

УДК 621.793; 538

## ДО ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ЗА СУКУПНІСЮ ПРУЖНИХ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Богомолів О.В., д.т.н. проф., Завгородній О.І., д.т.н., проф.,  
Ольшанський В.П., д.ф.-м.н., проф.,

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

Богомолів О.О., аспірант

*(Луганський національний аграрний університет)*

*Розглянуті питання удосконалення процесу сепарації зернових сумішей за пружними та аеродинамічними властивостями. Обґрунтовано новий спосіб сепарації зернових сумішей за сукупністю цих властивостей та запропоновано технічне рішення для реалізації способу у вигляді вібропневмоударного сепаратора.*

**Ключові слова.** *Зернові суміші, сепарація, сукупність, пружні властивості, аеродинамічні властивості, вібропнево-ударний сепаратор.*

**Постановка задачі.** Сепарація зернових, насіннєвих та інших сипких сумішей здійснюється за різницею фізико-механічних властивостей суміші [1].

Сепарація зернових сумішей за пружними властивостями здійснюється або за рахунок удару частинок суміші об відбивну поверхню, або удару поверхні по частинках сумішей. Перший спосіб успішно реалізовано в сепараторах з наклонними відбивними поверхнями зокрема в гравітаційних багатоярусних ударних сепараторах [2, 3, 4].

Другий реалізовано в падди-машинах, що випускаються промисловістю [5].

Перевагами першого способу є те, що на процес сепарації енергії зовсім не витрачається. Однак продуктивність цього способу низька.

В падді-машинах продуктивність достатньо висока, але основним їх недоліком є великі витрати енергії на процес сепарації та складність конструкції, це пояснюється тим, що в коливальний рух приводиться весь кузов машини, окрім привода та завантажувального бункера.

**Основні матеріали досліджень.** Набагато простіший за

конструкцією є сепаратор, схема якого представлена на рис. 1 [6].

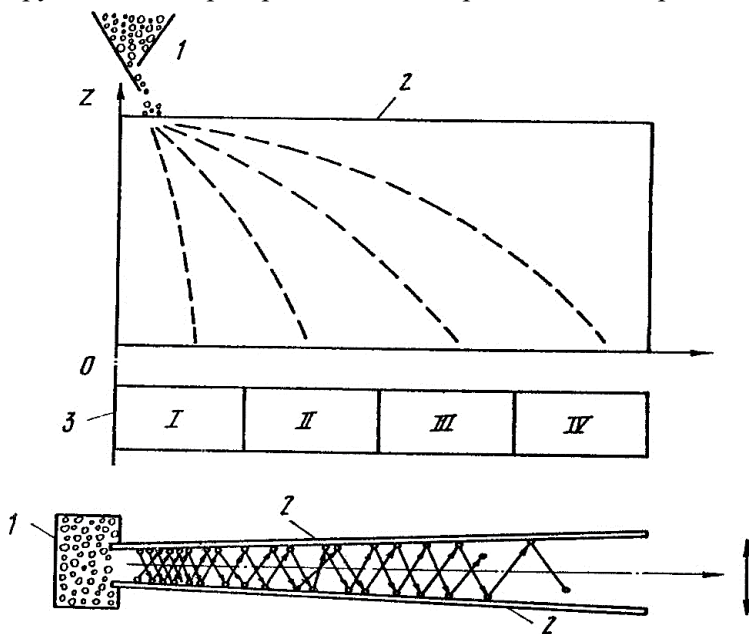


Рис. 1. Принципова схема віброударної сепаратора: 1 - пристрій живлення; 2 - деки; 3 - приймачі продуктів поділу

У цьому сепараторі поділ зернистих матеріалів вихідного матеріалу подають в зазор між вертикально встановленими площинами зі змінним зазором між ними, причому подачу здійснюють з боку вузького зазору між площинами, а вібраційний вплив на матеріал здійснюють поперечними щодо вертикальній площині симетрії площин коливаннями.

На рис. 2 представлена схема руху частки між площинами.

Процес поділу суміші відбувається наступним чином. Оброблювану зернову суміш з пристрою живлення 1 подають у верхню частину порожнини між вертикально розташованими площинами (деками) 2 і повідомляють останнім гармонійні коливання. Під дією коливань і сили тяжіння частки переміщуються в зазорі між площинами і надходять до відповідних приймачі 3 продуктів поділу. При цьому в залежності від пружних властивостей частки будуть переміщатися від живильного пристрою на різну відстань. Відбір фракцій в приймачі насіння відбуватиметься в той момент, коли частка не досягає протилежної деки, тобто в момент

максимальної прояви часткою своїх пружних властивостей. Отже, в приймач I відбираються менш пружні насіння, а приймач IV - найбільш пружні. Насіння з проміжними значеннями цих властивостей відбираються в приймачі II і III. При цьому кожна фракція містить частинки, близькі за своїми властивостями.

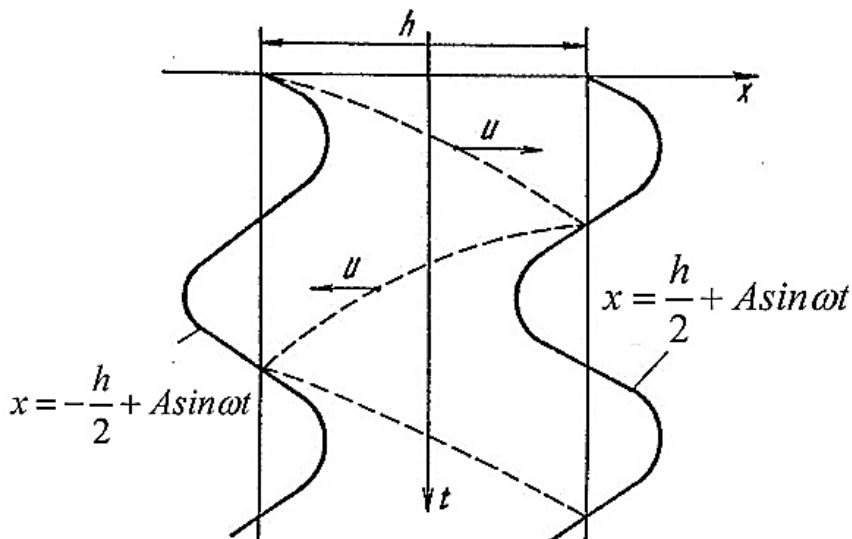


Рис. 2. Схема руху частки між площинами

На рис. 2 суцільною лінією показані траєкторії руху площин в часі  $t$ , а пунктирною - частинки, для якої величина просвіту між площинами дорівнює  $h$ .

Закони коливань площин в прийнятій системі відліку наступні:  
- для лівої площини

$$X_1 = -h/2 + A \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

- для правої площини

$$X_n = h/2 + A \cdot \sin \omega t. \quad (2)$$

На схемі показаний критичний випадок регулярного руху частинки, коли площини передають їй максимально можливу енергію при ударі, тобто мають при ударі максимальну зустрічну швидкість руху, рівну:

$$V = A \cdot \omega, \quad (3)$$

де  $A$  - амплітуда, м;

$\omega$  - частота коливань площин, 1/с.

Розглянемо плоску задачу без урахування руху під дією сил тяжіння.

Позначимо абсолютну швидкість горизонтального переміщення частинки буквою  $U^*$ . Тоді відносна швидкість при зустрічі частки з площинами дорівнюватиме:

$$V_0 = V + U^* = A \cdot \omega + U^*. \quad (4)$$

Горизонтальна швидкість після удару дорівнює  $U^*$  і обчислюється за формулою:

$$U^* = R_y \cdot V_0 = R_y (A \cdot \omega + U^*). \quad (5)$$

Звідки:

$$U^* = \frac{R_y \cdot A \cdot \omega}{1 - R_y}, \quad (6)$$

де  $R_y$  - коефіцієнт відновлення швидкості Ньютона.

Для подолання відстані  $h$  частці потрібен час, що дорівнює половині періоду коливань площин:

$$\tau = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}. \quad (7)$$

Отже:

$$h = U^* \cdot \tau = U^* \frac{\pi}{\omega}. \quad (8)$$

Виключаючи з формул (7.6) і (7.8) швидкість  $U^*$ , отримаємо мінімально можливе (критичне) значення амплітуди коливань, при якому можливий регулярний режим руху частинки, тобто:

$$A_{kh} = h \frac{1 - R_y}{\pi R_y}. \quad (9)$$

Таким чином, для дотримання регулярного режиму руху повинна виконуватися умова:

$$A > A_{kp}, \quad (10)$$

а для усунення цього режиму повинно виконуватися умова, зворотне висловом (10).

У місці завантаження оброблюваного матеріалу регулярний режим повинен дотримуватися для всіх частинок. Якщо він буде дотриманий для дрібнозернистої ( $h_m$ ) і малоупругої ( $R_{min}$ ) фракції, то

тим більше він буде мати місце і для інших. Отже, амплітуда повинна бути обрана з умови:

$$A > h_m \frac{1 - R_{min}}{\pi R_{min}}, \quad (11)$$

де  $h_m$  - величина просвіту між часткою дрібнозернистої фракції і площинами в найбільш вузькій частині зазору між ними, м;  
 $R_{min}$  - мінімальне значення коефіцієнта відновлення нормальної швидкості.

З іншого боку, інтенсивність коливань повинна бути такою, щоб регулярний режим руху був порушений для всіх фракцій суміші на робочому місці їх руху між площинами. Якщо це так, то всі фракції, перш ніж опинитися в самій кінцевій області площин (з найбільшим зазором), вийдуть з регулярного режиму руху і потраплять в нижні приймачі. Причому, якщо це станеться для крупнозернистої ( $h_k$ ) і найбільш пружної ( $R_{max}$ ) фракції, то поготів і для інших. Отже, для амплітуди маємо ще одну умову:

$$A < h_k \frac{1 - R_{max}}{\pi R_{max}}, \quad (12)$$

де  $h_k$  - величина просвіту між часткою крупнозернистої фракції і площинами в найбільш широкій частині зазору між ними, м;  
 $R_{max}$  - максимальне значення коефіцієнта відновлення нормальної швидкості.

Об'єднуючи вирази (11) і (12), отримаємо інтервал можливих значень амплітуди, при якій можна здійснити даний спосіб:

$$h_m \frac{1 - R_{min}}{\pi R_{min}} < A < h_k \frac{1 - R_{max}}{\pi R_{max}}.$$

Єдиним недоліком цього пристрою є мале число взаємодій частинок суміші з ударними поверхнями через великі швидкості їх падіння в робочому зазорі, через що знижується якість сепарації.

У способі сепарації сипких матеріалів і пристрої для його здійснення в вібропневмоударному сепараторі цей недолік усунуто [7]. Крім того, даний пристрій дозволяє виділяти легкі домішки. Схема цього пристрою представлена на рис. 3.

Пристрій містить завантажувальний бункер 1, ударні сепаруючі поверхні 2, встановлені під кутом одна до одної, які коливаються перпендикулярно осі їх симетрії, відстійну камеру 3, гнучкий патрубок 4, вентилятор 5, електродвигун 6 і приймачі продуктів поділу 7.

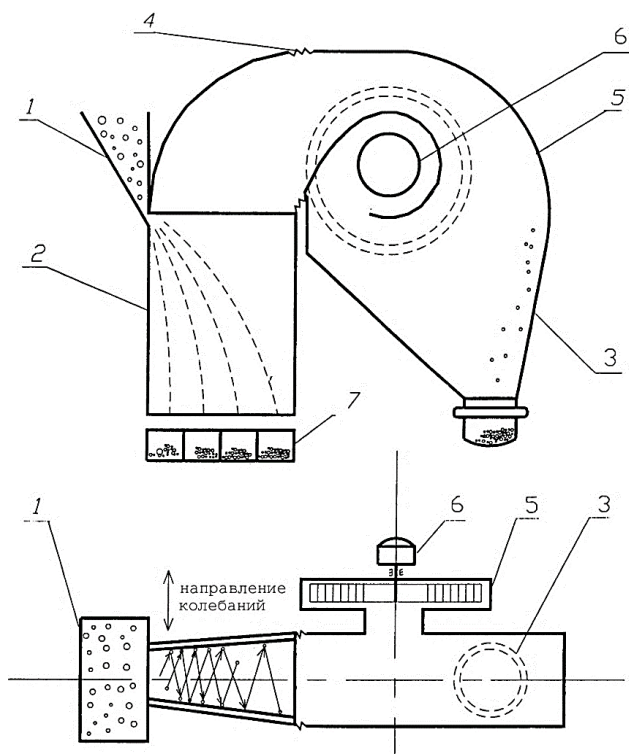


Рис. 3. Вібропневмоударний сепаратор: 1 - завантажувальний бункер; 2 - сепаруючі поверхні; 3 - відстійка камер; 4 - гнучкий патрубок; 5 - вентилятор; 6 - електродвигун; 7 - приймачі продуктів поділу

Робота пристрою здійснюється наступним чином. З завантажувального бункера вихідна суміш потрапляє в зазор між хитаються поверхнями. Вентилятор створює вертикальний повітряний потік, швидкість якого зазвичай встановлюється рівною  $0,5 \dots 0,95$  критичної швидкості витання часток суміші. При цьому внаслідок зниження швидкості руху частинок вниз і, отже, збільшення часу перебування частинок суміші між ударними поверхнями, збільшується кількість зіткнень частинок з поверхнями. Внаслідок цього повніше проявляються пружні властивості частинок, при цьому швидкість руху пружних частинок в подовжньому напрямі істотно збільшується, а менш пружних практично не змінюється, так як вони при збільшенні зазору між поверхнями не досягають протилежної ударної поверхні. Завдяки

цьому траєкторії руху пружних частинок змінюються, відстань між траєкторіями пружних і непружних частинок збільшується і вони потрапляють в різні приймачі продуктів поділу; за рахунок чого і збільшується якість сепарації.

**Висновки.** Завдяки спрямованому керуванню напрямом траєкторій руху частинок зернової суміші в зазорі між ударними поверхнями та збільшенню часу перебування також кількості зіткнень частинок з ударними поверхнями більш повніше проявляються їхні пружні властивості і таким чином підвищується якість сепарації.

### Список літератури

1. Богомолов А.В. Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей. Монография. Харьков: ХНТУСХ им.П.Василенка. 2013. – 308 с.

2. Слукин О.Л. Повышение эффективности очистки семян рапса от сорной примеси по упругим свойствам. Автор дис....канд.техн.наук: 05.20.01. / Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт рапса. – Липецк, 1992. – 20 с.

3. Пристрій для розподілу зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. №57958 Україна, МКВ В07 В 13/00. О.В.Богомолов, Ю.І.Токолов, М.О.Зінченко – №200203187; Заявл. 7.03.2002; Опубл. 15.07.2003, Бюл. №7. – 2 с.

4. Багатоярусний ударний сепаратор: Патент на корисну модель №62244, Україна, МКВ В07 В13/00, Богомолов О.В., Богомолова В.П. №201014867. Опубл. 25.08.2011. Бюл. №16. – 4 с.

5. Г.Е.Егоров, Е.М.Мельников, В.Ф.Журавлев. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1979. – 368 (стр.183)

6. Устройство для разделения зерновых смесей по упругости: А.с. №1526008 СССР, МК В07В13/00 /П.М.Заика, А.В.Козаченко, А.И.Завгородний, А.В.Богомолов. – № 4162603/29–03; Опубл.16.12.86. – 4 с.

7. Спосіб сепарації сипких матеріалів та пристрій для його здійснення. Д.п. № 64902А Україна, МКВ В 07В13/00 А.В.Богомолов – № 2002129888; Заяв. 10.12.2002; Опубл. 15.03.2004. Бюл. №3 – 3 с.

## Аннотация

### К ВОПРОСУ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ЗА СОВОКУПНОСТЬЮ УПРУГИХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВА

*Рассмотрены вопросы совершенствования процесса сепарации зерновых смесей за упругими и аэродинамическими свойствами. Обоснованно новый способ сепарации зерновых смесей по совокупности этих свойств и предложены техническое решение для реализации способа в виде вибропневмоударного сепаратора.*

**Ключевые слова.** Зерновые смеси, сепарация, совокупность, упругие свойства, аэродинамические свойства, Вибропневмоударный сепаратор.

## Abstract

### TO THE ISSUE OF SEPARATION OF GRAIN MIXTURES BY THE TOTAL OF ELASTIC AND AERODYNAMIC PROPERTIES

*The issues of improvement of the process of separation of grain mixtures by elastic and aerodynamic properties are considered. A new method of separation of grain mixtures on the basis of these properties is substantiated and a technical solution for the implementation of the method in the form of a vibropneumatic shock separator is proposed.*

**Keywords.** Grain mixtures, separation, aggregate, elastic properties, aerodynamic properties, vibropneumatic impact separator.

## УДК 534.1:539.3

### ВІЛЬНІ ЗАТУХАЮЧІ КОЛИВАННЯ ОСЦИЛЯТОРА ДУФФІНГА, СПРИЧИНЕНІ КВАДРАТИЧНИМ ОПОРОМ

Ольшанський В.П., д.ф.-м.н., проф., Бурлака В.В., к.т.н., доц.,  
Сліпченко М.В., к.т.н., доц., Спольнік О.І., д.ф.-м.н., проф.  
(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)

*Методом енергетичного балансу виведено розрахункові формули для наближеного обчислення амплітуд затухаючих коливань осцилятора з кубічною нелінійністю в характеристиці пружності при наявності опору, пропорційного квадрату швидкості руху. Реалізовано дві форми методу енергетичного балансу, який не потребує розв'язання нелінійного диференціального рівняння коливань осцилятора.*