 4. Відстань між самою нижньою з розподільчих пластин 8 і найближчою до неї (15-20 мм) перевищує рівні відстані між іншими розподільчими пластинами (8 -10 мм). Кут нахилу розподільчих пластин 8 до пластини 4 регулюється.

Робочий орган встановлено на пружних елементах 10. Під нижнім кінцем робочого органу розташовані приймальна ємність 11 для часток крупної фракції (приблизно сід сита 250×250 мкм) і приймальна ємність 12 для часток дрібної фракції (приблизно прохід сита 250×250

мкм і схід сита 140*140 мкм) суміші відповідно, а під верхнім кінцем робочого органу розташована приймальна ємність 13 для часток дрібнодисперсної фракції (приблизно прохід сита 140*140 мкм).

Працює пристрій наступним чином. Суміш, що складається з часток різних фракцій, із завантажувального вібробункера 1 подається на поверхню пластини 4, що вертикально коливається з частотою 15 - 25 Гц і амплітудою 3-4 мм. Спочатку на поверхні 4 відбувається віброадгезійна сепарація [2] сипкої суміші, при якій крупна і дрібна фракції часток рухаються донизу, а дрібнодисперсна фракція легких часток вібропереміщується нагору коливною поверхнею робочого органу [2] під впливом рівнодіючої сил інерції і адгезії.

У процесі вібропереміщення нагору уздовж пластини 4 дрібнодисперсні частки під дією інерції від коливань шаром налипають на поверхню пластини 4, утворюючи з нею адгезійні зв'язки. Руйнуються ці зв'язки ударниками 7, які в кожному періоді коливань рухаються каналами решітки 5 і наносять удар по нижній стороні пластини 4 у моменти, коли пластини 4 знаходиться у своєму найвищому положенні відносно лінії статичної рівноваги. У ці моменти сила інерції, що діє на шар налиплих часток, максимальна, але недостатня для руйнування адгезійних зв'язків, і лише завдяки додатковій дії ударного імпульсу від зіткнення ударників 7 з нижньою стороною пластини 4 адгезійні зв'язки руйнуються. Відстань між ударниками 7 і нижньою поверхнею пластини 4 встановлювалася такою, щоб співударяння між ними відбувалися у кожному періоді коливань робочого органу в моменти, коли робочий орган знаходиться у найвищому крайньому положенні, де його віброприскорення максимальне.

Частки дрібної і крупної фракцій здійснюють вібропереміщення донизу нахиленою поверхнею пластини 4 з етапами ковзання і польоту. У процесі вібропереміщення крупні частки рухаються значно швидше і значно вище на етапах польоту над коливною поверхнею (КП) пластини 4, тому за досягнення розподільчих пластин 8 крупні частки заскакують на пластини 8, рухаються ними донизу і потрапляють у ємність 11. Дрібні частки, які не спроможні на етапах польоту досягти розподільчих пластин 8, рухаються під ними поверхнею пластини 4 і потрапляють у ємність 12.

Процес заскоку крупних часток на розподільчі пластини 8 здійснюється наступним чином. Спочатку частина крупних часток потрапляє на першу - саму верхню розподільчу пластину. На наступні, нижні за розташуванням розподільчі пластини потрапляють ті крупні частки, траєкторія польоту яких пройде під попередніми, верхніми розподільчими пластинами. Якщо знайдеться частка, яка за траєкторією свого польоту спроможна пройти під усіма

розподільчими пластинами 8 завдяки зіткненням з найближчими до пластини 4 кромками і нижніми неробочими частинами поверхонь розподільчих пластин 8, то вона заскочить на останню найнижчу розподільчу пластину, оскільки відстань між нею і попередньою перевищує рівні відстані між іншими розподільчими пластинами (8-12 мм). Ця конструктивна особливість допомагає врахувати усі можливі траєкторії польоту крупних часток для їх заскоку на розподільчі пластини 8. Вплив часток дрібної і дрібнодисперсної фракцій на крупні у розрідженому шарі матеріалу є несуттєвим. Можливого утворенню аутогезійних зв'язків між частками різних фракцій перешкоджає «ударний» режим руху крупних часток по КП (внаслідок чого виникає ефект обтрушування).

Фізична суть процесу полягає у тім, що крупні частки сипкої суміші через слабші адгезійні зв'язки і більшу питому вагу легко відриваються від КП пластини 4 і мають при цьому початкову швидкість, яка майже дорівнює найбільшій швидкості руху пластини (момент відриву відбувається близько до нейтрального положення робочого органу, де його швидкість найбільша), легко переборюють опір повітря (яке односпрямоване з польотом крупних часток нагору) і здійснюють політ над поверхнею пластини 4 на більшій висоті, ніж частки дрібної фракції.

Для дрібних часток, які рухаються разом з крупними донизу по КП, у певній мірі знижують початкову швидкість польоту адгезійні зв'язки з КП, через що момент відриву від КП затримується майже до верхнього положення робочого органу, коли спрямована вверх сила інерції найбільша і здатна розірвати слабкі адгезійні зв'язки дрібних часток. Польоту дрібних часток, які мають меншу питому вагу, суттєво протидіє сила опору повітря, тим більше, що напрямок повітряного потоку здебільшого протилежний польоту нагору (повітряний потік починає рухатися за КП донизу). Через названі фактори виникає достатня для сепарації різниця висот польоту часток дрібної і крупної фракцій.

Рух крупної і дрібної фракцій часток униз по КП відбувається прискорено, а їх швидкість не є визначальним фактором для продуктивності процесу. Визначальним фактором для продуктивності, як граничною умовою, є така ступінь завантаженості при потраплянні сипкої суміші на КП, при якій частки крупної і дрібної фракцій не перешкоджають руху дрібнодисперсних часток нагору. Тому задачею аналітичного опису у цій статті є визначення різниці висот польоту часток крупної і дрібної фракцій, завдяки якій відбувається сепарація, і яка впливає на висоту розташування розподільчих пластин 8.

Для аналітичних досліджень пов'яжемо рухому декартову систему координат із КП і направимо вісь абсцис OX донизу по

нахилу КП, а вісь ординат OY нагору перпендикулярно до КП (рис. 2). Нерухому систему координат $\zeta O_1 \eta$ розташуємо паралельно до рухомої і вважатимемо, що вісь абсцис ζO_1 проходить лінією статичної рівноваги КП, а O_1 співпадає з O у середньому положенні робочого органу.

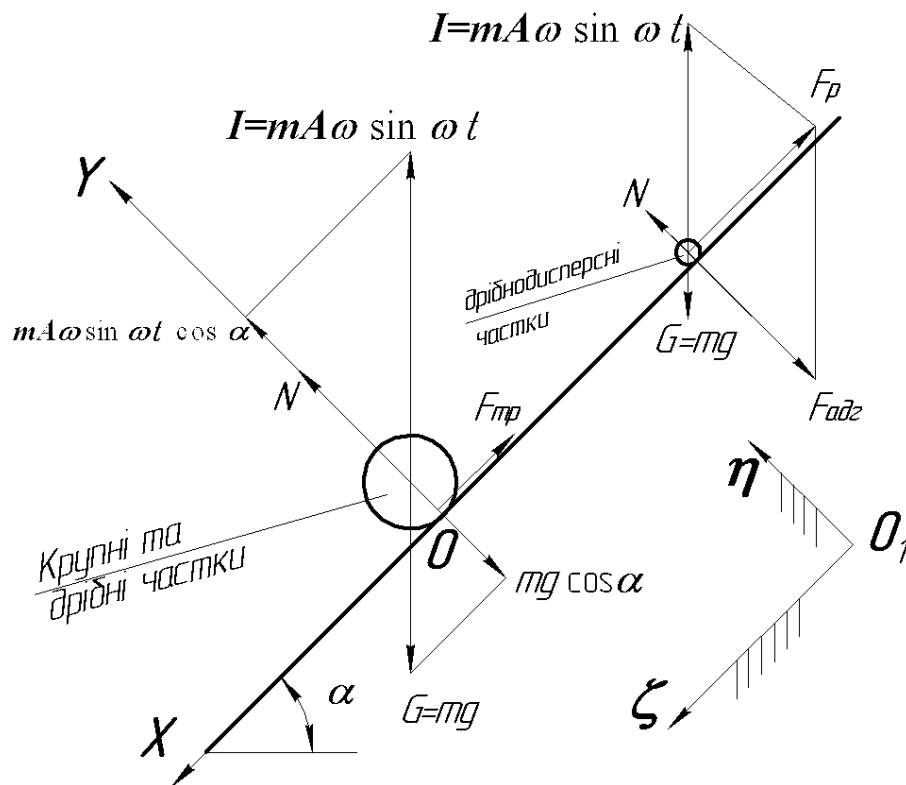


Рис. 2. Схема сил, що діють на частки різних фракцій.

При потраплянні на КП сипка суміш під дією коливань розподіляється. Згідно рис. 2 дрібнодисперсна фракція легких часток вібропереміщується нагору [2] на етапах польоту під впливом переважної для них рівнодіючої F_p сил інерції I і адгезії $F_{адг}$. Етапи ковзання для дрібнодисперсних часток відсутні [2] завдяки посиленій адгезії. Цей процес віброадгезійної сепарації, а саме рух дрібнодисперсних часток нагору по КП і ударників у каналах решітки робочого органу є детально дослідженим аналітично і експериментально [2].

Крупні і дрібні частки прискорено переміщуються донизу з етапами польоту і ковзання під дією переважної для них сили тяжіння G (N – нормальна реакція КП, $F_{тр}$ – сила тертя на етапах ковзання).

Відрив крупних часток від КП здійснюється у момент часу, що визначається за умови $N=0$ (момент відриву) з рівняння сил уздовж осі Y і відповідає значенню фазового кута відриву φ_0

$$\varphi_0 = \omega t_0 = \arcsin\left(\frac{g}{A\omega^2}\right), \quad (1)$$

де A і ω – амплітуда і частота коливань, m – маса частки;
 g – прискорення вільного падіння, α – кут нахилу КП до горизонту;

$t_0 = \varphi_0 / \omega$ – момент часу відриву;

φ_0 – фазовий кут відриву.

Політ крупних часток відносно осі ОУ описується диференціальним рівнянням

$$\ddot{y} = A\omega^2 \sin \omega t \cos \alpha - g \cos \alpha, \quad (2)$$

де t – поточний час польоту.

Інтегруючи рівняння (2), знайдемо швидкість \dot{y} , а після повторного інтегрування — координату y польоту крупних часток:

$$\dot{y} = -g(t - t_0) \cos \alpha - A\omega(\cos \omega t - \cos \omega t_0) \cos \alpha + \dot{y}_0, \quad (3)$$

$$y = -g \frac{(t - t_0)^2}{2} \cos \alpha + A\omega \cos \omega t_0 (t - t_0) \cos \alpha - A(\sin \omega t - \sin \omega t_0) \cos \alpha + \dot{y}_0(t - t_0) + y_0, \quad (4)$$

де \dot{y}_0 – швидкість у момент відриву, $\dot{y}_0 = 0$.

y_0 – координата в момент відриву, $y_0 = 0$,

Координата η_0 і швидкість $\dot{\eta}_0$ руху часток у момент відриву від КП відносно нерухомої системи координат $\zeta O_1 \eta$ дорівнюють координаті і швидкості руху КП у момент, що відповідає куту φ_0 :

$$\eta_0 = A \sin \varphi_0 \cos \alpha, \quad (5)$$

$$\dot{\eta}_0 = A\omega \cos \varphi_0 \cos \alpha. \quad (6)$$

Рівняння, що описує швидкість польоту крупних часток уздовж $O_1\eta$ має вид

$$\dot{\eta} = \dot{\eta}_0 - gt \cos \alpha = A\omega \cos \varphi_0 \cos \alpha - gt \cos \alpha. \quad (7)$$

Дорівнявши вираз (7) до нуля, отримаємо з нього час польоту крупних часток уздовж $O_1\eta$ до зупинки у повітрі з координатою $\eta = \eta_{\max}$ у момент $t = t_1$

$$t_1 = \frac{A\omega \cos \varphi_0}{g}. \quad (8)$$

Найбільшу висоту польоту часток крупної фракції відносно місця початку польоту визначимо згідно законів кінематики

$$\eta_{01} = \dot{\eta}_0 t_1 - \frac{gt_1^2 \cos \alpha}{2} = A\omega \cos \varphi_0 \cos \alpha * t_1 - \frac{gt_1^2 \cos \alpha}{2}. \quad (9)$$

Найбільшу висоту польоту часток крупної фракції відносно нейтрального положення КП визначимо як суму виразів (5) і (10)

$$\eta_{\max} = \eta_0 + \eta_{01} = A \sin \varphi_0 \cos \alpha + \dot{\eta}_0 t_1 - \frac{gt_1^2 \cos \alpha}{2} = \quad (10)$$

$$A \sin \varphi_0 \cos \alpha + A\omega \cos \varphi_0 \cos \alpha * t_1 - \frac{gt_1^2 \cos \alpha}{2}.$$

Якщо врахувати положення КП у момент t_1 , а саме $\eta_{КП1} = A \sin(\omega(t_1 + t_0)) \cos \alpha$, то найбільша висота польоту крупних часток над КП у момент t_1 складе

$$\eta_{\max1} = \eta_0 + \eta_{01} - \eta_{КП1} = A \sin \varphi_0 \cos \alpha + A\omega \cos \varphi_0 \cos \alpha * t_1 - \frac{gt_1^2 \cos \alpha}{2} - A \sin(\omega(t_1 + t_0)) \cos \alpha. \quad (11)$$

Фактично в правій частині (11) ми отримали вираз (4) при умові нерозривності виміру часу $t = t_1 + t_0$ для (4).

Слід зазначити, що найбільша висота польоту крупних часток над КП обчислюється за формулою (11) приблизно, оскільки КП здійснює швидкий рух і найбільша висота польоту може бути

досягнута близько до моменту t_1 . Тому більш точне значення дасть дослідження формули (4) на максимум, наприклад, за допомогою програми MathCad, чи аналітично.

На політ дрібних часток значно впливає сила опору повітря, особливо при протилежному напрямку повітряного потоку від КП, а початкова швидкість їхнього польоту уздовж $O_1\eta$ залежить від моменту відриву від КП, залежного від адгезійних властивостей часток (не фіксований чітко момент), через що аналітичне визначення найбільшої висоти польоту цих часток над КП ускладнено. Однак з експериментальних спостережень при куті нахилу 45^0 і інтенсивності коливань $A\omega^2 \leq 10g$ більшість часток дрібної фракції вібропереміщується по КП із найбільшою висотою польоту над не $H_{дф} < 3,5$ мм.

Очевидно, що різниця висот польоту часток крупної $Y_{кф}$ і дрібної $Y_{дф}$ фракцій складе

$$\Delta Y = Y_{кф} - Y_{дф}. \quad (12)$$

Очевидно, що висота розташування розподільчих пластин $Y_{пл}$ у пристрої (рис. 1) визначається з нерівності

$$Y_{дф} < Y_{пл} < Y_{кф}. \quad (13)$$

Рахуючи можливі нестабільності властивостей часток і гранулометричного складу порошкового матеріалу, найбільш доцільно прийняти висоту розташування пластин усереднено

$$Y_{пл} = \frac{Y_{кф} + Y_{дф}}{2}. \quad (14)$$

Висновки, що отримані за результатами досліджень:

1. Запропоновано нову конструкцію пристрою для сепарації сипких матеріалів за ознаками різниці в адгезійних властивостях часток різних фракцій і в подоланні опору повітря частками різних фракцій.

2. Отримано рівняння, що описують політ крупних часток сипкого матеріалу нагору перпендикулярно до КП, визначено розрахункову висоту розташування розподільчих пластин, що є основою для подальших аналітичних та експериментальних досліджень.

Література:

1. Барский М.Д. Фракционирование порошков. / Барский М.Д. – М.: Недра, 1980.- с. 17 - 29.
2. Фалько Л.Г. Вібродгезійна сепарація сипких харчових продуктів. / Фалько Л.Г.: Автореф. дис. канд. техн. Наук. – Харків: ХДАТОХ, 1996. – 22 с.
3. Пат. 47872 А (UA). МПК В 07 В 13/00. Спосіб сепарації сипучих матеріалів під дією коливань і пристрій для його здійснення. / Фалько Олексій Леонідович (UA) – заявка № 2001106988 від 15.10.01; Опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.
4. Пат. 10806 (UA). МПК В 07 В 13/00. Пристрій для сепарації порошкових матеріалів. / Шамота В.П., Фалько О-ій Л. (UA) – заявка № 200506394 від 29.06.05; Друк. 15.11.05, Бюл. № 11.
5. Пат. 3315 (UA). МПК В 07 В 13/00. Пристрій для сепарації порошкових і дрібних сипких матеріалів. / Фалько О-ій Л. (UA) – заявка № 2004010243 від 13.01.04; Опубл. 15.11.04, Бюл. № 11.

СЕПАРАЦИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ТРИ ФРАКЦИИ ПРИ ИХ ВИБРАЦИОННОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ

Фалько А.Л.

Аннотация – Предложено устройство для сепарации порошкового материала на фракции, проведены аналитические исследования.

THE SEPARATION OF LOOSE MATERIALS ON THREE FRACTIONS AT THEIR VIBRATING MOVING.

O. Falko

Summary

The device for separation of a powder material on fraction is offered, analytical researches are carried out.