

Козаченко О.В.,

Піх Є.О.,

Бакум М.В.,

Крекот М.М.

Державний
біотехнологічний

університет,

м. Харків, Україна

E-mail:

o.v.kozachenko21@gmail.com

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ НАСІННЯ У МІЖДЕКОВОМУ ПРОСТОРІ ВІБРОФРИКЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА

<https://doi.org/10.37700/ts.2024.24.8-18>

УДК 631.362

Козаченко О.В., Піх Є.О., Бакум М.В., Крекот М.М. Теоретичний аналіз руху насіння у міждековому просторі віброфрикційного сепаратора.

Анотація. Наведено теоретичні дослідження руху компонентів насіннєвих сумішей в міждековому просторі із урахуванням впливу повітряного потоку, що утворюється за рахунок коливального руху робочого органу, виявлені найбільш доцільні інтервали варіювання конструктивно-режимних параметрів роботи віброфрикційного сепаратора. Встановлено, що збільшення частоти і амплітуди коливань робочого органу сепаратора зумовлює зростання середньої швидкості насіння, максимальна швидкість переміщення частинки досягається в інтервалі зміни параметрів: $A = 1,0 \dots 1,7$ мм; $\omega = 200 \dots 260$ с⁻¹. Подальше збільшення цих параметрів призводить до зменшення швидкості вібраційного переміщення. При швидкості руху робочого органу ($A\omega$) більше 27...30 см/с вплив повітряного середовища призводить до зниження швидкості вібраційного переміщення частинки. Отже для забезпечення максимальної продуктивності процесу швидкість руху робочого органу не повинна перевищувати вищенаведених значень. Середня швидкість переміщення частинок має тенденцію до зменшення при збільшенні значення кута α , причому при досягненні певного значення кута нахилу, частинка зупиняється, а при подальшому збільшенні α переміщається у зворотному напрямку. Частинка з меншим значенням коефіцієнта миттєвого тертя λ змінює напрямок руху при меншому значенні кута нахилу площини, а з більшим λ – при більшому значенні α , коли реалізується процес розділення компонентів НС. Зміна кута спрямованості коливань ε має не такий суттєвий вплив на швидкість переміщення насіння, як амплітуда і частота коливань, збільшення ε до 35...40° забезпечує збільшення швидкості переміщення, а подальше збільшення кута ε призводить до зниження середньої швидкості руху насіння по робочому органу. Найбільшій продуктивності віброфрикційного сепаратора можна досягти при встановленні $\varepsilon = 35 \dots 40^\circ$. Доведено, що при збільшенні зазору H від 3 до 6 мм швидкість переміщення знижується, а при подальшому збільшенні зазору підвищується і після 12 мм залишається постійною. Менш доцільним, з точки зору швидкості переміщення компонентів НС по робочій поверхні, є зазор між деками віброфрикційного сепаратора в межах 3,5...10 мм.

Ключові слова: вібросепарація, насіннєва суміш, віброфрикційний сепаратор, параметри віброфрикційного сепаратора, якість розділення, вібропереміщення.

Kozachenko O.V., Pikh E.O., Bakum M.V., Krekot M.M. **Theoretical analysis of seed movement in inter-deck space of vibro-friction separator.**

Abstract. Theoretical studies of the movement of the components of seed mixtures in the inter-deck space are presented, taking into account the influence of the air flow, which is formed due to the oscillatory movement of the working body, the most appropriate intervals for varying the structural and operating parameters of the vibro-friction separator are revealed. It was established that an increase in the frequency and amplitude of oscillations of the working body of the separator leads to an increase in the average speed of the seed, the maximum speed of particle movement is achieved in the interval of changing the parameters: $A = 1.0 \dots 1.7 \text{ mm}$; $\omega = 200 \dots 260 \text{ s}^{-1}$. A further increase in these parameters leads to a decrease in the rate of vibrational movement. When the speed of movement of the working body ($A\omega$) is more than $27 \dots 30 \text{ cm/s}$, the influence of the air environment leads to a decrease in the speed of vibrational movement of the particle. Therefore, to ensure the maximum productivity of the process, the speed of movement of the working body should not exceed the above values. The average speed of movement of particles tends to decrease as the value of the angle α increases, and when a certain value of the angle of inclination is reached, the particle stops, and with a further increase of α , it moves in the opposite direction. A particle with a smaller value of the coefficient of instantaneous friction λ changes the direction of movement at a smaller value of the angle of inclination of the plane, and with a larger value of λ - at a larger value of α , when the process of separating the components of the NS is realized. Changing the direction angle of oscillations ε does not have such a significant effect on the speed of seed movement as the amplitude and frequency of oscillations, an increase in ε to $35 \dots 40^\circ$ ensures an increase in the speed of movement, and a further increase in the angle ε leads to a decrease in the average speed of seed movement along the working body. The highest performance of the vibro-friction separator can be achieved when using $\varepsilon = 35 \dots 40^\circ$. It has been proven that when the gap H increases from 3 to 6 mm, the speed of movement decreases, and when the gap is further increased, it increases and remains constant after 12 mm. Less expedient, from the point of view of the speed of movement of components of the NS on the working surface, is a gap between the decks of the vibro-friction separator in the range of $3.5 \dots 10 \text{ mm}$.

Key words: vibro-separation, seed mixture, vibro-friction separator, parameters of the vibro-friction separator, quality of separation, vibro-displacement.

Постановка проблеми

Основними завданнями відомих теоретичних досліджень процесу сепарації насіннєвих сумішей (НС) є визначення швидкостей та напрямків руху компонентів, а також траєкторій їх руху по робочих поверхнях віброфрикційних сепараторів (ВФС). Це пояснюється тим, що сепарація НС на неперфорованих віброуючих фрикційних поверхнях є одним із ефектів вібраційного переміщення. Вона виявляється тоді, коли траєкторії та швидкості вібропереміщення компонентів НС неоднакові. При цьому найкращий ефект сепарації досягається якраз тоді, коли зазначені швидкості відрізняються не тільки за величиною, але і за напрямком. Висока ефективність процесу сепарації забезпечується за умови реалізації відривного режиму роботи ВФС, що зумовлює врахування, крім конструктивно-режимних параметрів, додаткових чинників впливу на якість технологічного процесу, зокрема, впливу утворюваного повітряного потоку у міждековому просторі сепараторів. Це потребує додаткового вивчення технологічного процесу сепарації на основі математичної моделі руху частинок в повітряному потоці у міждековому просторі віброфрикційного сепаратора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Рух частинок в повітряному середовищі з опором вивчався академіком П. М. Василенком. Автором розглядалася як лінійна, так й квадратична залежність опору руху частинки по відношенню до швидкості сталого повітряного потоку. Подальшим розвитком цих досліджень стало вивчення переміщення частинок по робочих поверхнях, що здійснюють коливний рух. Зокрема, авторами Азбелем Г. Г. і Блехманом Н. Н. встановлено області зміни параметрів, в яких, для запобігання отримання хибних оцінок протікання процесу, є доцільним врахування впливу руху повітря на переміщення частинок по робочих органах сепараторів. За результатами дослідження доведено, що вплив повітря доцільно враховувати для частинок із еквівалентним діаметром 1,7 мм і меншим для коефіцієнта тертя $f = 0,3$ та п'ятипроцентним відношенням сили опору повітря до сили сухого тертя $\Delta = 5\%$. При десятипроцентному відношенні і тому ж значенні коефіцієнта тертя f врахування впливу повітря є доцільним для частинок з еквівалентним діаметром 0,9 і меншим. Із зростанням коефіцієнта тертя зменшується значення еквівалентного діаметра, при якому можна нехтувати вплив повітря на процес вібраційного переміщення по робочих поверхнях сепараторів.

В роботах Голдіна А. Н. і академіка Заїки П. М., автори досліджували вплив повітряного потоку на процес сепарації за видом і величині стаціонарної складової. При цьому встановлено, що стаціонарна складова дає уявлення про рух повітряного потоку між вібруючими поверхнями «в середньому». Для підвищення точності розділення компонентів НС найбільш важливим є визначення руху повітряного потоку в кожний окремий момент часу, що враховано в дослідженнях академіка Заїки П. М. та [1]. Авторами одержано теоретичні залежності для дослідження руху повітряного потоку між поверхнями, що виконують коливний рух при реалізації лінійного закону коливань. В наукових працях академіка Заїки П. М. та [1] для дослідження руху повітряного потоку між площинами, що коливаються, також застосовано лінійний закон коливань. Авторами одержана залежність для визначення швидкості повітряного потоку U з урахуванням пульсуючої складової. Одержані авторами результати дають більш повне уявлення про швидкість повітряного потоку між вібруючими площинами ВФС, у порівнянні з результатами, які одержані Голдіним А. Н. і академіком Заїкою П. М., а також дозволяють зробити висновок про доцільність врахування впливу повітряного потоку з пульсуючою складовою швидкості при складанні диференціальних рівнянь руху частинки по вібруючій площині сепаратора НС.

Завгороднім О. І. в [2] теоретично досліджено рух сферичної частинки у повітряному потоці між двома плоскими поверхнями, що коливаються. Авторами розглянуто випадок, коли поверхні розміщені вертикально, а рух частинки є симетричним відносно кожної з них. Для обраної схеми реалізації процесу вібросепарації авторами запропоновано застосування в якості критерію поділу компонентів НС – відстань переміщення частинок в просторі між вібруючими площинами. При цьому, основними факторами що впливають на цю відстань при періодичному режимі є швидкість повітряного потоку V_n та коефіцієнт k опору повітряного середовища. Значущість інших параметрів (частота і амплітуда коливань, відстань між вібруючими поверхнями) виявляється в залежності від реалізації режимів руху частинок з повним або частковим проковзуванням, що зумовлює можливість розділення компонентів НС за певною кількістю параметрів.

В наукових працях [3-6] автори досліджували вплив параметрів повітряного потоку на ефективність функціонування вібраційної насіннеочисної машини. При

встановлених припущеннях щодо уявлення повітря у вигляді ідеального газу, насіння – у вигляді об'ємного твердого тіла встановленої форми, робочої поверхні – як шорсткої нахиленої площини, авторами проаналізовано вплив фізико-механічних і геометричних характеристик насіння, геометричних характеристик робочих поверхонь, вертикального зазору між робочими поверхнями і амплітудою їх коливань на рівень впливу аеродинамічного фактору щодо якості розділення НС. Математичним моделюванням робочого процесу встановлено, що тангенційна складова швидкості повітря між поверхнями блоку вібромашини збільшується при зростанні амплітуди коливань та відстані між поверхнями. Авторами встановлено, за амплітудою зростання швидкості лінійний характер – має місце приріст на 15...25% при збільшенні амплітуди від 1 до 2 мм. За відстанню між поверхнями спостерігається нелінійне зростання: від 4 до 10 мм відбувається інтенсивне зростання швидкості, до 18 мм – приріст швидкості повітряного потоку уповільнюється, після 18 мм – швидкість повітряного потоку не змінюється. При цьому авторами створено динамічну модель вібраційного безвідривного руху компонентів НС по робочому органу сепаратора, але, як відомо, найбільший вплив швидкість повітря має місце при відривному режимі руху насіння у міждековому просторі ВФС.

Формулювання мети досліджень

Завдання даного дослідження полягає в теоретичному аналізі руху насіння в міждековому просторі із урахуванням впливу повітряного потоку та виявлення найбільш доцільних інтервалів варіювання параметрів роботи віброфрикційного сепаратора.

Результати досліджень

Для аналізу руху насіння у міждековому просторі ВФС є доцільним розгляд окремих його етапів: політ частинки, стан відносного спокою на робочій площині, ковзання частинки по площині вперед (по відношенню до обраної системи координат) або назад. Це пов'язано з тим, що діючі на частинку сили в польоті і в проміжку контакту її з робочою площиною є різними, то й диференціальні рівняння польоту та безвідривного переміщення її по робочому органу сепаратора також будуть різними. Крім того, рівняння ковзання насіння по фрикційній поверхні сепаратора вперед-назад і стан відносного спокою також мають свої особливості. Обрані системи координат та діючі сили на частинку в польоті, представлено на рисунку 1.

Диференціальні рівняння польоту запишемо у відносній системі координат XOY , що нерухомо пов'язана площинами, що коливаються. В цій системі на частинку діють сили: $\bar{G}$ – сила тяжіння; $\bar{F}_u$ – сила інерції переносного руху; $\bar{F}_g$ – сила опору руху частинки в повітряному середовищі.

Диференціальне рівняння руху частинки в векторній формі можна записати наступним чином:

$$m\bar{a} = \bar{F}_u + \bar{G} + \bar{F}_g. \quad (1)$$

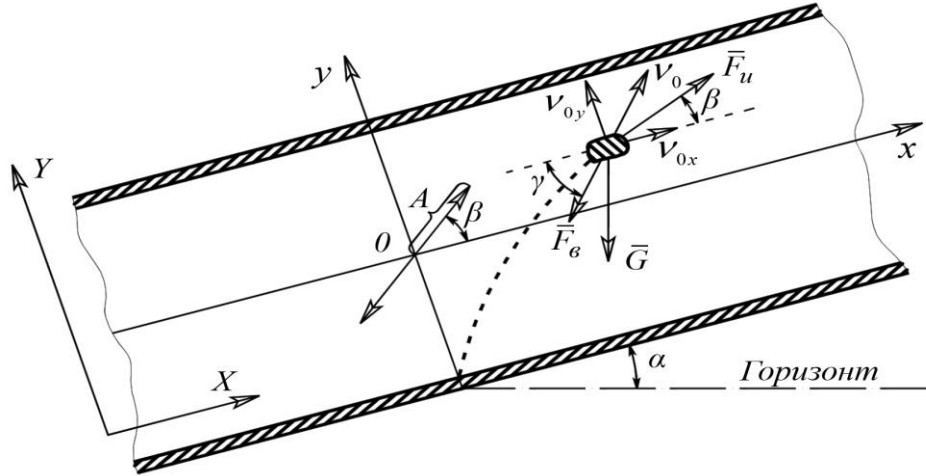


Рис. 1. Схема систем координат та сил, що діють на частинку в польоті

Для переходу до скалярної форми запису врахуємо, що сила інерції $\bar{F}_u$ має проекції на відповідні осі, що дорівнюють:

$$\begin{aligned} F_{ux} &= F_u \cos \beta = ma_0 \omega \sin \omega t; \\ F_{uy} &= F_u \sin \beta = mb_0 \omega \sin \omega t. \end{aligned} \quad (2)$$

Для сили опору повітряного середовища оберемо квадратичну залежність [1].

$$F = \chi U_0^2, \quad (3)$$

де U_0 – швидкість частинки відносно повітряного середовища;
 χ – коефіцієнт.

Проекція відносної швидкості U_0 на осі x та y :

$$\begin{aligned} U_{0x} &= U_0 \cos \gamma = \dot{x} - U; \\ U_{0y} &= U_0 \sin \gamma = \dot{y}. \end{aligned} \quad (4)$$

де γ – кут, що характеризує напрямок вектора відносної швидкості (рис. 1).

Тоді, з урахуванням (3) і (4) отримаємо:

$$U_0 = \sqrt{\dot{y}^2 + (\dot{x} - U)^2}; \quad (5)$$

$$F_e = \chi (\dot{y}^2 + (\dot{x} - U)^2). \quad (6)$$

Із співвідношень (4)...(6) знаходимо складові сили опору повітряного середовища:

$$F_{ex} = -\chi U_0^2 \cos \gamma = -\chi (\dot{x} - U) \sqrt{\dot{y}^2 + (\dot{x} - U)^2}; \quad (7)$$

$$F_{ey} = -\chi U_0^2 \sin \gamma = -\chi \dot{y} \sqrt{\dot{y}^2 + (\dot{x} - U)^2}. \quad (8)$$

Проектуючи рівняння (1) на осі відносної системи координат, отримаємо диференціальні рівняння руху частинки в повітряному середовищі:

$$m\ddot{x} = ma_0 \omega \sin \omega t - mg \sin \alpha - \chi (\dot{x} - U) \sqrt{\dot{y}^2 + (\dot{x} - U)^2}; \quad (9)$$

$$m\ddot{y} = mb_0 \omega \sin \omega t - mg \cos \alpha - \chi \dot{y} \sqrt{\dot{y}^2 + (\dot{x} - U)^2}.$$

тут U – швидкість повітряного потоку, що визначається згідно результатів [6].

Частинка знаходиться в польоті поки виконується умова:

$$-\frac{h}{2} < y < \frac{h}{2}. \quad (10)$$

До наступного етапу руху частинка переходить лише у випадку його порушення, як тільки у буде дорівнювати - $h/2$, тобто в момент

$$y = -\frac{h}{2}. \quad (11)$$

(зіткнення з верхньою площиною не розглядається). Означений момент часу являє собою момент удару частинки об площину і наступний етап переміщення частинки повністю вирішується його результатом.

Для визначення стану частинки після зіткнення з площиною використаємо гіпотезу Ньютона відновлення нормальної швидкості, гіпотезу в'язкого тертя та рекомендації, запропоновані в [9]: якщо нормальна складова швидкості при ударі менше деякої критичної величини, то частинка приймається абсолютно не пружною і її нормальна швидкість після удару дорівнює нулю. Така критична швидкість названа «швидкістю прилипання». У випадку, коли нормальна швидкість частинки при ударі більше швидкості прилипання – нормальна швидкість після удару визначається відповідно до гіпотези Ньютона. Для визначення дотичної швидкості після удару використовується гіпотеза в'язкого тертя [9]. Таким чином:

$$\dot{x}_+ = (1 - \lambda) \dot{x}_-; \quad (12)$$

$$\dot{y}_+ \begin{cases} 0 \text{ при } \dot{y}_- \leq \dot{y}_\Pi; \\ -R\dot{y}_- \text{ при } \dot{y}_- > \dot{y}_\Pi. \end{cases} \quad (13)$$

У співвідношеннях (12) і (13) індексом «мінус» позначено величини до удару, а індексом «плюс» – після удару. Крім того, позначено:

$\dot{y}_\Pi$ – швидкість прилипання;

R – коефіцієнт відновлення;

λ – коефіцієнт миттєвого тертя при ударі.

Як випливає з вище наведеного, після удару частинки об площину може знову настати етап польоту, якщо $\dot{y}_\Pi > y_\Pi$, або етап польоту зміниться іншим етапом, а саме:

ковзання вперед, якщо

$$\dot{y} \leq \dot{y}_\Pi, \dot{x}_+ > 0; \quad (14)$$

ковзання назад, якщо

$$\dot{y} \leq \dot{y}_\Pi, \dot{x}_+ < 0; \quad (15)$$

стан спокою, якщо

$$\dot{y} \leq \dot{y}_\Pi, \dot{x}_+ = 0. \quad (16)$$

Розглянемо стан відносного спокою частинки. На рисунку 2 представлена схема сил, що діють на частинку в момент контакту її з площиною при $y = -\frac{h}{2}$. Як відомо

[5], стаціонарна складова при $y = \pm \frac{h}{2}$ дорівнює нулю. Як випливає з граничних умов

(13) і формули (1) пульсуюча складова швидкості теж дорівнює нулю. Отже, сила опору повітря у цьому випадку відсутня. Однак крім сили інерції і сили тяжіння з'являються ще дві сили: сила тертя F_{mp} і нормальна реакція N . Така ж схема сил

характерна й для етапів ковзання вперед або назад. Диференціальні рівняння спокою частинки мають вид:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= ma_0\omega\sin\omega t - mg\sin\alpha - F_{mp}; \\ m\ddot{y} &= mb_0\omega\sin\omega t - mg\cos\alpha + N. \end{aligned} \quad (17)$$

Оскільки для частки, що покоїться $\dot{x} = \dot{y} = 0$, то й, відповідно, $\ddot{x} = \ddot{y} = 0$ і з рівняння (17) отримаємо вираз для визначення сил тертя спокою і нормальної реакції:

$$\begin{aligned} F_{mp} &= ma_0\omega\sin\omega t - mg\sin\alpha; \\ N &= mg\cos\alpha - mb_0\omega\sin\omega t. \end{aligned} \quad (18)$$

Етап відносного спокою може змінитися етапом польоту, починаючи з моменту, коли нормальна реакція зменшиться до нуля

$$N = 0. \quad (19)$$

Тобто часточка буде знаходитися на площині до тих пір, поки виконується умова

$$N > 0, \quad (20)$$

або теж саме

$$\sin\omega t = \frac{g\cos\alpha}{b_0\omega}. \quad (21)$$

Якщо умова (21) порушується, частинка із стану спокою перейде до етапу польоту. Якщо умова (21) не порушується, то можливий перехід частинки до етапу ковзання. Це відбудеться, якщо сила тертя збільшиться до свого максимального значення, яке дорівнює добутку нормальної реакції та коефіцієнта тертя:

$$F_{mp} = fN. \quad (22)$$

Умова, що гарантує для частинки стан спокою, може бути записано у вигляді:

$$\left| \frac{F_{mp}}{N} \right| < f. \quad (23)$$

При порушенні умови (23) відбувається ковзання частинки, причому вперед, якщо

$$F_{mp} > 0, \quad (24)$$

і назад, якщо

$$F_{mp} < 0. \quad (25)$$

Загальний вид диференціальних рівнянь ковзання частинки по площині такий же, як і для випадку відносного спокою (17). Однак у випадку ковзання неодмінно виконується умова (22). Слід відмітити, що сила тертя згідно рівняння (22) внаслідок позитивного значення коефіцієнта тертя f і нормальної реакції N є завжди позитивною. В дійсності сила тертя може мати і від'ємне значення, якщо її реальний напрямок протилежний, як показано на схемі (рис. 2). Цей випадок відповідає ковзанню частинки назад. Рівняння (22) можна узагальнити і на цей випадок, якщо ввести до розгляду деяке алгебраїчне значення f_1 коефіцієнта тертя f за формулою:

$$f_1 = f \sin\dot{x}, \quad (26)$$

тоді

$$F_{mp} = f_1 N, \quad (27)$$

і рух частинки на етапах ковзання вперед і ковзання назад буде описуватися одними і тими ж диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= ma_0\omega\sin\omega t - mg\sin\alpha - f_1N; \\ m\ddot{y} &= mb_0\omega\sin\omega t - mg\cos\alpha + N. \end{aligned} \quad (28)$$

Тут використано співвідношення (27).

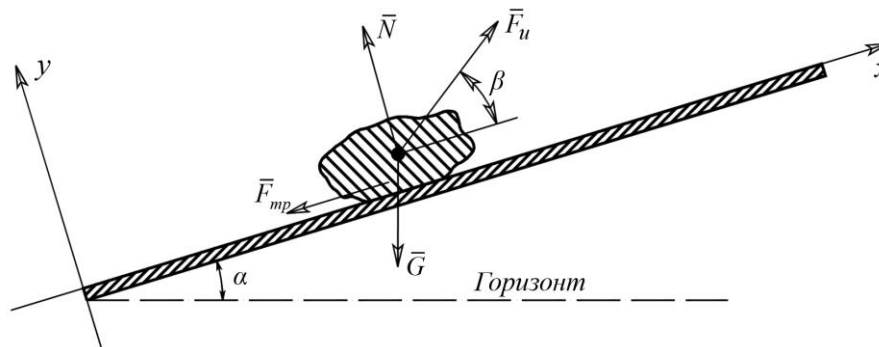


Рис. 2. Схема сил, що діють на частинку в момент взаємодії її з площиною при $y = h/2$

Для безвідривного режиму руху частинки по площині $\dot{y} = \ddot{y} = 0$, виключаючи також з (28) нормальну реакцію остаточно одержимо:

$$\ddot{x} = a_0\omega\sin\omega t - g\sin\alpha - f_1(g\cos\alpha - b_0\omega\sin\omega t). \quad (29)$$

Ковзання частинки може змінитися спокоєм, якщо швидкість частинки буде дорівнювати нулю

$$\dot{x} = 0, \quad (30)$$

або етапом польоту, якщо порушиться умова (20), (21). Величина нормальної реакції визначається рівністю (18).

Одержаних диференціальних рівнянь руху частинки відповідних умов переходу від одного етапу до другого достатньо для реалізації чисельного моделювання процесу, яке передбачало визначення області зміни параметрів коливання вібраційної площини, при яких забезпечується максимальна швидкість переміщення частинок, що визначає продуктивність процесу розділення. Рух частинок по площині сепаратора виконувався при таких установочних параметрах: $A = 1$ мм; $\omega = 200$ с⁻¹; $\alpha = 5^\circ$; $\varepsilon = 38^\circ$; $H = 10$ мм. Досліджували також рух частинки у міждековому просторі з урахуванням і без урахування опору повітряного середовища.

Із збільшенням частоти і амплітуди коливань (рис. 3, а, б) середня швидкість руху частинки по вібраційній площині збільшується. Максимальна швидкість переміщення частинки досягається в інтервалі зміни параметрів: $A = 1,0 \dots 1,7$ мм; $\omega = 200 \dots 260$ с⁻¹. Подальше збільшення амплітуди і частоти коливань призводить до зменшення швидкості вібраційного переміщення частинки. В той же час, швидкість переміщення частинки без урахування впливу повітряного середовища продовжує зростати. Отже, при швидкості руху робочого органу ($A\omega$) більше 27...30 см/с вплив повітряного середовища призводить до зниження швидкості вібраційного переміщення частинки по площині. Для забезпечення максимальної продуктивності швидкість руху робочого органу ВФС не повинна перевищувати вищенаведених значень.

Зміна кута спрямованості коливань ε (рис. 3, в) має не такий суттєвий вплив на швидкість переміщення частинки, як амплітуда і частота коливань площини. При збільшенні ε до $35 \dots 40^\circ$ швидкість переміщення збільшується. Подальше збільшення кута спрямованості коливань призводить до зниження середньої швидкості руху частинки по робочому органу сепаратора. Отже, найбільшій продуктивності ВФС можна досягти при встановленні $\varepsilon = 35 \dots 40^\circ$.

Середня швидкість руху частинок по похилій вібраційній площині зменшується із збільшенням кута нахилу робочої поверхні α (рис. 3,г). Причому, при досягненні певного значення кута нахилу, частинка зупиняється, а при подальшому збільшенні α переміщається у зворотному напрямку. Частинка з меншим значенням коефіцієнта миттєвого тертя λ змінює напрямок руху при меншому значенні кута нахилу площини, а з більшим λ – при більшому значенні α . Так при $\alpha = 7,5^\circ$ часточки з $\lambda = 0,076$ будуть переміщатися вниз, а часточки з $\lambda = 0,27$ будуть переміщатися вгору по вібраційній площині, тобто буде відбуватися процес розділення компонентів НС.

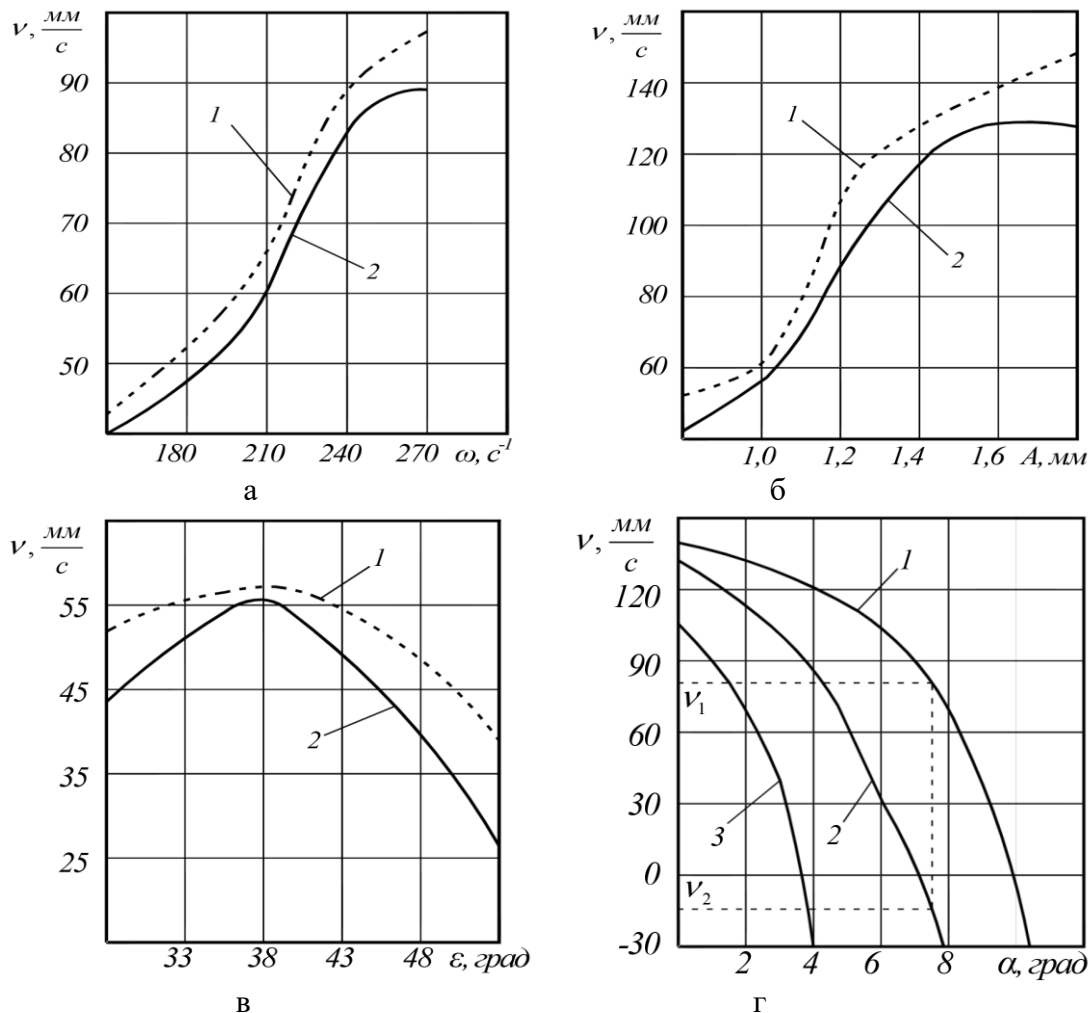


Рис. 3. Вплив установочних параметрів на швидкість руху частинки по вібраційній поверхні в залежності від: а, б, в – частоти, амплітуди та кута спрямованості коливань (1 – без урахування опору повітря, 2 – з урахуванням опору повітря); г – кута нахилу площини (1 – $\lambda = 0,27$; 2 – $\lambda = 0,076$; 3 – $\lambda = 0,021$)

Вище викладені залежності визначалися при фіксованому значенні зазору між площинами, що дорівнював 10 мм. Визначався також вплив цього зазору на середню швидкість переміщення частинок. При збільшенні зазору H від 3 до 6 мм швидкість переміщення знижується, а при подальшому збільшенні зазору підвищується і після 12 мм залишається, практично постійною. Отже менш переважним, з точки зору транспортування, є зазор між площинами 3,5...10 мм. Характерно також, що в цьому ж інтервалі значень зазору між вібруючими площинами швидкість повітряного потоку має максимальне значення.

Висновки

1. Для забезпечення заданої точності розділення компонентів НС дрібнонасінних культур доцільним є урахування впливу повітряного потоку, що утворюється у міждековому просторі віброфрикційних сепараторів. При цьому урахування тільки стаціонарної складової дає уявлення про рух повітряного потоку між вібруючими поверхнями «в середньому», вплив пульсуючої складової швидкості повітряного потоку між вібруючими площинами, в окремих режимах вібраційного переміщення, є визначальним для реалізації технологічного процесу сепарації НС.

2. Збільшення частоти і амплітуди коливань робочого органу зумовлює зростання середньої швидкості руху насіння, максимальна швидкість переміщення частинки досягається в інтервалі зміни параметрів: $A = 1,0 \dots 1,7$ мм; $\omega = 200 \dots 260$ с⁻¹. Подальше збільшення цих параметрів призводить до зменшення швидкості вібраційного переміщення компонентів. В той же час, швидкість переміщення частинки без врахування впливу повітряного середовища продовжує зростати. При швидкості руху робочого органу ($A\omega$) більше 27...30 см/с вплив повітряного середовища призводить до зниження швидкості вібраційного переміщення частинок. Для забезпечення максимальної продуктивності процесу швидкість руху робочого органу не повинна перевищувати вищенаведених значень.

3. Середня швидкість переміщення частинок має тенденцію до зменшення при збільшенні значення кута нахилу робочої поверхні α , причому при досягненні певного значення кута нахилу, частинка зупиняється, а при подальшому збільшенні α переміщається у зворотному напрямку. Частинка з меншим значенням коефіцієнта миттєвого тертя λ змінює напрямок руху при меншому значенні кута нахилу площини, а з більшим λ – при більшому значенні α . Так при $\alpha = 7,5^\circ$ часточки з $\lambda = 0,076$ будуть переміщатися вниз, а часточки з $\lambda = 0,27$ будуть переміщатися вгору по вібраційній площині, тобто буде відбуватися процес розділення компонентів НС.

4. Зміна кута спрямованості коливань ε має не такий суттєвий вплив на швидкість переміщення насіння, як амплітуда і частота коливань, збільшення ε до 35...40° забезпечує підвищення швидкості переміщення, а подальше збільшення кута ε призводить до зниження середньої швидкості руху насіння по робочому органу. Найбільшій продуктивності віброфрикційного сепаратора можна досягти при встановленні $\varepsilon = 35 \dots 40^\circ$.

5. При збільшенні зазору H від 3 до 6 мм швидкість переміщення знижується, а при подальшому збільшенні зазору підвищується і після 12 мм залишається постійною. Отже менш доцільним, з точки зору швидкості переміщення компонентів НС по робочій поверхні віброфрикційного сепаратора, є зазор між деками в межах 3,5...10 мм.

Список використаних джерел

1. Лукьяненко В.М., Никифоров А.О. Результаты исследования процесса взаимодействия рабочих плоскостей виброочистительной машины и воздушной среды. Инженерия природокористування. 2014. № 2(2). С. 70–73.
2. Завгородний А.И., Синяева О.В. Движения шара в воздушном потоке между вибрирующими плоскостями. Вібрації в техніці та технологіях. 2012. № 3. С. 20–27.
3. Antoshchenkov R., Nikiforov A., Halych I., Tolstolutskyi V., Antoshchenkova V., Diundik S. Solution of the system of gas-dynamic equations for the processes of interaction of vibrators with the air. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 2. No 7 (104). P. 67–73.

4. Nikiforov A., Nykyforova A., Antoshchenkov R., Antoshchenkova V., Diundik S., Mazanov V. Development of a mathematical model of vibratory nonlift movement of light seeds taking into account the aerodynamic forces and moments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. No 3 (111). P 70–78.

5. Nykyforov A., Antoshchenkov R., Halych I., Kis V., Polyansky P., Koshulko V., Tymchak D., Dombrovska A., Kilimnik I. Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. No 3 (112). P. 24–34.

6. Nykyforov A., Antoshchenkov R., Halych I., Kis-Korkishchenko L., Kis V., Dombrovska A., Kilimnik I. Regression models for assessing the efficiency of vibratory separation of parsnip seeds taking into account air dynamics based on numerical simulation and field experiment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. No 2 (122). P. 40–51.

References

1. Лукьяненко В.М., Никифоров А.О. (2014). Результаты исследования процесса взаимодействия рабочих плоскостей виброочистительной машины и воздушной среды. *Інженерія природокористування*. № 2(2). С.70–73.

2. Завгородний А.И., Синяева О.В. (2012). Движения шара в воздушном потоке между вибрирующими плоскостями. *Вібрації в техніці та технологіях*. № 3. С. 20–27.

3. Antoshchenkov R., Nikiforov A., Halych I., Tolstolutskyi V., Antoshchenkova V., Diundik S. (2020). Solution of the system of gas-dynamic equations for the processes of interaction of vibrators with the air. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 2. No 7 (104). P. 67–73.

4. Nikiforov A., Nykyforova A., Antoshchenkov R., Antoshchenkova V., Diundik S., Mazanov V. (2021). Development of a mathematical model of vibratory nonlift movement of light seeds taking into account the aerodynamic forces and moments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No 3 (111). P 70–78.

5. Nykyforov A., Antoshchenkov R., Halych I., Kis V., Polyansky P., Koshulko V., Tymchak D., Dombrovska A., Kilimnik I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No 3 (112). P. 24–34.

6. Nykyforov A., Antoshchenkov R., Halych I., Kis-Korkishchenko L., Kis V., Dombrovska A., Kilimnik I. (2023). Regression models for assessing the efficiency of vibratory separation of parsnip seeds taking into account air dynamics based on numerical simulation and field experiment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No 2 (122). P. 40–51.