

Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції
Processing and storage of agricultural products

УДК 62.79.633.854.78

Результати дослідження форми і параметрів
живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного
сепаратора насіння соняшника

О.С. Колодій, С.В. Кюрчев, К.Л. Мельник

Таврійський державний агротехнологічний університет (м. Мелітополь, Україна)

У даній статті представлені результати аналізу результатів досліджень сепарації насіння за різницею аеродинамічних характеристик їх компонентів показав, що найбільш перспективним для підвищення якості та інтенсифікації є процес розділення у нижній зоні вертикального каналу з нижнім вивантаженням виділених фракцій.

Приведені математичні моделі процесів руху насіння та «розщеплення» їх траєкторій. Для визначення поділяючої здатності та розрахунків пневмогравітаційного сепаратора розроблена комплексна математична модель руху насінини з урахуванням коефіцієнта парусності кожної фракції (компонентів) та обмежень конструктивних параметрів сепаратора, яка включає математичний опис процесів подачі матеріалу на подільник, руху насінини вздовж поверхні подільника, і руху в повітряному потоці з урахуванням їх аеродинамічних властивостей. Подані оптимальні параметри розподільника, виконаний у вигляді внутрішньої поверхні тору радіусом твірного кола 0,05м, при діаметрі основи 0,04 - 0,045м, які забезпечують найкращий поділ насіння по фракціям.

За допомогою розробленої математичної моделі руху «легкої» і «важкої» фракцій у вертикальному повітряному каналі встановлено, що зміна швидкості від кута подачі насіння в повітряний потік суттєво впливає на величину відхилення та розщеплення траєкторій руху двох фракцій, яка і визначає ефективність розділення фракцій.

Розглянуто підвищення ефективності повітряної сепарації при сортуванні насіння соняшника, а також зменшення енерговитрат можна досягти за рахунок використання для розділення насіння нижньої зони кільцевого каналу, а безпосередньо розділення здійснювати шляхом «розщеплення» траєкторії руху насіння соняшника.

Ключові слова: сепарація, аспіраційний канал, пневмогравітаційний сепаратор, насіння соняшника, коефіцієнт парусності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження процесу сепарації насіння в повітряних каналах встановлено, що повітря впливає на насінини в основному в момент руху зернової маси від внутрішньої стінки до зовнішньої (у прямокутному каналі). У центральній частині каналу швидкість повітря максимальна, а біля стінок вона зменшується, внаслідок чого розділення насіння погіршується. Крім того, в існуючих [1, 2, 3] пневмоканалах нижня зона повітряного потоку як конструктивний елемент і чинник поділу насінневого матеріалу за аеродинамічними властивостями не використовується. Разом з тим, працездатність нижньої зони потоку, як механізму поділу траєкторій руху насіння, розрізняється швидкістю витання. Доцільність її використання для досягнення додаткового

ефекту поділу зернової суміші доведено в багатьох роботах [4, 5]. Проте, використання дільників потоку насіння в падаючому шарі в протипотоці з повітрям в циліндричному каналі у вигляді коаксіального розташованих патрубків різного діаметру [6], дозволяє додатково (крім виділення «найлегших» домішок у верхній зоні каналу) розділяти насіння соняшника на дві фракції, виділяючи найбільш повноцінну. Однак, струменевий спосіб введення потоку насіння в пневмоканал [6], як показали експериментальні дослідження [7, 8], обмежує діаметральну зону розділення (всього 10 мм), що знижує можливість такого способу сепарації. Для збільшення величини розділення насіння за швидкістю витання, запропоновано розпушувати струмінь насіння, здійснюючи її гальмування і розподіл

насінного потоку по радіусу за допомогою розподільчого конусного пристрою. При цьому забезпечується не вертикальне введення матеріалу, а під певним кутом до вертикального повітряного потоку.

У даній роботі представлені результати дослідження параметрів живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника та обґрунтуванням його форми.

Головна частина. Основне призначення живильного пристрою кільцевого сортуючого каналу – це забезпечення рівномірного розподілення насіння по перетину каналу, розділення «струменю» матеріалу із падаючого трубчатого каналу та перетворення його в рівномірну поверхню, бажано, в шар розміром в одне зерно. Форма поверхні повинна забезпечити введення матеріалу в потік повітря під таким кутом і з такою швидкістю, яка забезпечує найкраще розділення насіння в потоці повітря. Крім того, форма поверхні не повинна затримувати матеріал, який подається в сортуючий канал.

З проведених попередніх досліджень встановлено, що найефективніше розділення насіння соняшника на «легкі» і «важкі» фракції досягається при куті нахилу (введення) розподільника $\alpha = 40^\circ$ і швидкості сходу матеріалу у потік повітря $v_0 = 0,8$ м/с [7, 8].

Але забезпечити вказані параметри подачі насіння в канал, використовуючи конічний розподільно-живильний пристрій, неможливо (рис.1).

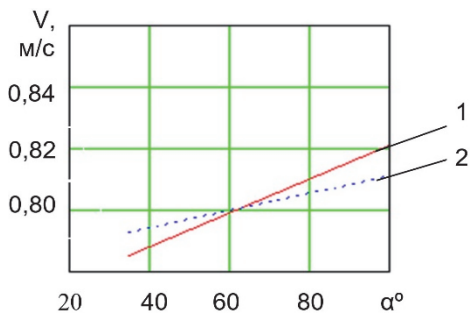


Рис. 1. Залежність швидкості сходу насіння від кута нахилу і довжини твірної конусу: 1 – довжина твірної конусу 0,1 м; 2 – довжина твірної конусу 0,05 м

Разом з тим, відомо [9], що переміщення часток по криволінійним гравітаційним поверхням обумовлює більш широке розсіювання матеріалу при сході з поверхні, ніж це має місце при сході матеріалу з нахиленої (конічної) поверхні. Тому виникла потреба дослідження руху матеріалу вздовж ввігнутої або випуклої (кульоподібної) обертальної поверхні.

Розглянемо рух частинки вздовж опорної поверхні у виді криволінійного конусу, утвореного обертанням твірної у вигляді дуги кола навколо вертикальної вісі.

Зобразимо схему силової взаємодії насінини з опорною поверхнею розподільника потоку насіння при її русі вздовж утворюючої (твірної) криволінійного конусу (дуга кола), вважаючи, що рух відбувається у площині YOX (рис.2).

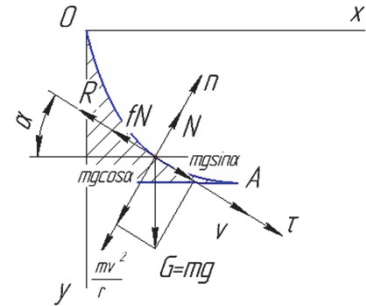


Рис. 2. Графічне зображення траєкторії руху насінини по поверхні тору

Для аналітичного дослідження руху насінини вздовж поверхні, утвореної обертанням твірної дуги кола навколо вертикальної вісі приймаємо, що відбувається рух матеріальної частинки масою m вздовж криволінійної кривої в формі дуги кола радіусом r , яке забезпечує плавне сходження насінини від розподільчого пристрою (розподільчої поверхні) в вертикальний повітряний потік. Оскільки мета дослідження – визначення впливу величин кута сходження і початкової швидкості насінини до потоку повітря, визначення руху частинки саме по кривій лінії є досить виправданим.

Розглядаючи рух частинки на ділянці OA по дузі кола, визначимо сили, що діють на зернинку: сила тяжіння G , яка визначається як $G = mg$ і яка розкладається на складові: $mg \sin \alpha$ і $mg \cos \alpha$, де α – кут нахилу дотичної до горизонтальної вісі. Зі сторони криволінійної поверхні на насінину діє сила нормальної реакції, яка спрямована вертикально до дотичної прямої τ . Також сила тертя, яка спрямована протилежно вектору швидкості руху насінини і визначається $F_T = fN$, а також: сила опору повітряного середовища Rv та руху частки R , величину якої можна прийняти пропорційною швидкості руху частинки $R = k_M v$ (де k_M – коефіцієнт опору при Стоксівському режимі обтікання частинки). У напрямку, протилежному дії нормальної реакції опорної поверхні N , діє сила інерції $F_v = mv^2/r$, де r – радіус кривизни опорної кривої.

Отже, згідно зі схемою силової взаємодії (рис.2) диференціальне рівняння руху частинки вздовж дуги OA у векторній формі має вид:

$$m\bar{a} = \overline{G_T} + \overline{N} + \overline{R_v} + \overline{F_v}. \quad (1)$$

Оскільки в даному випадку маємо площинну систему координат, рівняння (1) запишемо у формі звичайних диференціальних рівнянь, проєктуючи визначені сили на відповідні вісі координат: τ – вісь спрямована по дотичній до кривої, вздовж якої рухається частинка та вісь n – вісь нормальна до вектору руху частинки:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - fN - k_{\Pi} v^2; \quad (2)$$

$$N = mg \cos \alpha + m \frac{v^2}{r}, \quad (3)$$

і додамо рівняння в'язі – рівняння кола:

$$f(x, y) = y^2 + (x - r)^2 = r^2, \quad (4)$$

Враховуючи, що $\sin \alpha = \frac{dy}{ds}$, $\cos \alpha = \frac{dx}{ds}$, з рівняння (1) і (2) матимемо:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \frac{dy}{ds} - fmg \frac{dx}{ds} + fm \frac{v^2}{r} - k_{\Pi} v^2. \quad (5)$$

Приймаємо в першому наближенні, що сила опору повітряному середовищу та відцентрова сила інерції мало впливають на рух частинки і ними можна знехтувати. Помноживши праві і ліві частини рівняння (5) на ds і враховуючи, що $\frac{ds}{dt} = v$, отримаємо рівняння:

$$v dv = g dy - f g dx. \quad (6)$$

Інтегруючи рівняння (6) при початкових умовах:

$$y = 0; x = 0; v = v_0,$$

де v_0 – початкова швидкість руху частинки (швидкість, з якою частка падає на розподільчу поверхню) будемо мати:

$$v^2 - v_0^2 = 2g(y - fx) \quad (7)$$

Величину y визначимо з рівняння в'язі і підставимо в рівняння (7) кінцеве рівняння, що визначає швидкість руху частинки вздовж дуги кола від координати x та отримаємо:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g(\sqrt{r^2 - (x - r)^2} - fx)}. \quad (8)$$

В даному випадку величина x дорівнює радіусу основи криволінійного конусу розподільника потоку насіння.

Кут нахилу дотичної до горизонтальної вісі ОХ дорівнює куту сходу матеріалу з розподільника α_0 (кут вводу матеріалу в потік повітря) та визначається з геометричних співвідношень за формулою:

$$\alpha = \alpha_0 = \arcsin \frac{r - x}{r}. \quad (9)$$

Залежність швидкості сходу частки з опорної поверхні від радіусу основи поверхні обертання наведено на рис. 3.

Розглянемо рух частинки по ввігнутій поверхні розподільника насіння без прийнятих спрощень. Запишемо рівняння (6) у вигляді:

$$\frac{dv}{dt} = g \frac{dy}{ds} - gf \frac{dx}{ds} - \left(\frac{f}{r} + k_{\Pi} \right) v^2. \quad (10)$$

Використовуючи формулу (10) і спрощуючи, з рівняння $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, $\frac{dy}{ds} = \sin \alpha$; $\frac{dx}{ds} = \cos \alpha$, отримаємо додаткове рівняння зв'язку:

$$ds = \sqrt{dy^2 + dx^2}. \quad (11)$$

Помноживши рівняння (11) на ds матимемо:

$$v dv = g dy - f g dx - k_0 v^2 ds, \quad (12)$$

де

$$k_0 = \left(\frac{f}{r} + k_{\Pi} \right),$$

або, з урахуванням (11):

$$v dv = g(dy - f dx) - k_0 v^2 \sqrt{dy^2 + dx^2}. \quad (13)$$

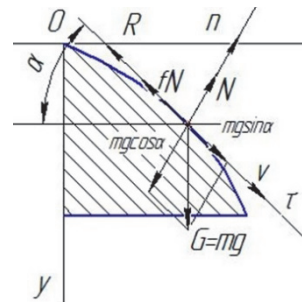


Рис. 3. Графічне зображення силової взаємодії та траєкторії руху насінини по випуклій поверхні

З рівняння в'язі: $y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2}$ після диференціювання отримаємо:

$$dy = \frac{r - x}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} dx. \quad (14)$$

Підставляючи вираз y у рівняння (13), після перетворень матимемо:

$$v dv + k_0 v^2 r \frac{dx}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} = -g \left[\frac{r - x}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} + f \right] dx. \quad (15)$$

Або:

$$v \frac{dv}{dx} + \frac{k_0 r}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} v^2 = -g \left[\frac{r - x}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} + f \right]. \quad (16)$$

Позначимо:

$$N(x) = \frac{r_0 k_0}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}},$$

$$M(x) = -g \left[\frac{r - x}{\sqrt{r^2 - (r - x)^2}} + f \right]$$

і перепишемо рівняння (15) у вигляді:

$$v \frac{dv}{dx} + v^2 N(x) = M(x),$$

$$\frac{dv}{dx} + N(x)v = M(x)\frac{1}{v}. \quad (17)$$

Рівняння (17) є лінійним диференціальним рівнянням типу Бернуллі, та його розв'язання має вид

$$v = \sqrt{e^{-2 \int N(x) dx} \times \left(c_1 + 2 \int M(x) e^{2 \int N(x) dx} dx \right)}, \quad (18)$$

де C_1 – довільна стала.

Значення інтегралів

$$\int N(x) dx \quad \text{і} \quad \int M(x) e^{2 \int N(x) dx} dx : \\ \int N(x) dx = rk_0 \arcsin\left(\frac{r-x}{r}\right).$$

Так як

$$\alpha_0 = \arcsin\left(\frac{r-x}{\sqrt{r^2}}\right),$$

тобто кут нахилу дотичної до перетину поверхні розподільника, рівний куту сходу насінини при значенні $\alpha_0 = 40^\circ$, дає найбільш ефективне розподілення, тоді рівняння (18) прийме вид:

$$v = \sqrt{e^{-80rk_0} (2[9,8\sqrt{-x^2 + 2rx} - 9,8fx] e^{80rk_0})} \quad (19)$$

Так як $v_0 = 0$, то при $x = 0$ маємо:

$$v_0 = \sqrt{e^{-70rk_0} (c_1 - f) e^{70rk_0}} = 0.$$

Звідси знаходимо постійну інтегрування таким чином:

$$v = \sqrt{e^{-80rk_0} (2[9,8\sqrt{-x^2 + 2rx} - 9,8fx] e^{80rk_0})}. \quad (20)$$

Як було показано, найбільш ефективне розподілення насінин проходить при $v = 0,8$. Тоді, вирішуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sqrt{19,6\sqrt{2rx - x^2} - 7,84x} = 0, \\ \frac{r-x}{\sqrt{r^2 - (r-x)^2}} = \frac{\pi}{4,5}, \end{cases} \quad (21)$$

знаходимо найбільше значення радіусу твірної розподільника, яке забезпечить оптимальний режим: $r_0 = 0,050$ м, $x = 0,0215$ м (рис. 4).

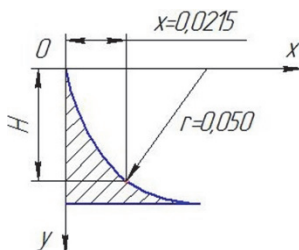


Рис. 4. Схема визначення радіусу твірної розподільника

Знаходимо H , так як $y = \sqrt{r^2 - (x-r)^2}$.

У випадку використання розподільника зерна у виді поверхні обертання з вертикальною віссю випуклої форми (півсфера), рівняння (1) записується у вигляді:

$$N = mg \cos \alpha - m \frac{v^2}{r}, \quad (22)$$

а рівняння в'язі у вигляді:

$$x^2 + (y-r)^2 = r^2, \quad (23)$$

$$x = \sqrt{r^2 - (y-r)^2}.$$

З рівнянь (1) і (21) матимемо:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \frac{dy}{dS} - mg \int \frac{dx}{dS} + fm \frac{v^2}{R} - kv^2. \quad (24)$$

З рівняння (23) отримаємо похідну:

$$dx = \frac{r-y}{\sqrt{r^2 - (r-y)^2}} dy. \quad (25)$$

Підставляючи значення dx в (25) отримаємо:

$$dS = r dy \sqrt{\frac{1}{r^2 - (r-y)^2}}. \quad (26)$$

Домножуючи всі члени рівняння (24) на dS і підставляючи в нього значення dS (26) і dx (25), отримаємо рівняння руху частинки по випуклій кривій (дузі кола):

$$\frac{dv}{dy} = \frac{g}{v} - \frac{gf}{v} \cdot \frac{r-y}{\sqrt{r^2 - (r-y)^2}} + k_0 r v \sqrt{\frac{1}{r^2 - (r-y)^2}}. \quad (27)$$

Розв'язок рівняння (27) є аналогічним розв'язку (19).

На рис. 5 наведений графік траєкторії насінин різних фракцій (при розподільнику у вигляді дуги кола).

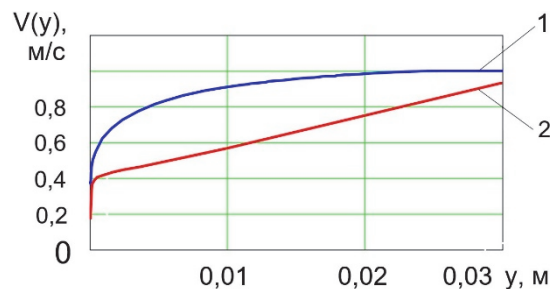


Рис. 5. Траєкторії насінин: 1 – траєкторія руху насінини по ввігнутій поверхні; 2 – траєкторія руху насінини по випуклій поверхні

Аналізуючи вищенаведений графік, можна зробити висновок, що для якісного розділення насіння соняшника використання випуклої форми розподільника не є бажаним, оскільки при такій формі сортування відбувається гірше, ніж

при використанні форми розподільника у вигляді поверхні тору.

Висновок.

Розроблені математичні моделі процесів руху насіння та «розщеплення» траєкторій, які пов'язують основні конструкційно-режимні параметри, аеродинамічні властивості насіння та умови подачі його в кільцевий повітряний канал, дозволили встановити раціональні параметри поділу насіння в каналі, які забезпечує розподільник, виконаний у вигляді внутрішньої поверхні тору радіусом твірного кола 0,05м, при діаметрі основи 0,04 - 0,045м.

Література

1. Васильковский О.М. Повышение эффективности воздушной очистки зерна / О.М. Васильковский, Ф.И. Петренко. // Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин. – Кировоград, 2005. – Вып. 35. – С. 286 - 288.
2. Котов Б.И. Тенденции развития конструкций машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів / Б.И. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кировоград, 2003. – Вып. 33. – С. 53 - 59.
3. Степаненко С.П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С.П. Степаненко // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – С. 59 - 65.
4. Єрмак В.П. Результати досліджень розподілення швидкості повітряного потоку в межах основної сепараційної камери та відстані встановлення головної поділяючої заслінки сепаратора / В.П. Єрмак // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія технічні науки. – Луганськ, 2006. – №68/97. – С. 92 - 98.
5. Кюрчев С.В. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур / С.В. Кюрчев, О.С. Колодій // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вып. 148, т. 1. – С. 56 - 63.
6. Пат. 86300 Україна, МПК В07В 1/28. Аеродинамічний сепаратор для насіння / С.В. Кюрчев, О.С. Колодій (Україна). – № u201307937; заявл. 21.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24.
7. Колодій О.С. Методики дослідження параметрів сепаратора семян проведеного типу / С.В. Кюрчев, О.С. Колодій // Motrol «Motorization and energetics in agriculture». – Lublin-Rzeszow, 2013. – Vol. 15, No2. – P. 205 - 213
8. Колодій О.С., Методика дослідження впливу геометричного положення насіння в просторі, при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратору / О.С. Колодій // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2013. – Вып. 13, т. 3. – С. 124 -129.
9. Василенко П.М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований / П.М. Василенко // – М., 1958. – 168 с.

Анонція

Результаты исследования формы и параметров питательно-распределительного устройства пневмогравитационного сепаратора семян подсолнечника

А.С. Колодій, С.В. Кюрчев, К.Л. Мельник

В данной статье представлены результаты анализа результатов исследований сепарации семян по различию аэродинамических характеристик их компонентов показал, что наиболее перспективным для повышения качества и интенсификации является процесс разделения в нижней зоне вертикального канала с нижним выгрузкой выделенных фракций.

Приведены математические модели процессов движения семян и «расщепления» их траекторий. Для определения разделяющей способности и расчетов пневмогравитационного сепаратора разработана комплексная математическая модель движения семени с учетом коэффициента парусности каждой фракции (компонентов) и ограниченных конструктивных параметров сепаратора, которая включает математическое описание процессов подачи материала на подельник, движения семени вдоль поверхности подельника, и движения в воздушном потоке с учетом их аэродинамических властивостей. Поданы оптимальные параметры распределителя, выполнен в виде внутренней поверхности тора радиусом образующей круга 0,05м, при диаметре основания 0,04 - 0,045 м, которые обеспечивают лучший разделение семян по фракциям.

С помощью разработанной математической модели движения «легкой» и «тяжелой» фракций в вертикальном воздушном канале установлено, что изменение скорости от угла подачи семян в воздушный поток существенно влияет на величину отклонения и расщепления траекторий движения двух фракций, которая и определяет эффективность разделения фракций.

Рассмотрены повышения эффективности воздушной сепарации при сортировке семян подсолнечника, а также уменьшение энергозатрат можно достичь за счет использования для разделения семян нижней зоны кольцевого канала, а непосредственно разделение осуществлять путем «расщепления» траектории движения семян подсолнечника.

Ключевые слова: сепарация, аспирационный канал, пневмогравитационный сепаратор, семена подсолнечника.

Abstract

Results of the study forms and nutritious options, switchgear pnevmohravitatsiynoho sunflower seeds Separator

A.S. Kolodiy, S.V. Kyurchev, K.L. Melnik

In this article analysis results of researches separation of seeds on distinction of aerodynamic characteristics of their components have been provided. By the analysis it was shown that the most perspective for improvement of quality and an intensification is process of separation in the lower zone of the vertical channel with lower unloading of the allocated fractions.

Mathematical models of movement processes of seeds and "splitting" of their trajectories have been given. The complex mathematical model of movement of seeds taking into account coefficient of windage of each fraction (components) and restrictions of design data of a separator is developed for determination of the dividing capability and calculations of a pnevmogravitatsiynyy separator. The model includes the mathematical description of processes of a material feed on the accomplice and movements of seeds along the accomplice's surface, also movements in an air flow taking into account their aerodynamic properties. Optimum parameters of the distributor which is executed in the form of an internal surface a torus by radius forming a circle 0,05m with a diameter of basis of 0,04 - 0,045 m which provide the best separation of seeds on fractions have been shown.

By means of developed mathematical model of movement of "easy" and "heavy" fractions in the vertical air channel it was established that change of speed from the angle of giving of seeds in an air flow significantly influences the size of a deviation and splitting of trajectories of movement of two fractions. This speed determines efficiency of separation of fractions.

Increase in efficiency of air separation when sorting seeds of sunflower and reduction of energy costs has been considered. They can be reached due to use for separation of seeds of the lower zone of the ring channel, and directly separation will be performed by "splitting" of a movement trajectory of sunflower seeds.

Keywords: separation, aspiration channel pnevmohravitatsiynyy separator, sunflower seeds.

Представлено від редакції: М.В. Бакум / Presented on editorial: M.V. Vakum

Рецензент: С.О. Харченко / Reviewer: S.O. Harchenko

Подано до редакції / Received: 29.09.2016