



УДК 631.362.36.032

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-20

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ НАСІНИНИ ПРИ ВИХОДІ З ЖИВИЛЬНОГО КОНУСА ВІБРОАСПІРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА

Паламарчук І. П., д.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

Кюрчев С. В., к.т.н.,

Кюрчева Л. М., к.с.-г.,н.,

Верхоланцева В. О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

E-mail: valentyna.verkholantseva@tsatu.edu.ua

Тел. +38(097)828-50-43

**Анотація** – Одним із основних умов отримання якісного врожаю є підготовка насіння перед посівом, а саме застосовування сепарації. На практиці використовують сепаратори, але деякі з них не в змозі зробити якісний поділ насіння на фракції і при цьому не пошкодити насіння. Тому виникла потреба у розробці віброаспіраційного сепаратора, який в свою чергу дозволить забезпечити краще розділення насінневого матеріалу на фракції. Наведено математичне моделювання руху насінини у конусі, а саме враховані конструктивні особливості віброаспіраційного сепаратора, які впливають на кінцевий вихід продукту. Зроблені наступні припущення, які стосуються даного сепаратора на певній ділянці процесу: насіннєвий матеріал з конічного живильника подається у вертикальний, рівномірно розподілений за радіусом повітряний потік під початковим кутом  $\alpha_0$  та зі швидкістю  $V_0$ ; вважається, що має місце рух ізольованих насінин, розмір та вага яких визначається швидкістю витання; насінини не змінюють свого орієнтування за віссю симетрії насінини по відношенню до напрямку повітряного потоку; потік повітря спрямований вертикально вгору. Встановлені основні силові фактори, що зумовлюють рух часток продукції у повітряному потоці: сила опору повітря; сила дії повітряного потоку; сила тяжіння насіння; складова змушуючої сили, що створюється за рахунок автоколивального руху центральної труби розподільника; крутний момент, що виникає за автоколивального руху. У статті розкрито рух насінини при виході із конуса сепаратора, та наведені схеми сил та кінематичних характеристик насінини у повітряному потоці. Виведені рівняння стосовно руху насінини у сепараторі, та встановлено, що за допомогою комплексної дії вібрації, пневмодинамічних та гравітаційних сил відбувається сепарація насінневого матеріалу.

**Ключові слова** – віброаспіраційний сепаратор, конус, насіннєвий матеріал, процес, моделювання, сили, розділення.



*Постановка проблеми.* Ефективним та надійним шляхом підвищення врожайності сільськогосподарських культур є використання якісного насінневого матеріалу. А отримати якісний матеріал можливо відбором із загальної маси, насіння із цінними біологічними властивостями, яке потрапляє до фракції I при сепарації та дає дружні сходи - в результаті збільшує загальну врожайність. За допомогою конструкцій сепараторів з нижньою зоною розділення і вивантаження окремих фракцій дозволяють використовувати спосіб розділення за траєкторіями [1 – 6]. Отже, проблема підготовки якісного насінневого матеріалу є актуальною.

*Аналіз останніх досліджень.* Відомі вчені у галузі сепарування насіння прийшли к висновку, що найбільш надійними та простими у роботі є сепаратори у повітряних потоках. В ході розвитку сепараторів збільшували продуктивність та якість поділу за рахунок збільшення енерговитрат. Тому, треба більш детально розглянути шляхи підвищення якісного насінневого матеріалу, а саме за допомогою комплексної дії сил у сепараторі [1 – 8].

*Формулювання мети дослідження.* Метою статті є дослідити рух насінини при виході із живильного конуса віброаспіраційного сепаратора за рахунок автоколивальних руху у період підготовки насінневого матеріалу.

*Результати та обговорення.* За допомогою математичного моделювання процесів розділення у даній ділянці сепаратора використовуємо наступні припущення[9 – 12]:

- насінневий матеріал з конічного живильника подається у вертикальний, рівномірно розподілений за радіусом повітряний потік під початковим кутом  $\alpha_0$  та зі швидкістю  $V_0$ ;
- вважається, що має місце рух ізольованих насінин, розмір та вага яких визначається швидкістю витання;
- насінини не змінюють свого орієнтування за віссю симетрії насінини по відношенню до напрямку повітряного потоку;
- потік повітря спрямований вертикально вгору.

Серед основних силових факторів, що зумовлюють рух часток продукції у повітряному потоці можна відзначити (рис.1):

$R_{оп}$  – сила опору повітря;

$F_{п}$  – сила дії повітряного потоку;

$G_{н}$  – сила тяжіння насіння;

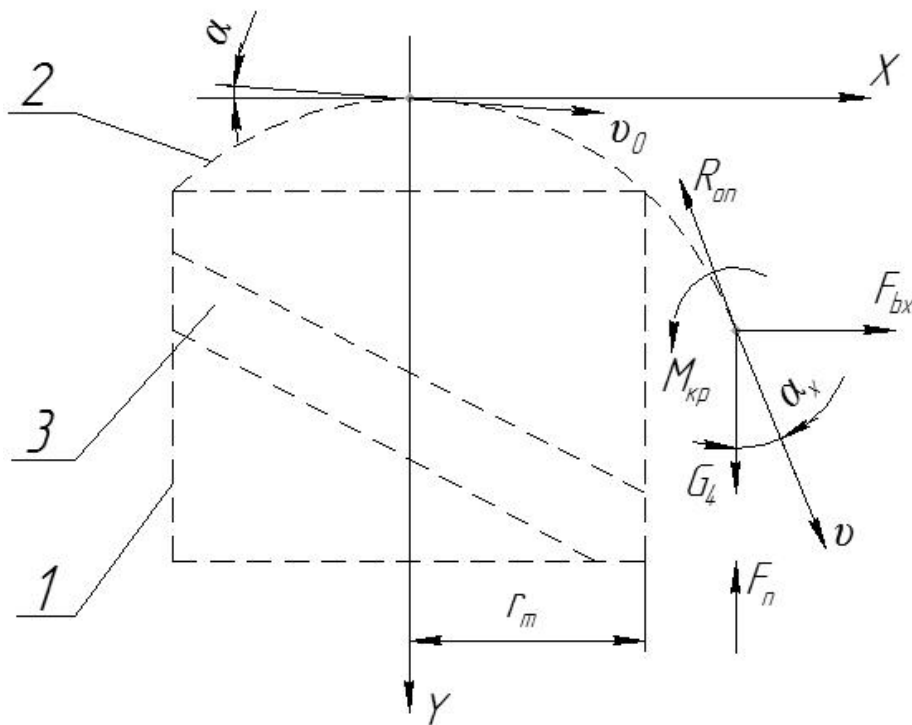


Рис. 1. Схема сил, що діють на частинку у повітряному потоці.

$$F_{bx} = \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l}$$

– складова змушуючої сили, що створюється за рахунок автоколивального руху центральної труби розподільника;

$$M_{kp} = F_{nx} \cdot r_\tau$$

– крутний момент, що виникає за автоколивального руху.

Враховуючи помірні швидкості потоку повітря, тобто у межах  $v_{п} = 0 \dots 7$  м/с силу опору повітряного потоку визначаємо за формулою

$$R_{on} = \xi \cdot S_m \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \quad (1)$$

де  $S_m$  – площа міделевого перерізу насінини;

$\xi$  – коефіцієнт опору середовища: для еліпсоїдної форми насінини  $\xi = 0,04$  ;

$\rho$  – щільність повітря;

$v$  – швидкість насінини у потоці повітря.

Приймаємо за початок координат місце сходу частинки в повітряний потік (рис. 2) та розглянемо основні кінематичні характеристики частинки у повітряному потоці, зокрема,  $v_b$  – відносна швидкість насінини;  $v_{п}$  – швидкість повітряного потоку або переносно швидкість насінини.

Тому абсолютна швидкість насінини складає:  $\vec{v} = \vec{v}_e + \vec{v}_n$ .



Враховуючи представлені на рис. 1 та 2 схеми, складаємо рівняння руху досліджуваної системи у вигляді:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -R_{OIIx} \cdot \sin \alpha_x + F_{bx} \\ m\ddot{y} = -F_n + G - R_{OIIy} \cdot \cos \alpha_x \end{cases} \quad (2)$$

$$\ddot{x} = \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l \cdot m} - \frac{\xi \cdot S_m \cdot \dot{x}^2 \cdot \rho}{2m} \cos \alpha_x$$

$$\ddot{x} + \frac{B_1}{m} \cdot \dot{x}^2 - \sin \alpha_x = \frac{B_2}{m} \sin \omega t$$

$$\text{де } B_1 = \frac{\xi \cdot S_m \cdot \rho}{2};$$

$$B_2 = \frac{l_x \cdot F_n}{\sqrt{2} \cdot l}$$

$$\ddot{y} = -\frac{F_n}{m} + g - \frac{\xi \cdot S_m \cdot \dot{y}^2 \cdot \rho}{2m} \cos \alpha_x$$

$$\ddot{y} + \frac{B_1}{m} \dot{y}^2 \cos \alpha_x = g - \frac{F_n}{m}$$

Пропонуємо описати рух насінини при сході з криволінійної напрямної, використовуючи систему:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \frac{\xi \cdot S_m \cdot \dot{x}^2 \cdot \rho}{2m} \cos \alpha_x = \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l \cdot m} \\ \ddot{y} + \frac{\xi \cdot S_m \cdot \dot{y}^2 \cdot \rho}{2m} \sin \alpha_x = g - \frac{F_n}{m} \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} \ddot{x} + \frac{B_1}{m} \dot{x}^2 \cdot \sin \alpha_x = \frac{B_2}{m} \sin \omega t \\ \ddot{y} + \frac{B_1}{m} \dot{y}^2 \cdot \cos \alpha_x = g - \frac{F_n}{m} \end{cases} \quad (3)$$

Для приведення даної системи до систем лінійних неоднорідних рівнянь другого порядку скористаємося деякими результатами експериментальних досліджень даного процесу сепарації, а саме для середньої та важкої фракції насіння м/с, м/с;  $\alpha_x = 70^\circ$  при сходженні з напрямної.

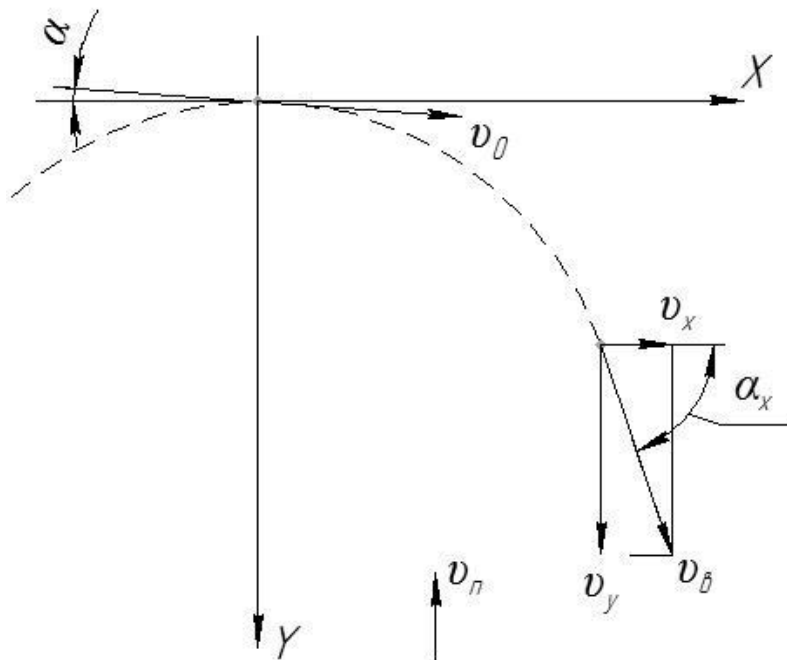


Рис. 2. Кінематичні характеристики руху насінини у повітряному потоці

Тоді представлені у системі (2) рівняння переписуємо у вигляді:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{B_2}{m} \sin \omega t - \frac{B_1 v_x^2 \sin \alpha_x}{m} \\ \ddot{y} = g - \frac{F_n}{m} - \frac{B_1 v_y^2 \cos \alpha_x}{m} \end{cases} \quad (4)$$

При розв'язанні даних рівнянь використовуємо метод Коші.

Для рівняння  $\ddot{x} = \frac{B_2}{m} \sin \omega t - B_4$  загальне рішення  $\bar{x} = C_1 \cdot \cos k_x t + C_2 \cdot \sin k_x t$ , а часткове складає  $x^* = C_3 \cdot \sin \omega t + C_4 \cos \omega t + C_5$

Складаємо рівняння з постійними коефіцієнтами

$$-C_3 \omega^2 \cdot \sin \omega t - C_4 \omega^2 \cos \omega t = \frac{B_2}{m} \sin \omega t - B_4$$

Очевидно, що  $\frac{B_2}{m} = -C_3 \omega^2 \Rightarrow C_3 = -\frac{B_2}{m \omega^2}$ ;  $-C_4 \omega^2 = 0 \Rightarrow C_4 = 0; B_4 = 0$

Іноді шукане рівняння набуває вигляду



$$x = \bar{x} + x^* = C_1 \cos k_x t + C_2 \sin k_x t - \frac{B_2}{m\omega^2} \sin \omega t$$

При врахуванні початкових умов  $v_0 = 0,4$  м/с,  $x_0 = 0$  знаходимо величини постійних інтегрування:

$$C_1 = 0; C_2 k_x - \frac{B_2}{m\omega^2} = 0,4 \Rightarrow C_2 = \frac{1}{k_x} \left( 0,4 - \frac{B_2}{m\omega^2} \right)$$

Тоді шукане рівняння складає:

$$x = \frac{1}{k_x} \left( 0,4 - \frac{B_2}{m\omega^2} \right) \sin k_x t - \frac{B_2}{m\omega^2} \sin \omega t \quad (5)$$

Для оцінки розсіювання фракцій насіння у сепараторі важливе переміщення у горизонтальній площині, тому розв'язувати друге рівняння системи (3) немає потреби.

Враховуючи затухання власних коливань при стабілізації автоколивального режиму рівняння (5) набуває вигляду:

$$x = -\frac{B_2}{m\omega^2} \sin \omega t = -\frac{l_x F_n}{\omega^2 m \sqrt{2} \cdot l} \sin \omega t \quad (6)$$

Враховуючи рівняння (6) та систему (2) знаходимо кінематичні, силові та енергетичні характеристики досліджуваної системи.

Складова швидкості руху насінини:

$$v_x = -\frac{l_x F_n}{\omega \cdot m \sqrt{2} \cdot l} \cos \omega t \quad (7)$$

Таким чином, при проектуванні віброаспіраційного сепаратора враховуємо, що зі збільшення рушійної сили процесу фракціонування за рахунок накладання у системі комбінованої незрівноваженості від дії змушуючих сил та крутного моменту, що реалізується при реалізації автоколивального режиму руху центральної труби розподільника покращується поділ насіння.

*Висновки.* При розробці віброаспіраційного сепаратора було досліджено рух насінини. Наведені дві схеми: одна із силами, які виникають у процесі сепарації (повітряному потоці), а інша з кінематичними характеристиками руху насіння у повітряному потоці. Виведені рівняння, що дозволяють спостерігати зміни у ході процесу сепарації у віброаспіраційному сепараторі за допомогою комплексної дії вібрації, пневмодинамічних та гравітаційних сил.

*Література*

1. Єрмак В. П. Концепція аеродинамічної сепарації насіння сільськогосподарських культур та засоби її реалізації : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В. П. Єрмак. – Тернопіль, 2009. – 25 с.
2. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння / П. М. Заїка. – Т. III, розділ 7. – Харків: Око, 2006. – 407 с.
3. Гортинский В. В. Вопросы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В. В. Гортинский, А. Б. Демский, М. А. Борискин. – М.: Колос, 1980. – 303 с.
4. Сергеев А. С. Определение эффективности сепарирования семян по плотности в вертикальном воздушном потоке / А. С. Сергеев, И. Шушол // Сб. научных трудов МИИСП. – М., 1979. – Т.16, вып. 1. – С. 72-76.
5. Колодий А. С. Математическое описание поведения зерновок подсолнечника в воздушном потоке разделительных установок / А. С. Колодий, С. В. Кюрчев // MOTROL. Commission of Motorszation and Energetyucs in Agriculture. – Lublin, 2015. – Vol.17, № 9. – С. 9-13.
6. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С. П. Степаненко // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2008. – Вип. 75, т. 1. – С. 59-65.
7. Кюрчев С. В. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруємого матеріалу / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету / ВНАУ. – Вінниця, 2012. – Вип. 11, т. 2. – С. 322-327. – (Технічні науки).
8. Кюрчев С. В. Результаты исследования разработанного сепаратора семена с вертикальным аспирационным каналом / С. В. Кюрчев, А. С. Колодий // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 16. № 2. – С. 322-329.
9. Пат. 86300 Україна, МПК<sup>5</sup> B07B 1/28 (2006.01). Аеродинамічний сепаратор для насіння / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. – № u201307937; заявл. 21.06.13; опубл. 25.12.13, Бюл. № 24.
10. Пат. 102657 Україна, МПК<sup>5</sup> B07B 1/00 (2015.01). Аеродинамічний сепаратор для насіння / С. В. Кюрчев, В. М. Малкіна, О. С. Колодій. – № u201504895; заявл. 19.05.15; опубл. 10.11.15, Бюл. № 21.
11. Пат. 119052 Україна, МПК<sup>5</sup> B07B 1/28. Пневмогравітаційний сепаратор для насіння / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій, Л. М. Кюрчева, О. С. Шершенівський. – u201702551; заявл. 20.03.17; опубл. 11.09.17, Бюл. № 17.



12. Богданов Є. В. Теоретичне дослідження явища резонансу дебалансного вібраційного дозатора сипких матеріалів / Є. В. Богданов, С. В. Кюрчев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 6. – С. 65-69.

13. Кюрчев С. В. Результати дослідження форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій // Інженерія природокористування. – 2016. – № 2 (6). – С. 52-57.

14. Кюрчев С. В. Методика исследования рациональной величины скорости воздушного потока в аспирационном канале / С. В. Кюрчев, А. С. Колодий // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф. в рамках XX международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2013» (20-22 марта 2013г., г. Ставрополь) / СтГАУ. – Ставрополь, 2013. – С. 36-38.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ СЕМЯН ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ ПИТАТЕЛЬНОГО КОНУСА ВИБРОАСПИРАЦИЙНОГО СЕПАРАТОРА**

Паламарчук И. П., Кюрчев С. В.,  
Кюрчева Л. М., Верхоланцева В. А.

#### **Аннотация**

Одним из основных условий получения качественного урожая является подготовка семян перед посевом, а именно применения сепарации. На практике используют сепараторы, но некоторые из них не в состоянии сделать качественное разделение семян на фракции и при этом не повредить семена. Поэтому возникла необходимость в разработке виброаспирационного сепаратора, который в свою очередь позволит обеспечить лучше разделение семенного материала на фракции. Приведено математическое моделирование движения семян в конусе, а именно учтены конструктивные особенности виброаспирационного сепаратора, которые влияют на конечный выход продукта. Сделаны следующие предположения: семенной материал из конического питателя подается в вертикальный, равномерно распределенный по радиусу воздушный поток под первоначальным углом  $\alpha_0$  и со скоростью  $V_0$ ; считается, что имеет место движение изолированных семян, размер и вес которых определяется скоростью приветствия; семена не меняют своего ориентирования по оси симметрии семена по отношению к направлению воздушного потока; поток воздуха направлен вертикально вверх, касающихся данного сепаратора на определенном участке процесса. Установлены основные силовые факторы, обуславливающие движение частиц продукции в воздушном потоке: сила сопротивления воздуха; сила действия воздушного потока; сила притяжения семян; составляющая вынуждающей силы, создаваемой за счет автоколебательного движения центральной трубы распределителя; крутящий момент, возникающий при автоколебательного движения. В статье раскрыто движение семени при выходе из конуса сепаратора, и приведены схемы сил и





кинематических характеристик семени в воздушном потоке. Выведены уравнения относительно движения семени в сепараторе, и установлено, что с помощью комплексного действия вибрации, пневмодинамических и гравитационных сил происходит сепарация семенного материала.

### **RESEARCH OF DYNAMICS OF THE PUMPPING MOVEMENT AFTER EXPLOSION FROM THE LIVING CONSEQUENCE OF THE VIBRO-SPINAL SEPARATOR**

I. Palamarchuk, S. Kiurchev, L. Kiurcheva, V. Verkholantseva

#### **Summary**

One of the main conditions for obtaining high-quality harvest is the preparation of seeds before sowing, namely the use of separation. In practice, separators are used, but some of them are not able to make a qualitative separation of seeds into fractions and at the same time not damage the seeds. Therefore, there was a need to develop a vibro-aspiration separator, which in turn would allow for better separation of seed into fractions. A mathematical simulation of the movement of seeds in a cone is given, namely, the design features of the vibro-aspiration separator, which affect the final product yield, are taken into account. The following assumptions were made: seed from the conical feeder is fed into a vertical, evenly distributed radial air flow at the initial angle  $\alpha_0$  and at a speed  $V_0$ ; it is believed that there is a movement of isolated seeds, the size and weight of which is determined by the speed of greeting; seeds do not change their orientation along the axis of symmetry of the seed in relation to the direction of the air flow; the air flow is directed vertically upwards, relating to this separator in a particular part of the process. The main force factors that determine the movement of product particles in the air flow have been established: air resistance force; force of the air flow; seed gravity; component of the driving force created by the self-oscillatory movement of the central pipe of the distributor; torque arising from the self-oscillatory movement. The article discloses the movement of the seed as it leaves the separator cone, and provides diagrams of the forces and kinematic characteristics of the seeds in the air flow. Equations concerning the movement of seeds in the separator are derived, and it has been established that with the help of the complex action of vibration, pneumatic, and gravitational forces, the seed material is separated.

*Keywords:* vibration aspiration separator, cone, seed material, process, modeling, force, separation.