

УДК 631.362.36.032

## ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ ВІБРОАСПІРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА

Паламарчук І.П., д.т.н.,

Кюрчев С.В., к.т.н.,

Кюрчева Л.М., к.с.–г.н.,

Верхоланцева В.О., к.т.н.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42–13–06.

*Анотація* – робота присвячена дослідженню підходу до сепарації олійних культур. Запропонована розрахункова схема конструкції віброаспіраційного сепаратора, яка дозволяє описати процес сепарації. Була висунута робоча гіпотеза стосовно сепарації насінневого матеріалу. Розглянуто автоколивальний режим руху центральної труби розподільника. Досліджено лінійне зміщення центрального перерізу. Наведена схема сил, що діють на насінину, а саме складові змушуючої сили  $F_v$ , що створює вібрації труби, крутний змушуючий момент, сила ваги насінини, опір повітря, пружні сили.

Встановлено, що за допомогою парусних елементів під кутом  $45^\circ$  відбувається поділ насіння на середню та важку фракцію. Парусні елементи розташовані на трубі в аспіраційному каналі розмір яких складає 10мм. Ці парусні елементи дозволяють підсилити потік повітря, який у свою чергу сприяє кращому поділу насіння. За допомогою пружних елементів, які створюють автоколивальні рухи і повертають трубу з парусними елементами на різні кути сприяє процесу сепарації. Пружні елементи встановлюють зверху та знизу, що в свою чергу дозволяє трубі повертатися, та покращати процес поділу. Запропонована конструкція сепаратора разом з цими пружними елементами та парусними елементами посилюють швидкість повітря та роблять краще розщеплення насіння. Також встановлено, що процес сепарації у віброаспіраційному сепараторе відбувається за допомогою пневмодинамічних і гравітаційних сил.

*Ключові слова* – сепарація, віброаспіраційний сепаратор, автоколивальні рухи, насіння, олійні культури, розподільник, парусні елементи, пружні елементи, розщеплення.

*Постановка проблеми* – Відомо, що в Україні важливе значення має вирощування олійних культур. Одним з основних напрямів розвитку господарських зв'язків України є експорт. Основні експортні потоки соняшника з України спрямовуються до країн Європейського Союзу, які є чистими імпортерами цієї категорії олійних. З огляду на те, що собівартість виробництва соняшника в Україні становить приблизно 25% собівартості вирощування цієї культури в країнах Західної Європи, експорт соняшника з України до країн ЄС матиме конкурентні переваги щодо власного виробництва цієї культури в самих країнах ЄС. При подальшому розширенні переробних потужностей у нашій державі частка експорту соняшника зменшуватиметься на користь власної переробки та протягом наступних років може становити не більше 10% урожаю. В перспективі Україна з досить потужною власною сировинною базою може і надалі утримувати лідируючі позиції з продажу соняшникової олії, цінове зростання цьому тільки сприятиме. Для отримання якісного врожаю треба підготувати насіннєвий матеріал, який у свою чергу впливає на кінцевий результат збирання.

Таким чином, поліпшення поділу насіння у період процесу сепарації олійних культур є важливою науковою проблемою.

*Аналіз останніх досліджень* – Одним з головних параметрів взаємодії насінин з зустрічним повітряним потоком є швидкість витання, яка, в свою чергу, залежить від ряду показників, а саме: маси насіння 1000 штук; міделового перетину насінини; орієнтації в просторі; коефіцієнта аеродинамічного опору. Кожен дослідник прагнув врахувати деякі параметри, які впливали на швидкість витання. Їхні результати дослідження привели до багатьох висновків, але вони вірні лише для конкретних умов.

Степаненко С. П. досліджував процес сепарації за допомогою розробленого пневмовідцентрового сепаратора, модернізувавши його розкидальним диском. Виявив ряд закономірностей та оптимальні параметри пневмовідцентрового сепаратора, підвищив якість розподілу насіння [1].

В своїй роботі Чебанов А.Б. побудував ряд залежностей динаміки руху частинок рушанки рицини в повітряному потоці та ефективності очищення повітря в робочій зоні вертикального каналу. Вперше встановив закономірності зміни швидкостей компонентів рушанки рицини та повітряного потоку в робочій зоні пневмосепаратора з пиловловлюючим пристроєм [2].

Котов Б.І., провівши багато досліджень, виявив можливість ідентифікацій процесу розділення насіння повітряним потоком. Також він визначив можливість перегрупування насіння різного

розміру у повітряному потоці при переході з одного ступінчастого решета до іншого [3].

Таким чином, дослідження процесу сепарації олійних культур, є актуальним напрямком.

*Мета дослідження.* Поліпшення поділу насіння у віброаспіраційному сепараторі. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: розробити розрахункову схему, що дозволить досліджувати процес сепарації.

*Основна частина.* При проектуванні віброаспіраційного сепаратора висуваємо наступну робочу гіпотезу: 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.

У системі створюється автоколивальний рух за рахунок двох груп сил, що опозитно діють на центральну трубу сепаратора: змушуючі, або збуджуючі силові фактори  $F_v$  та  $M_v$  ( $M_{кр}$ ) та пружні сили при розтяганні та стисканні пружних елементів  $C_x$ ,  $C_z$ .

Змушуючі силові фактори виникають при дії потоку повітря на парусні елементи сила  $F_v$  при відповідному тиску  $F_n$ ; крутний момент  $M_v$  ( $M_{кр}$ ) – завдяки синусоїдальній формі парусного елемента, що призводить до обертання центральної труби [4].

Розроблений віброаспіраційний сепаратор складається з живильного патрубку 1 (рис.1), з якого нерозсортоване насіння 3 надходить до сепаратора; центральної труби 2, яка є робочим органом нашого сепаратора. Труба монтується в опорних вузлах 9 типу «труба у трубі».

На трубі із зовні розташовані парусні елементи 11, які представляють собою спіраль у вигляді синусоїди. Вісь спіралі розташована під кутом  $45^\circ$  до повздовжньої осі труби. Центральна труба має гнучкий зв'язок з нерухомим осьовим каналом 12 сепаратора через пружні елементи 10. У нижній частині роздільної установки розташовані патрубки 4 і 5 для приймання відповідно середньої та важкої фракцій. 1000 насінин середньої фракції мають масу в межах від 40г до 50г, а для 1000 насінин важкої – від 60г до 80г.

При роботі сепараційної установки за рахунок дії витяжного вентилятора потік повітря силою  $F_n$  тисне на парусні елементи 11, які розташовані на зовнішньому боці центральної труби розподільника, що змушує трубу рухатися одночасно поступально в осьовому напрямі та обертатися навколо вертикальної осі сепаратора [5, 6, 7].

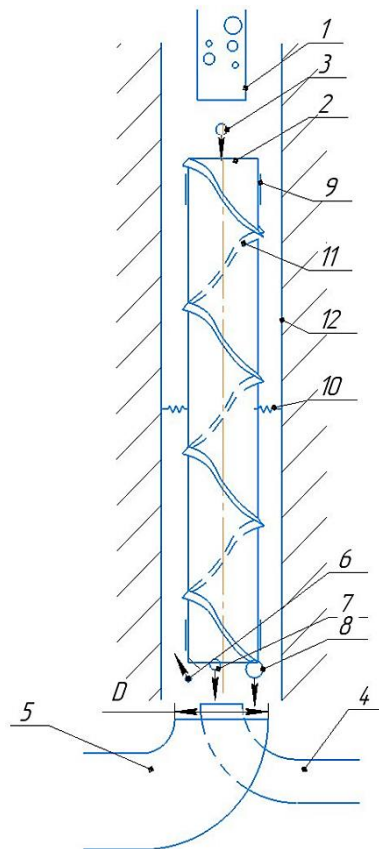


Рис. 1. Принципова схема віброаспіраційного сепаратора:

1 – живильний патрубок; 2 – центральна труба; 3 – насіння, що надходить до розподільника; 4 – патрубок для виведення середньої фракції; 5 – патрубок для виведення важкої фракції; 6 – насіння легкої фракції; 7 – насіння середньої фракції; 8 – насіння важкої фракції; 9 – опорний вузол центральної труби; 10 – пружний елемент; 11 – парусний елемент; 12 – центральний канал сепаратора

Наявність пружних елементів 10 призупиняє даний рух та спрямовує у протилежний бік, повторюючи цикл дії силових факторів. Таким чином, у розробленій системі утворюється автоколивальний режим рух за достатньо простої конструктивної реалізації процесу.

Постійний за силою потік повітря через парусні елементи призводить до накладання на центральну трубу сепаратора вимушених коливань, що утворює відцентрове поле. Внаслідок останнього ефекту рушійна сила досліджуваного процесу підвищується, розганяючи насінини різної фракції, що відзначаються за масою до різних швидкостей. Відповідно змінюються траєкторії руху часток продукції, тобто має їх розщеплення, що дає змогу підвищити ефективність розділення насінин різних фракцій [8].

У залежності від маси, насінини спрямовуються або в патрубок для виведення середньої фракції 4, діаметр якого 70мм, або в

патрубок для виведення важкої фракції 5 діаметр якого 160мм. Насінини легкої фракції 6, маса яких до 40 мг, достатньо легко підхоплюються потоком повітря у протилежний бік та збираються окремо, завершуючи робочий цикл сепарації насінневого матеріалу.

При аналізі вихідних даних для проектування розглянемо основні силові фактори, що діють у системі:

1) Змушуючі:

Відцентрова сила

$$F_0 = F_{\text{пу}} = m_T \cdot l_y \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega_{\text{ц}} t,$$

крутний момент

$$M_{\text{кр}} = F_{\text{пх}} \cdot r_T \cdot \sin \omega_{\text{ц}} t,$$

сила повітряного потоку

$$F_{\text{п}} = \frac{N_{\text{в}}}{v_{\text{п}}},$$

де  $N_{\text{в}} = 150\text{Вт}$ ,  $v_{\text{п}} = 4.5 \dots 5.5\text{м/с}$ .

2) Відновлюючі, що представляються у системі силами пружного опору відносно відповідних осей координат та повороту центральної труби:

$$R_{\text{пр}} = C \cdot \vec{r},$$

$$R_{\text{пру}} = C_y \cdot l_y = C_y \cdot y,$$

$$R_{\text{прх}} = C_x \cdot l_x = C_x \cdot x,$$

$$R_{\text{пр}\varphi} = C_{\varphi} \cdot l_{\varphi} = C_{\varphi} \cdot \varphi,$$

де  $l_x, l_y, l_z$  – відповідні відхилення перерізу центральної труби;  $C_x, C_y, C_z$  – відповідні жорсткості пружних елементів.

3) Сила тяжіння:

$$G = m_{\text{н}} \cdot g.$$

Маса важкої фракції  $m_{\text{н}} = 60 \div 80\text{мг}$ .

Маса середньої фракції  $m_{\text{н}} = 40 \div 50\text{мг}$ .

Маса легкої фракції  $m_{\text{н}} = 0 \div 40\text{мг}$ .

4) Сила опору повітряного потоку:

$$R = k_c (v_{\text{н}} - v_{\text{п}})^2,$$

$$k_c = c_R \cdot S_{\text{н}} \cdot \frac{\rho}{2}.$$

Серед кінематичних параметрів досліджуваного процесу розглядаємо наступні:

1) Початкова швидкість насінини:

$$v_{\text{н}0} = 0.$$

2) Кутова швидкість центрального потоку розподільника:

$$\omega_{\text{ц}} = \frac{v_{\text{п}}}{r_T} = \omega,$$

де  $r_T$  – радіус центральної труби сепаратора.

3) Геометричні параметри:

Відповідно діаметр та довжина центральної труби сепаратора складають:

$$d_T = 150\text{мм}; l_T = 0.5 \div 0.8\text{мм.}$$

Для досліджуваної системи пропонуються наступні розрахункові схеми, що представлені на рис. 2, 3 та 4.

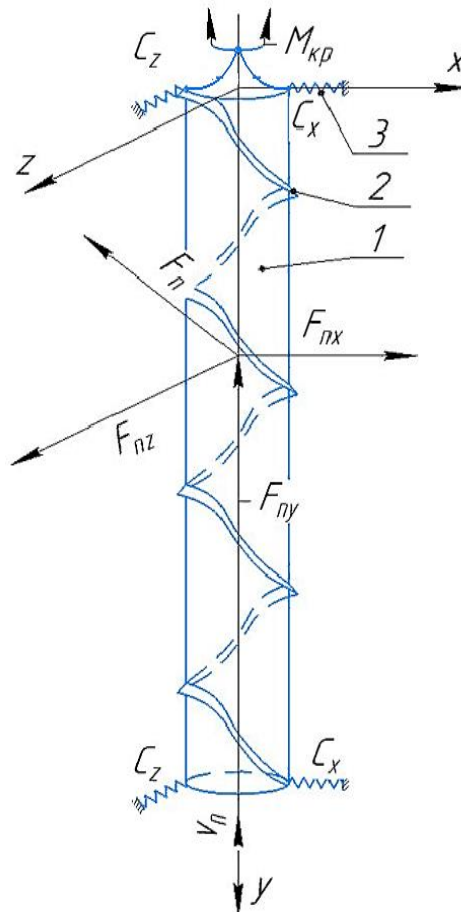


Рис. 2. Розрахункова схема віброаспіраційного сепаратора:

- 1 – центральна труба розподільника; 2 – парусний елемент;  
 3 – пружний елемент;  $v_{п}$ ,  $F_{п}$  – швидкість та сила тиску потоку повітря;  
 $C_x$ ,  $C_z$  – жорсткості пружних елементів у напрямках осей  $ox$  та  $oz$ ;  
 $F_x$ ,  $F_z$ ,  $F_y$  – складові сили  $F_{п}$ ;  $M_{кр}$  – крутний момент, що виникає при  
 обертанні центральної труби розподільника;  $r_T$  – радіус центральної  
 труби

Очевидно, що основний вплив на якісні характеристики системи виявляє вібраційний крутний момент  $M_B$ , тому аналізуємо факторний простір навколо даного параметра.

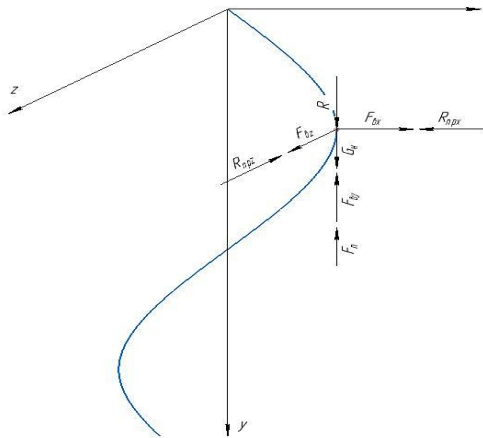


Рис. 3. Схема сил, що діють на насінину: 1 – насінина; 2 – траєкторія руху насінини;  $F_{bx}, F_{bz}, F_{by}$  – складові змушуючої сили  $F_b$ , що створює вібрації труби;  $M_B = M_{кр}$  – крутний змушуючий момент;  $G_{п}$  – сила ваги насінини;  $R$  – опір повітря;  $R_{прx}, R_{прz}$  – пружні сили. парусний елемент;

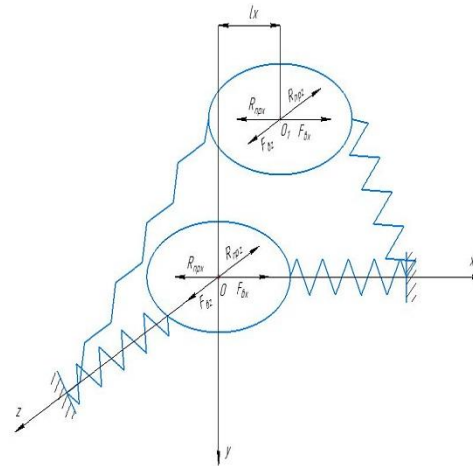


Рис.4. Схема лінійного зміщення центрального перерізу (що проходить через центр ваги  $O$  центральної труби): 1, 2 – переріз до та післязміщення;  $l_x, l_z$  – лінійне зміщення центрального перерізу по осям  $ox$  та  $oz$ .

*Висновки.* Розроблено розрахункову схему віброаспіраційного сепаратора, яка дозволяє досліджувати поділ насіння. Проаналізовані сили, що діють у процесі сепарації. Встановлено, що парусні елементи з пружними елементами у процесі розщеплені насіння відіграють важливу роль.

#### Література:

1. Експериментальні дослідження процесу очищення зерна в пневмовібровідцентровому сепараторі з удосконаленою аспіраційною камерою [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1593/1/48.pdf>
2. Чебанов А. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмасепаратора рушанки ричини з пиловловлюючим пристроєм: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.05.11 / А. Б. Чебанов; ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. – 20 с.
3. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. збірник. – Кіровоград, 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.

4. Fedirko, P., Krol, V., Kiurchev, S. [et al.]. (2017). *Materials science and metalworking: collective monograph*. Kraków: Kamianets–Podilskyi.

5. Кюрчев С. В. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруемого 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).

6. Кюрчев С. В. Результаты исследования разработанного сепаратора семена с вертикальным аспирационным каналом / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2014. – Vol. 16, № 2. – С. 322–329.

7. 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.

8. 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.

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ВИБРОАСПИРАЦИЙНОГО СЕПАРАТОРА

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

**Аннотация** – работа посвящена исследованию подхода к сепарации масличных культур. Предложенная расчетная схема конструкции виброаспираторного сепаратора, которая позволяет описать процесс сепарации. Была выдвинута рабочая гипотеза о сепарации семенного материала. Рассмотрены автоколебательный режим движения центральной трубы распределителя. Исследованы линейные смещения центрального сечения. Приведенна схема сил, действующих на семя, а именно составляющие принудительной силы  $F_v$ , что создает вибрации трубы, крутящий принудительный момент, сила тяжести семена, сопротивление воздуха, упругие силы.

Установлено, что с помощью парусных элементов под углом  $45^\circ$  происходит разделение семян на среднюю и тяжелую фракцию. Парусные элементы расположены на трубе в аспирационном канале, размер которых составляет 10 мм. Эти парусные элементы позволяют усилить поток воздуха, который в свою очередь способствует лучшему разделению семян. С помощью упругих элементов, которые создают автоколебательные движения и возвращают трубу с парусными



элементами с различных углов способствуют процессу сепарации. Упругие элементы устанавливаются сверху и снизу, что в свою очередь позволяет трубе возвращаться и улучшить процесс разделения. Предложенная конструкция сепаратора вместе с этими упругими элементами и парусными элементами усиливают скорость воздуха и улучшают расщепление семян. Также установлено, что процесс сепарации в виброаспирационном сепараторе происходит с помощью пневмодинамических и гравитационных сил.

## JUSTIFICATION OF THE CONSTRUCTION AND WORKING PRINCIPLE OF THE VIBROASPIRATION SEPARATOR

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

### *Summary*

The paper is devoted to the study of the oilseed crop separation approach. The proposed design scheme of the vibration aspirator separator is described, which allows to describe the separation process. There was a work hypothesis regarding the separation of seed material. The autoclaving mode of the central tube of the distributor is considered. Investigation of the linear displacement of the central section. The diagram of the forces acting on the seeds is given, namely, the constituents of the coupling force  $F_v$ , which creates the vibration of the pipe, the twisting compressive moment, the weight of the seed, the air resistance, the elastic forces.

It is established that using sailing elements at an angle of 45°, the separation of seeds into medium and heavy fractions occurs. Sailing elements are located on the pipe in the aspiration channel, the size of which is 10mm. These sailing elements allow you to enhance the air flow, which in turn helps in better separation of seeds. With the help of elastic elements that create self-oscillating movements and turn the pipe with sailing elements at different angles, it helps to process the separation. The elastic elements are mounted from above and below, which in turn allows the pipe to come back and improve the separation process. The proposed design of the separator, together with these elastic elements and sailing elements, increases the air velocity, and make the seed splitting better. It has also been established that the separation process in the vibro-aspiration separator is carried out using the pneumodynamic and gravitational forces.