УДК 621.928:664.696.78

Шамота В.П.[1], д-р техн. наук, проф.,
Фалько О.Л.[2], канд. техн. наук, доц.,
Фалько О-ій.Л.[1], канд. техн. наук, доц.

1 – Донецький інститут залізничного транспорту, м. Донецьк, Україна,
e-mail: falkoal@rambler.ru
2 – Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна,
e-mail: falkoas@rambler.ru

СЕПАРАЦІЯ ХАРЧОВИХ СИПКИХ СУМІШЕЙ

Shamota V.P.[1], Dr. Sci. (Tech.), Prof.,
Falko O.L.[2], Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,
Falko O.L.[1], Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.

1 – Donetsk institute of Railway Transportation, Donetsk, Ukraine, e-mail: falkoal@rambler.ru
2 – Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine, e-mail: falkoas@rambler.ru

SEPARATION OF FOOD LOOSE MIXES

Мета. *Метою статті є обґрунтування принципу дії нового способу та конструкції нового пристрою для сепарації харчових сипких сумішей із дрібнодисперсними фракціями часток.*

Здійснюється пропонований спосіб таким чином. Спочатку сипка суміш віброперемішується донизу між двома вертикальними горизонтально коливними пластинами за умови взаємодії з кожною коливною пластиною в кожному періоді коливань для руйнування зв'язків між частками суміші. Після виходу із простору між коливними пластинами частки суміші востаннє взаємодіють із коливною пластиною, яка знизу довша за другу, та здійснюють від неї політ. У польоті частки розподіляються відповідно до дальності свого польоту. Після цього кожна частка суміші шляхом падіння потрапляє в ємність для часток своєї фракції. Цей спосіб здійснюється за рахунок різниці в адгезійних властивостях часток різних фракцій і різниці у подоланні частками різних фракцій сили опору повітря.

Методика. *У процесі дослідження використано математичне моделювання процесу польоту часток від сепарувальної пластини.*

Результати. *Результатами роботи є обґрунтування принципу дії нового способу та конструкції нового пристрою для сепарації харчових сипких сумішей із дрібнодисперсними фракціями часток.*

Наукова новизна. *Наукова новизна роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні нового процесу сепарації, який здійснюється за двома ознаками розподілення часток водночас.*

Практична значущість. *Практична значущість роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для детальної розробки конструкції та виготовлення машини для сепарації сипких сумішей з дрібнодисперсними фракціями часток. Використовувати таку машину можна, наприклад, для сортування борошна чи круп, очищення борошна, круп, насіння різних культур від домішок, що засмічують.*

Ключові слова: *сепарація, сепарація сипких сумішей, очищення борошна, розподіл сипких сумішей, сепарація дрібнодисперсних матеріалів, сипка суміш.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Сепарація харчових сипких сумішей є технологічним процесом, який за певних умов складно реалізу-

© Шамота В.П. та ін., 2013

ється через посилені адгезійні властивості дрібнодисперсних часток. Наприклад, для очищення борошна з відносною вологістю більше 14% від домішок використання ситового способу є неможливим через забивання дрібних сит частками борошна з підвищеними адгезійними і аутогезійними властивостями [1]. Ефективність вібросепарації зменшується в разі збільшення дисперсності сипких матеріалів, яка викликає підвищення їх адгезійних властивостей [2]. За умови пневматичного способу сепарації не руйнуються аутогезійні сполуки часток різних фракцій [3].

Аналіз останніх досліджень. Для вирішення цієї проблеми було розроблено декілька нових, більш ефективних способів сепарації: віброадгезійний [4], вібропневматичний [5], за різницею у висоті польоту часток [6], дальності польоту часток [7]. Останній спосіб [7] має суттєві переваги і перспективи відносно інших: реалізується за двома ознаками поділу сипкого матеріалу водночас (за різницею дії сили адгезії та сили опору повітря на частки різних фракцій сипкої суміші); конструкція робочого органа [7] виключає можливість налипання часток і дестабілізації процесу сепарації, кількість отриманих сепарацією фракцій і їх гранулометричний склад регулюються. Тому дослідження нового способу [7] з метою його удосконалення та впровадження у виробництво є актуальним науковим завданням.

Цілями статті є обґрунтування принципу дії **нового** способу та конструкції пристрою [7] для сепарації сипких сумішей із дрібнодисперсними фракціями часток, проведення базових аналітичних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Процес сепарації здійснюється на пристрої, принципова схема якого наведена на рисунку 1. Робочий орган пристрою складається з двох вертикальних пластин 1, між якими розташована найдовша знизу пластина 2. Усі пластини паралельні та нерухомо зв'язані між собою.

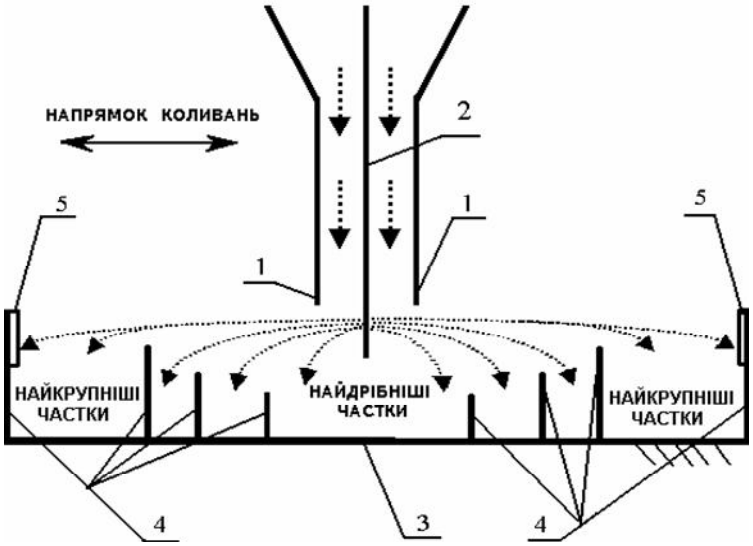


Рисунок 1 – Принципова схема конструкції вдосконаленого пристрою

Відстань між пластинами 1 і пластиною 2 регулюється (на рисунку не вказано), а у верхній частині вона збільшена для зручності завантаження. Плас-

тини 1 і 2 разом із бічними бортами (не вказані на рисунку), які перпендикулярні до поверхонь пластин, утворюють два обмежені простори. У пристрої передбачено віброприв'ід (на рисунку не вказано), призначений для приведення робочого органа в горизонтальний коливальний рух.

Під робочим органом розташовано приймальні ємності 3, які за допомогою розподільчих пластин 4 поділено на окремі секції відповідно до кількості фракцій, які визначаються гранулометричним складом часток. Положення приймальних ємностей 3 регулюється відносно пластини 2 робочого органа за висотою, а також регулюється положення розподільчих пластин 4 уздовж горизонту та за рівнем висоти відносно ємностей 3.

Найбільш віддалені від пластини 2 розподільчі пластини 4 мають демпфери 5, які виконані з непружного матеріалу та призначені для поглинання енергії удару найважчих часток.

Пристрій діє таким чином. Початкова сипка суміш з декількох фракцій безупинно надходить зверху у два обмежені простори між горизонтально коливними вертикальними пластинами 1 і 2 та під дією гравітації за умови одночасного впливу з боку коливних пластин вібропереміщується донизу. Маса сипкої суміші співударяється з коливними пластинами двічі за період коливань робочого органа. Під час польоту між пластинами крупнодисперсні частки випереджають шар дрібнодисперсних часток, пронизують його та інтенсивно співударяються з пластинами. Завдяки цьому аутогезійні зв'язки між частками суміші руйнуються, а стійкі адгезійні зв'язки з поверхнями пластин не можуть утворитися, суміш розпушується.

Після виходу із простору між горизонтально коливними пластинами 1 і 2 усі досить крупні частки суміші востаннє співударяються з найдовшою знизу пластиною 2 і здійснюють політ від неї. Політ часток суміші спрямований під дією інерції горизонтально від пластини 2 і під дією гравітації донизу. Дальність польоту часток залежить від початкової швидкості польоту від пластини 2 та дії сили опору повітря. Польоту часток дрібнодисперсних фракцій, які мають меншу питому вагу, значною мірою протидіє сила опору повітря, а сила адгезії знижує їх швидкість відриву від пластини 2, затримуючи момент відриву до межі, коли сила інерції розірве адгезійний зв'язок. З названих причин дальність польоту часток дрібнодисперсних фракцій від пластини 2 набагато менша за дальність польоту часток крупнодисперсних фракцій. Під дією описаних факторів частки суміші розподіляються у вільному польоті за дальністю та шляхом падіння потрапляють в одну із секцій ємностей 3 (кожна до своєї фракції), відокремлену розподільчими пластинами 4.

Гранулометричний склад кожної фракції можна регулювати шляхом регулювання положення ємностей 3 і положення розподільчих пластин 4 відносно пластини 2 по вертикалі і горизонталі. Доцільно, щоб висота розподільчих пластин 4 встановлювалася з кожного боку від пластини 2 у порядку збільшення. Це дозволяє скоротити довжину приймальних ємностей 3 завдяки обмеженню траєкторії польоту часток кожної фракції. Введення у конструкцію демпферів 5 дозволяє поглинати енергію удару найкрупніших і найважчих часток, запобігаючи їх відскоку у протилежному напрямку.

Вважатимемо крупнодисперсними частками ті, що можна отримати як схід сита 250×250 мкм (потрапляють у приймальні ємності найдальше від робочого органа), а дрібнодисперсними частками ті, що отримуються як прохід сита 140×140 мкм (потрапляють у приймальні ємності найближче до робочого органа). Інші частки займають середнє положення за гранулометричним складом і віддаленням місця потрапляння у приймальні ємності від робочого органа. Суміш може не містити у своєму складі дрібнодисперсних часток (наприклад, за умови очищення насіння від плевелів). Тоді сепарація відбуватиметься лише за єдиною ознакою різниці у подоланні опору повітря.

З метою проведення аналітичних досліджень приймемо нерухому прямокутну систему координат $\xi O_1 \eta$, пов'язану з положенням статичної рівноваги найдовшої знизу пластини, відповідно до рисунка 2, і аналогічну рухому систему координат XOY, пов'язану з цією пластиною.

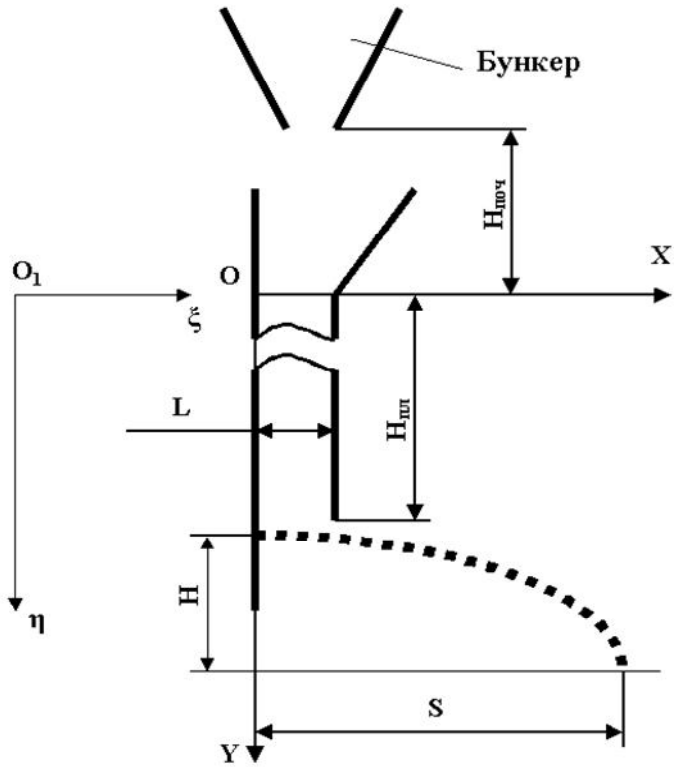


Рисунок 2 – Розрахункова схема для аналітичних досліджень

Швидкість переміщення пластин робочого органа уздовж осі $O_1\xi$ у будь-який час t визначимо з виразу:

$$\dot{\xi}_{PO} = A\omega\cos\omega t, \tag{1}$$

де A і ω – амплітуда і кутова частота коливань робочого органа;
t – поточний час.

Фазовий кут коливань $\varphi = \omega t$ відлічуємо від лінії статичної рівноваги робочого органа, якщо він переміщуєься праворуч.

У разі вібропереміщення між пластинами на відстань L частки крупнодисперсних фракцій повинні долати відстань L за час, що дорівнює півперіоду коливань:

$$\frac{T}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi}{\omega}, \tag{2}$$

де T – час періоду коливань, с.

Момент початку польоту крупних часток відбувається майже у положенні статичної рівноваги робочого органа за умови руху пластини праворуч із максимальною швидкістю $A\omega$, яку набирають ці частки. Ураховуючи малу відстань польоту між пластинами L, вважаємо цю швидкість польоту $A\omega$ незмінною протягом польоту, нехтуючи опором повітря та шаром дрібнодисперсних часток.

Тоді, згідно із законами механіки, співвідношення між L і A складе:

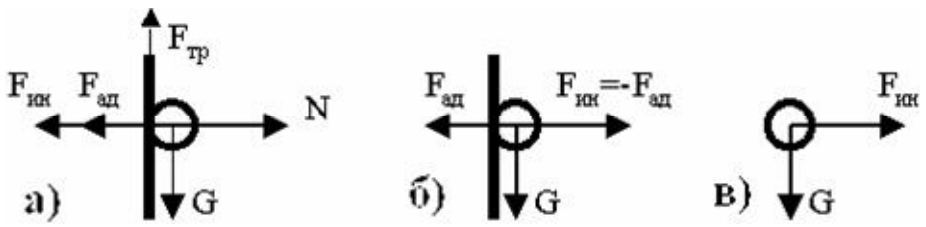
$$L = A\omega \cdot \frac{T}{2} = A\omega \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi}{\omega} = A\pi, \tag{3}$$

З виразу (3) за заданим L можна отримати мінімальне необхідне значення A для режиму вібропереміщення зі співударяннями крупнодисперсних часток з кожною із пластин у кожному періоді коливань.

З практичних міркувань слід прийняти діапазон частот 20-30 Гц і амплітуд 5-7 мм.

На рисунку 3 подано схеми сил, що діють на окрему частку на етапі вібропереміщення між пластинами:

– у фазі ковзання (а);
– у момент відриву від коливної пластини (б);
– у фазі польоту між пластинами (в).



а) у фазі ковзання; б) у момент відриву; в) у фазі польоту.

Рисунок 3 – Схеми сил, які діють на частку на етапі вібропереміщення між пластинами

Рівняння системи сил, що діють на частку суміші масою m на етапі вібропереміщення між пластинами у фазі ковзання, має вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_{ин} - F_{адг} + N = mA\omega^2 \sin\omega t - F_{адг} + N \\ m\ddot{y} = G - F_{TP} = mg - \mu N, \end{cases}, \quad (4)$$

де $\ddot{x}$ – прискорення руху частки уздовж OX;

$\ddot{y}$ – прискорення руху частки уздовж OY;

$F_{ин}$ – сила інерції;

$F_{ад}$ – сила адгезії;

G – сила гравітації;

g –прискорення вільного падіння;

N – нормальна реакція пластини;

μ – коефіцієнт тертя.

Рівняння системи сил, що діють на частку суміші на етапі вібропереміщення між пластинами у фазі польоту, має вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_{ин} = mA\omega^2 \sin\omega t \\ m\ddot{y} = G = mg. \end{cases}, \quad (5)$$

На етапі останнього польоту від пластини 2 рівняння сил, що діють на кожну частку суміші, має вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{\xi} = F_{ин}^{\max} - F_{\xi}^{пов} = mA\omega^2 - F_{\xi}^{пов} \\ m\ddot{\eta} = G - F_{\eta}^{пов} = mg - F_{\eta}^{пов}, \end{cases} \quad (6)$$

де $F_{\xi}^{пов}$ – сила опору повітря уздовж осі $O_1\xi$;

$F_{\eta}^{пов}$ – сила опору повітря уздовж осі $O_1\eta$.

У рівняннях (6), на відміну від рівнянь (5), ураховано опір повітря, оскільки рівняння (6) описують останній політ, відстань якого є значною, і протягом якого відбувається сепарація суміші. Рівняння (5) описують дуже короткий за відстанню політ між пластинами, тому опір повітря не враховано.

Висновки:

1. Обґрунтовано нові спосіб і конструкцію пристрою для сепарації сипких сумішей із дрібнодисперсними фракціями часток.

2. Описано режим вібропереміщення та процес розподілу сипкої суміші на фракції часток.

3. Складено рівняння систем сил, що діють на частки суміші на етапі вібропереміщення між пластинами та етапі вільного польоту.

Перспективами подальших досліджень є аналітичне отримання рівнянь, що описують координату та швидкість руху часток сипкого матеріалу в процесі сепарації на етапі вібропереміщення між пластинами й етапі вільного

польоту, проведення експериментальних досліджень розподільчої здатності та продуктивності нового способу.

Список літератури / References:

1. Бутковский В.А. Мукомольное производство / В.А. Бутковский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 382 с.
   Butkovskiy, V.A. (1990), *Mukomolnoie proizvodstvo* [Flour-grinding production], Agropromizdat, Moscow, Russia.
2. Анахин В.Д. Вибрационные сепараторы / В.Д. Анахин, Д.А. Плисс, В.Н. Монахов. – М.: Недра, 1991. – 157 с.
   Anahin, V.D. (1991), *Vibratsionnye separatory* [Vibrating separators], Nedra, Moscow, Russia.
3. Барский М.Д. Фракционирование порошков / М.Д. Барский. – М.: Недра, 1980. – 327 с.
   Barskiy, M.D. (1980), *Fraktsionirovanie poroshkov* [Separation of powders], Nedra, Moscow, Russia.
4. Фалько Л.Г. Віброадгезійна сепарація сипких харчових продуктів: автореф. … дис. канд. техн. наук: спец. 05.18.12 / Л.Г. Фалько. – Х., 1996. – 22 с.
   Falko, L.G. (1996), "Vibrating and adhesive separation of loose foodstuff", Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, Kharkov state academy of trade and public catering, Kharkov, Ukraine.
5. Пат. № 38259 А Україна, МПК 7В07В 13/11. Універсальний крупо-відділювач: Л.Г. Гросул. – № 200006440; заявл. 12.06.2000; опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.
   Grosul, L.G. (2001), *Universal separator of groats*, patent № 38259 A, Ukraine.
6. Пат. 47872 А (UA). МПК В 07 В 13/00. Спосіб сепарації сипких матеріалів під дією коливань і пристрій для його здійснення / О-ій Л. Фалько. – № 2001106988; заявл. 15.10.01; опубл. 15.07.02, Бюл. № 7.
   Falko O-iy L. (2002), *Separation way for loose materials under the influence of fluctuations and the device for its realisation*, patent № 47872 A, Ukraine.
7. Пат. 3315 (UA). МПК В 07 В 13/00. Пристрій для сепарації порошкових і дрібних сипких матеріалів / О-ій Л. Фалько (UA). – № 2004010243; Заявлено 13.01.04; Опубл. 15.11.04, Бюл. № 11.
   Falko O-iy L. (2004), *Separation way for loose materials under the influence of fluctuations and the device for its realisation*, patent № 3315, Ukraine.

Цель. *Целью статьи является обоснование принципа действия нового способа и конструкции нового устройства для сепарации пищевых сыпучих смесей с мелкодисперсными фракциями частиц.*

Осуществляется предлагаемый способ следующим образом. Сначала происходит виброперемещение сыпучей смеси вниз между двумя вертикальными горизонтально колеблющимися пластинами при взаимодействиях с каждой пластиной в каждом периоде колебаний для разрушения связей между частицами смеси. После выхода из пространства между колеблющимися пластинами частицы смеси в последний раз взаимодействуют с той колеблющейся пластиной, которая снизу длиннее другой, и осуществляют от неё полет. В полете частицы распределяются в соответствии с дальностью своего полета. После этого

каждая частица смеси путем падения попадает в сборник для частиц ее фракции. Этот способ осуществляется за счет разности в адгезионных свойствах частиц разных фракций и разности в преодолении этими частицами силы сопротивления воздуха.

Методика. *В процессе исследования использовалось математическое моделирование для процесса полета частиц от сепарирующей поверхности.*

Результаты. *Результатами работы являются обоснования принципа действия нового способа и конструкции нового устройства для сепарации пищевых сыпучих смесей с мелкодисперсными фракциями частиц.*

Научная новизна. *Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании нового процесса сепарации, осуществляемого по двум признакам разделения частиц одновременно.*

Практическая значимость. *Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для детальной разработки конструкции и изготовления машины для сепарации сыпучих смесей, которые могут содержать мелкодисперсные фракции. Использовать такую машину можно, например, для сортировки муки или круп, очистки муки, круп, семян от засоряющих примесей.*

Ключевые слова: *сепарация, сепарация сыпучих смесей, очистка муки, разделение сыпучих смесей, сепарация мелкодисперсных материалов, сыпучая смесь.*

Objective. *Article purpose is the substantiation of the action principle for the new way and the new device design for separation of food loose mixes with small dispersion fractions of particles.*

The offered way as follows is carried out. Vibration moving of a loose mix downwards between two vertical horizontally fluctuating plates is carried out.

There is an interaction of a mix to each plate in each period of fluctuations for destruction of communications between mix particles. After an exit from space between fluctuating plates of a particle of a mix last time co-operate with that fluctuating plate which from below is longer another, and carry out from it flight. In particle flight are distributed according to range of the flight. After that each particle of a mix by falling gets to the collection for particles of its fraction. This way is carried out at the expense of a difference in adhesive properties of particles of different fractions and at the expense of a difference in overcoming by these particles of force of resistance of air.

Methods. *In the course of research mathematical modelling for process of flight of particles from a separating surface was used.*

Results. *Results of work are substantiations of the action principle of the new way and designed the new device for separation of loose food mixes with a small dispersion fractions of particles.*

Scientific novelty. *Scientific novelty of work consists in a theoretical substantiation of new process of the separation which are carried out to two signs of division of particles simultaneously.*

The practical importance. *The practical importance of work consists in possibility of use of the received results for detailed working out of a design and manufacturing of the device for separation of loose mixes which can contain a small dispersion particles. To use such device it is possible, for example, for sorting of a flour or groats, for clearing of a flour, groats, seeds of littering impurity.*

Key words: *separation, separation of loose mixes, flour clearing, division of loose mixes, separation a small dispersion of materials, a loose mix.*

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук Чепцовим М.М.
Дата надходження рукопису 05.02.2013 р.