

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ ПІДЧАС ЇЇ СЕПАРАЦІЇ В ТРУБЧАСТОМУ СКРЕБКОВОМУ ЛАНЦЮГОВОМУ КОНВЕЄРІ

С. М. Герук, к.т.н., доцент, Житомирський агротехнічний коледж

А. П. Довбиш, ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Розглянута модель пошарового руху зернової суміші на основі гіпотези Кельвіна і на її основі здійснено опис динамічного руху зернової суміші в процесі сепарації і виведені відповідні диференціальні рівняння. Приведені характеристики власних коливань зернової суміші під час руху вздовж сита вібросепаратора та описано відповідним диференціальним рівнянням на основі методу Ван-дер-Поля побудовані графічні залежності частоти коливань сита від амплітуди для різних параметрів значень власних коливань.

Ключові слова: математична модель, зернова суміш, трубчастий конвеєр, вібросепаратор.

Постановка проблеми. Технологічні процеси підготовки зерна різних сільськогосподарських культур для переробки, зберігання чи реалізації включають в себе низку послідовних операцій, автоматизація яких значною мірою знижує собівартість кінцевого продукту. До них в першу чергу треба віднести процес сушіння (доведення вологості до стандарту), сепарацію, калібрування, транспортування на склад чи підготовка до реалізації (із фасування). Деякі із вказаних операцій, з метою економії матеріальних та часових ресурсів, можна між собою поєднувати, наприклад, сушіння та сепарацію (за умови незначної переволоженості матеріалу), сепарацію та калібрування, тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій Теоретичним дослідженням сепарації зернових сумішей присвячена велика кількість робіт. Проблемі сепарації зерна, в тому числі вібраційними решетами присвячені роботи багатьох дослідників, результати яких наведено в узагальнюючих працях П.М. Василенка, І.Є. Кожуховського, В.В. Гортинського, П.М. Заїки, Г.Д. А.М. Прилуцького та багатьох інших дослідників. Найбільш ґрунтовні результати досліджень з використанням цієї моделі отримані В.В. Гортинським і П.М. Заїкою. Ними виконані детальні обчис-

лення характеристик руху матеріальної точки і потоку при дії різноманітних факторів. В.В. Гортинським досліджені характеристики руху у вертикальному повітряному потоці, П.М. Заїкою – характеристики руху у рівномірному нахиленому до горизонту повітряному потоці у просторових системах координат.

Незважаючи на вище наведене, обсяг аналітичних досліджень динамічних процесів в даній сфері недостатній. Це в першу чергу стосується методів аналізу складних процесів та явищ, які мають місце у процесі вібраційної сепарації та адгезії і зумовлені різноманітністю структур, геометричної форми, фізико - механічних властивостей зерна, тощо. Застосування під час виконання вказаних операцій вібраційних машин керованого типу, які дозволяють у заданому діапазоні змінювати амплітуду та частоту зовнішнього збурення робочого органу сепаратора, не завжди приводять до бажаних результатів. Кінцевий продукт, його якість, а отже продуктивність машини значною мірою залежать від властивостей оброблюваного продукту.

Метою роботи є дослідження кінематики швидкості руху зернової суміші вздовж робочого органу вібросепаратора (сита), на його амплітуду та частоту коливань.

Реалізація результатів роботи. Методи сепарації зерна (передпосівне оброблення насінного матеріалу з метою використання новітніх засобів біологічного збагачення ґрунту), а відтак відповідні машини вказаних технологічних процесів в останні десятиліття отримали широке застосування у сільському господарстві. Їх впровадження сприяє інтенсифікації процесів якісної підготовки зерна чи посівного матеріалу, дозволяє позбутись багатьох трудомістких операцій. Це зумовлено з одного боку відносно конструктивною простотою вказаних машин, а з іншого - високою продуктивністю. Саме останні, точніше кажучи адекватні процесу сепарації математичні моделі, їхні кінематичні характеристики, що впливають із моделей, дозволяють запропонувати найбільш раціональні режими роботи машин. До того, на базі аналізу математичних моделей процесу вібраційної сепарації для керованого типу вібраційних машин можна позбутись або мінімізувати вплив такого явища як перехід через головний чи проміжні резонанси. Це значно підвищить довговічність найбільш відповідальних вузлів та механізмів вібраційного сепаратора.

Тому розглянута складніша модель пошарового руху зернової суміші і в основу покладено більш складні залежності для інтегральних пружних характеристик зернової суміші, а саме узагальнена гіпотеза Кельвіна

$$\sigma = E\varepsilon^{v+1} + \mu f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}), \quad (1)$$

де σ - нормальне напруження у шарі зернової суміші, ε - відносна деформація розглядуваної моделі зернової суміші в процесі сепарації чи адгезії, $\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$ - її швидкість, E - інтегральний "модуль пружності" зернової суміші, V та μ - параметри, які вказують на відхилення інтегральних пружних характеристик зернової суміші від лінійного та степеневих законів (μ - малий параметр).

В такому разі, для довільно розміщеного елементу шару dx зернової суміші, яка рухається вздовж сита нахиленого під кутом φ до горизонту і піддається сепарації чи адгезії можна записати рівняння "динамічної рівноваги" [1] (рис. 1)

$$\vec{S}(x) + \vec{S}(x+dx) + d\vec{P} + d\vec{N} + d\vec{\Phi} = 0, \quad (2)$$

де $\vec{S}(x), \vec{S}(x+dx)$ - сили, які діють на верхній та нижній кінець виділеного елементу зі сторін "відсіченої" частини; $d\vec{P}, d\vec{N}, d\vec{R}$ - відповідно вага виділеного елементу, нормальна реакція (нормальна складова сили із якою сито діє на виділений елемент) та сила опору, величина котрої вважається пропорційною швидкості руху зернової суміші вздовж сита; $d\vec{\Phi}$ - сила інерції виділеного елементу.

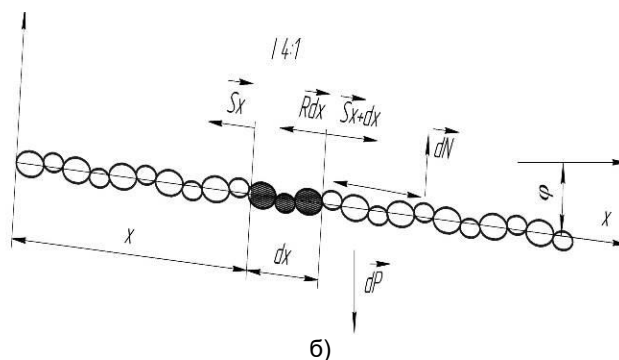
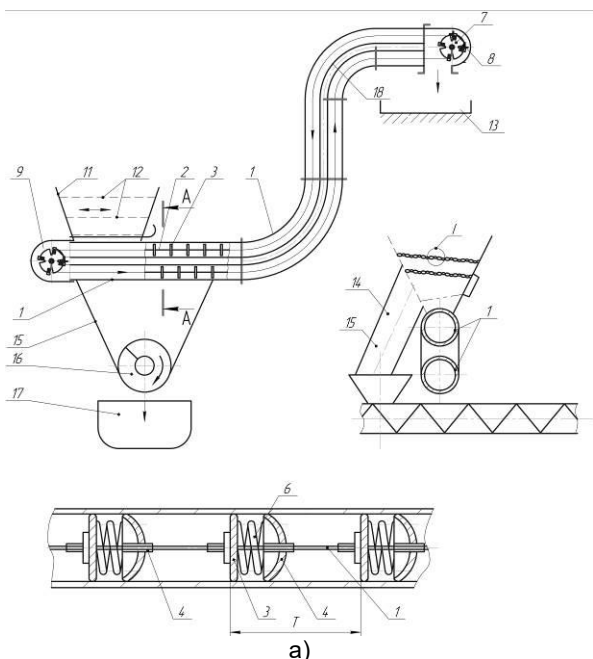


Рис. 1. Розрахункова схема руху шару зернової суміші під час процесу вібросепарації а) та розподіл сил, які діють на умовно виділений його елемент б).

Якщо позначити $w(x, t)$ переміщення верхнього кінця умовного перерізу зернової суміші в напрямку паралельному до сита (відповідно від-

носна його деформація рівна $\frac{\Delta w}{\Delta x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \varepsilon$) на базі залежності (1) маємо

$$S(x) = EA \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \right)^{v+1} + \mu EA f \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x \partial t} \right) \quad (3)$$

$$S(x+dx) = EA \left(\frac{\partial w(x+dx)}{\partial x} \right)^{\nu+1} + \mu EA f \left(\frac{\partial w(x+dx, t)}{\partial x}, \frac{\partial^2 w(x+dx, t)}{\partial x \partial t} \right) \quad (4)$$

Це дозволяє з точністю до величин вищого порядку відхилення інтегральних характеристик обчислити величину $S(x+dx) - S(x)$

$$S(x+dx) - S(x) = \left[(\nu+1) EA \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \right)^{\nu} \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial}{\partial x} f \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} \right) \right] dx. \quad (5)$$

Якщо прийняти до уваги, що сила інерції виділеного елемента рівна добутку його маси на абсолютне пришвидшення, маємо

$$d\Phi = .dm \left(\frac{d^2 w(x, t)}{dt^2} - H \omega^2 \cos(\omega t + \psi) \right), \quad (6)$$

де $dm = \rho dx$ - маса виділеного елемента, $H \cos(\omega t + \psi)$ - закон переносного руху контейнера сепаратора (H, ω, ψ - відповідно амплітуда, частота, початкова фаза зовнішнього періодичного горизонтального збурення контейнера); ρ - маса одиниці довжини зернової суміші, A - пло-

ща перерізу " умовної балки зернової суміші"; β - коефіцієнт пропорційності у силі опору середовища.

Наведене у сукупності, дозволяє співвідношення (2), подати у вигляді

$$\rho \left(\frac{d^2 w(x, t)}{dt^2} - H \omega^2 \cos(\omega t + \psi) \right) = EA(\nu+1) \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \right)^{\nu} - \beta \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} + \mu g \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} \right) \quad (7)$$

$$\text{де } g \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial x} f \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} \right).$$

Зернова суміш, яка переміщується вздовж сита, описується наступним [2,3]

$$\begin{aligned} \frac{dw(x, t)}{dt} &= \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} V + \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} \\ \frac{d^2 w(x, t)}{dt^2} &= \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} V^2 + 2V \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \frac{dV}{dt}. \end{aligned} \quad (8)$$

Після нескладних перетворень диференціальне рівняння (6) можна подати у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial t^2} + 2V \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x \partial t} + V^2 \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \frac{dV}{dt} + \frac{\beta}{\rho} \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} - \\ - \frac{EA(\nu+1)}{\rho} \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} \left(\frac{\partial w(x, t)}{\partial x} \right)^{\nu} = \mu \bar{f} \left(x, \frac{\partial w(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x, t)}{\partial t} \right) + \frac{H \omega^2}{\rho} \cos(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (9)$$

Таким чином, диференціальне рівняння, яке описує динаміку зернової суміші в процесі сепарації чи адгезії зерна за уточненої внутрішньої фізичної моделі взаємодії, яка описується узагальненим законом пружності (узагальнена модель Кельвіна) має вигляд (8). Очевидно, під час процесу вібросепарації чи адгезії зернова маса здійснюють відносні коливання вздовж сита. Тому, саме такий динамічний процес має описувати диференціальне рівняння (8). Наведене буде мати місце, якщо параметр V у виразі для узагальненого закону пружності зернової суміші можна подати у вигляді $V = (2n+1)/(2m+1) - 1$, ($n, m = 0, 1, 2, \dots$). До того, динамічний процес сепарації залежить від вигляду взаємодії сипкого середовища із стінками контейнера. Їх будемо

моделювати відповідно до прийнятої фізичної моделі, крайовими умовами (із шарнірним закріпленням кінців). Наведене дозволяє записати крайові умови для рівняння (8) у вигляді

$$w(x, t)|_{x=0} = w(x, t)|_{x=l} = 0 \quad (10)$$

Таким чином, задача дослідженні процесу сепарації чи адгезії зерна (впливу зовнішніх та внутрішніх чинників на продуктивність процесу) полягає у знаходженні розв'язку рівняння (8) за крайових умов (9).

Відомо, що головними чинниками, які визначають процес вібросепарації чи адгезії зернової маси є їх амплітуда та частота коливань відносного руху вздовж сита. Отримати вказані визначальні параметри можна на базі розв'язку відповідної математичної моделі процесу, тобто

рівняння (8) за крайових умов (9). Тому, для процесу вібросепарації зернової суміші будуть прийнятні не значні обмеження технологічного, а саме.

1. Кут нахилу сит до горизонту, вздовж яких переміщається зернова суміш, є невеликим.

2. Амплітуда зовнішнього збурення вібраційної машини є обмеженою величиною, а частоту може оператор змінювати у широкому діапазоні.

3. Із наведеного вище випливає, що

$$\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} - \alpha^2 \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \left(\frac{\partial w(x,t)}{\partial x} \right)^v = \mu g \left(\tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right) + \frac{H\omega^2}{\rho} \cos(\omega t + \psi). \quad (11)$$

де $\alpha^2 = \frac{EA}{\rho}(\nu+1)$, $\tau = \mu t$ - "повільний час",

$$\mu \bar{g} \left(\tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right) = \mu g \left(\tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right) - \left(2V \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x \partial t} + V^2 \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial w(x,t)}{\partial x} \frac{dV}{dt} + \frac{\beta}{\rho} \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right).$$

Для отримання характеристики власних коливань зернової суміші під час руху вздовж сита вібросепаратора без урахування зовнішнього

відносна швидкість зернової суміші вздовж сита є повільно змінною функцією часу, до того ж вона приймає обмежене максимальне значення.

4. Максимальне значення сили опору під час коливань зернової суміші вздовж сита є малою величиною у порівнянні із максимальним значенням сили внутрішньої пружної сили взаємодії зерен.

Наведене дозволяє диференціальне рівняння (9) подати у вигляді

$$\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} - \alpha^2 \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \left(\frac{\partial w(x,t)}{\partial x} \right)^v = \mu g \left(\tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right). \quad (12)$$

Перше наближення одно частотного його розв'язку будемо шукати у вигляді

$$w(x,t) = a(t) X(x) ca(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)),$$

$$\Omega(a) = \alpha a^{\frac{\nu}{2}} \left(\frac{\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu+2}{2}}, \quad (13)$$

де $X(x)$, - відома функція [6]

$$X(x) = sa \left(1, \frac{1}{\nu+1}, \Pi_x \frac{k}{l} x \right), \Pi_x = \sqrt{\pi} \Gamma \left(\frac{\nu+1}{\nu+2} \right) \Gamma^{-1} \left(\frac{1}{2} + \frac{\nu+1}{\nu+2} \right),$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = X(x) \left\{ \frac{da}{dt} ca(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)) - \frac{2a}{\nu+2} \left(\Omega(a) + \frac{d\theta}{dt} \right) sa(1, \nu+1, \Omega(a)t + \theta(t)) \right\},$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -\frac{2X}{\nu+2} \frac{da}{dt} \left(\Omega(a) + a \frac{d\Omega(a)}{da} \right) sa(1, \nu+1, \Omega(a)t + \theta(t)) +$$

$$+ \frac{2X}{\nu+2} a \Omega(a) \left(\Omega(a) + \frac{d\theta}{dt} \right) ca^{\nu+1}(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)), \quad (14)$$

Залежність (12), за умови змінних в часі параметрів a і θ , буде описувати динамічний процес зернової суміші, якщо амплітуда і фаза

збурення відповідає диференціальне рівняння за крайових умов (9).

$a(t)$, $\theta(t)$ невідомі амплітуда та фаза коливань зернової суміші, які знаходяться так, щоб (11) в першому наближенні задовольняли рівнянню (11). Для знаходження їх закону зміни адаптуємо основну ідею методу Ван – дер – Поля [4,5]. Відповідно до неї шляхом диференціювання по t залежності (12) отримуємо:

коливань визначаються із системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$X(x) \left\{ \frac{da}{dt} ca(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)) - \frac{2a}{\nu+2} \frac{d\theta}{dt} sa(1, \nu+1, \Omega(a)t + \theta(t)) \right\} = 0, \quad (15)$$

$$- \frac{2X(x)}{\nu+2} \left\{ \frac{da}{dt} \left(\Omega(a) + a \frac{d\Omega(a)}{da} \right) sa(1, \nu+1, \Omega(a)t + \theta(t)) - a \Omega(a) \frac{d\theta}{dt} ca^{\nu+1}(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)) \right\} =$$

$$= \left\{ \alpha^2 a^{\nu+1} (X')^v X''(x) - \frac{2\Omega(a)}{\nu+2} X(x) \right\} ca^{\nu+1}(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)) -$$

$$-\frac{2a}{\nu+2}VX'(x)sa(1,\nu+1,\Omega(a)t+\theta(t))-V^2ca(\nu+1,1,\Omega(a)t+\theta(t))X''(x)+\frac{H\omega^2}{\rho}\cos(\omega t+\phi)+$$

$$+aX'(x)\frac{dV}{dt}ca(\nu+1,1,\Omega(a)t+\theta(t))-\frac{2\beta\Omega(a)}{(\nu+2)\rho}a(1,\nu+1,\Omega(a)t+\theta(t))X(x)+\mu f_1(a,x,\Omega(a)t+\theta(t)),$$

де $g_1(a, x, \Omega(a)t + \theta(t))$ відповідає значенню функції $g\left(\frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t}\right)$ за умови що функція $w(X, t)$ та її похідні приймають тільки

головні значення.

Легко переконатись, що вираз у фігурних дужках другого рівняння співвідношень (14) рівний нулеві, тобто

$$\left\{ \alpha^2 a^{\nu+1} (X'(x))^{\nu} X''(x) - \frac{2\Omega(a)}{\nu+2} X_k(x) \right\} ca^{\nu+1}(\nu+1, 1, \Omega(a)t + \theta(t)) = 0.$$

Таким чином, система диференціальних рівнянь (14), із урахуванням наведеного вище,

приймає вигляд

$$X(x) \left\{ \frac{da}{dt} ca(\nu+1, 1, \psi) - \frac{2a}{\nu+2} \frac{d\theta}{dt} sa(1, \nu+1, \psi) \right\} = 0, \quad \psi = \Omega(a)t + \theta(t), \quad (16)$$

$$\frac{2X(x)}{\nu+2} \left\{ \frac{da}{dt} \left(\Omega(a) + a \frac{d\Omega}{da} \right) sa(1, \nu+1, \psi) + a\Omega(a) \frac{d\theta}{dt} ca^{\nu+1}(\nu+1, 1, \psi) \right\} =$$

$$= \mu f_1(a, x, \psi) + \frac{H\omega^2}{\rho} \cos(\omega t + \phi) + 2Va(1, \nu+1, \psi) X'(x) - V^2 ca(\nu+1, 1, \psi) X''(x) -$$

$$-\frac{2\beta a \Omega(a)}{(\nu+2)\rho} sa(1, \nu+1, \psi) X(x).$$

Якщо праві та ліві частини отриманих співвідношень помножити на функцію $X(x)$, з наступним їх інтегруванням за незалежною змінною X

на всьому інтервалі її зміни (довжині сита вібро-сепаратора), отримаємо

$$\frac{da}{dt} = \frac{\mu sa(1, \nu+1, \psi) \left[\hat{f}_1(a, \psi) + \frac{H\omega^2}{\rho} \cos(\omega t + \phi) + \frac{2\beta a \Omega(a)}{(3\nu+4)\rho} \right]}{P \left[\Omega(a) ca^{\nu+2}(\nu+1, 1, \psi) + \frac{2}{\nu+2} \left(\Omega(a) + a \frac{d\Omega}{da} \right) sa^2(1, \nu+1, \psi) \right]}, \quad (17)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{(\nu+2)ca(\nu+1, 1, \psi) \left[\mu \hat{f}_1(a, \psi) + \frac{H\omega^2}{\rho} \cos(\omega t + \phi) - \frac{\nu+2}{3\nu+4} \left(\frac{k\Pi_x}{l} \right)^2 V^2 a \right]}{2Pa \left[\Omega(a) ca^{\nu+2}(\nu+1, 1, \psi) + \frac{2}{\nu+2} \left(\Omega(a) + a \frac{d\Omega}{da} \right) sa^2(1, \nu+1, \psi) \right]},$$

$$\text{де } \hat{f}_1(a, \psi) = \int_0^l X(x) f_1(a, x, \psi) dx, \quad \int_0^l X^2(x) dx = P = \frac{\nu+2}{3\nu+4} l, \quad \int_0^l X(x) X'(x) dx = 0 /$$

Якщо врахувати вигляд функції $\Omega(a)$,

дом $2\Pi = 2\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{1}{\nu+2}\right)\Gamma^{-1}\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\nu+2}\right)$. Якщо

(12), то вираз у знаменнику $\Omega(a) + a \frac{d\Omega}{da}$ наведених вище залежностей можна замінити більш простим

$$\Omega(a) + a \frac{d\Omega(a)}{da} = \frac{\nu+2}{2} \Omega(a).$$

До цього ж, праві їх частини вказаних співвідношень є періодичними за фазою ψ із періо-

прийняти до уваги обмеження щодо величин швидкості руху зернової суміші вздовж сита та внутрішньої сили тертя у її моделі динамічного процесу, то можна стверджувати, що основні параметри коливань в процесі сепарації за один період змінюються на незначну величину. Це дозволяє для диференціальних рівнянь (16) використати апарат усереднення [6,7] за змінною ψ . Таким чином

$$\frac{da}{dt} = \frac{\mu}{2\text{ПР}\Omega(a)} \int_0^{2\text{ПР}} \int_0^l sa(1, \nu+1, \psi_k) X(x) \left[\hat{f}_1(a, x, \psi) + \frac{2\beta a \Omega(a)}{(3\nu+4)\rho} X(x) \right] dx d\psi_k, \quad (18)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \Omega(a) + \frac{(\nu+2)}{4a\text{ПР}\Omega(a)} \int_0^{2\text{ПР}} \int_0^l ca(\nu+1, 1, \psi) X(x) \left[\hat{f}_1(a, x, \psi_k) - V^2 \left(\frac{\Pi_x}{l} \right)^2 a X(x) \right] dx d\psi.$$

Окремим випадком залежностей (17) є результати, які стосуються зернової суміші за умови $f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = 0$

$$\frac{da}{dt} = -\frac{2\beta(\nu+2)^2 a}{(3\nu+4)\text{ПР}\rho} \frac{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{3}{\nu+2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{\nu+2}\right)},$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \alpha a^{\frac{\nu}{2}} \left(\frac{\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu+2}{2}} - \frac{(\nu+2)^2}{4\text{ПР}\alpha a^{\frac{\nu}{2}}} V^2 \frac{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{3}{\nu+2}\right)}{(3\nu+4)\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{\nu+2}\right)} \left(\frac{\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu}{2}}. \quad (19)$$

На рис. 2 подано залежність частоти коливань сита від амплітуди за різних значень параметрів ν

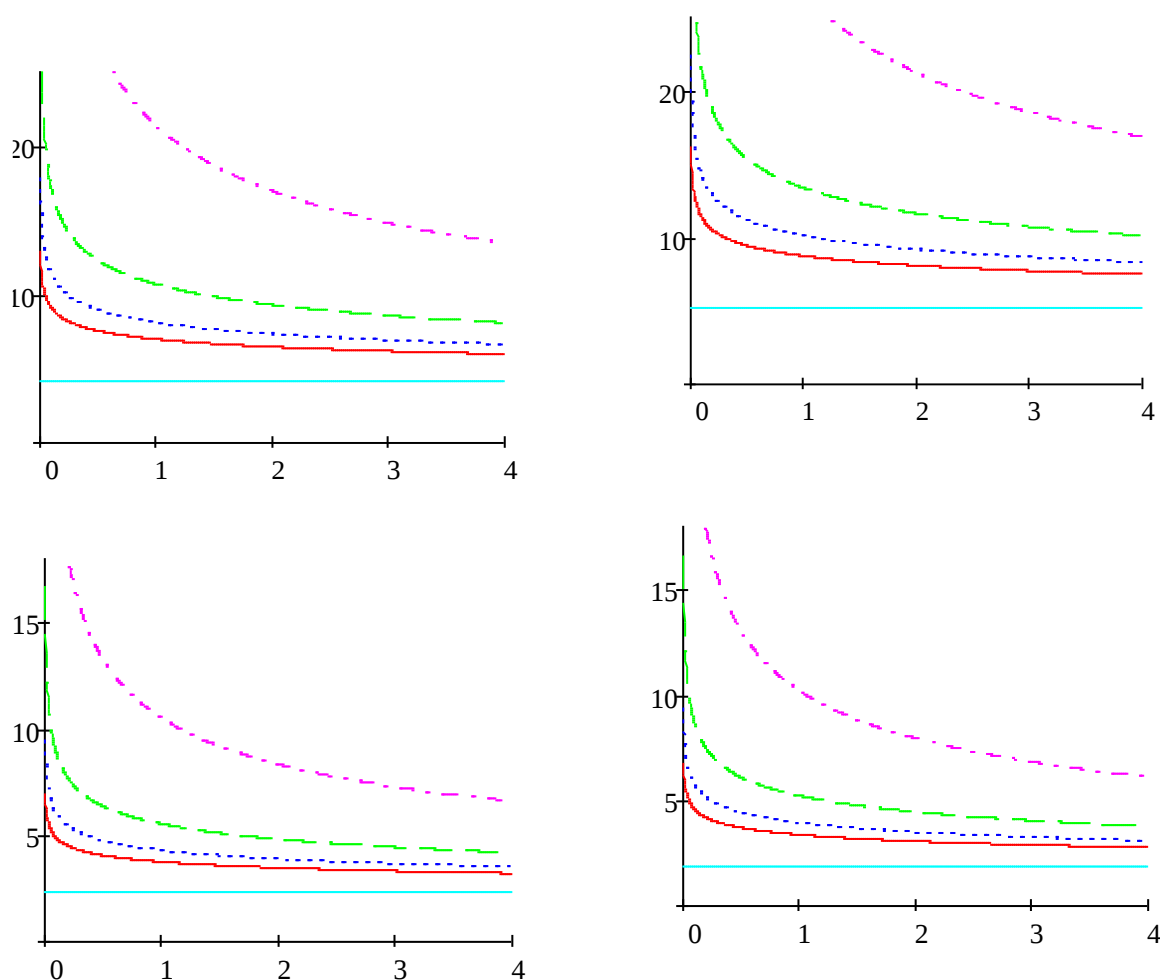


Рис. 2. Графіки залежності частоти коливань сита від амплітуди коливань

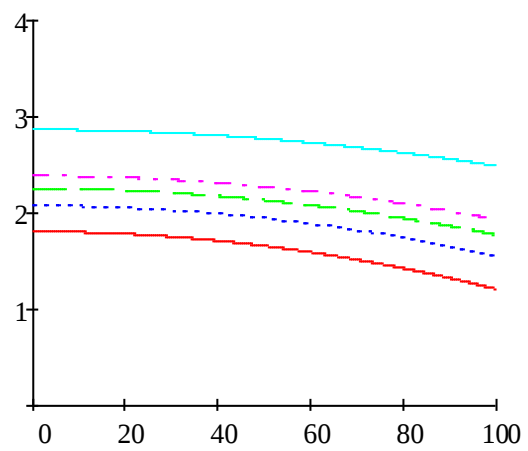
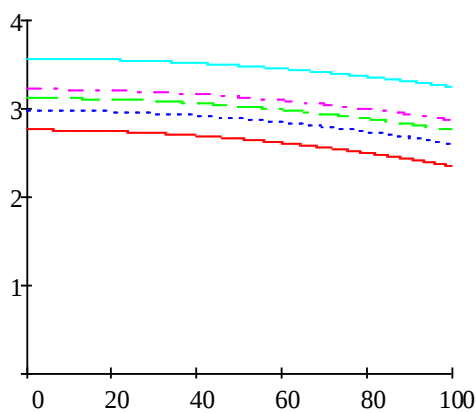
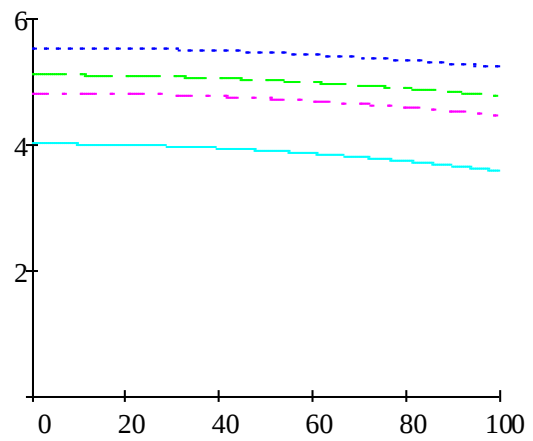
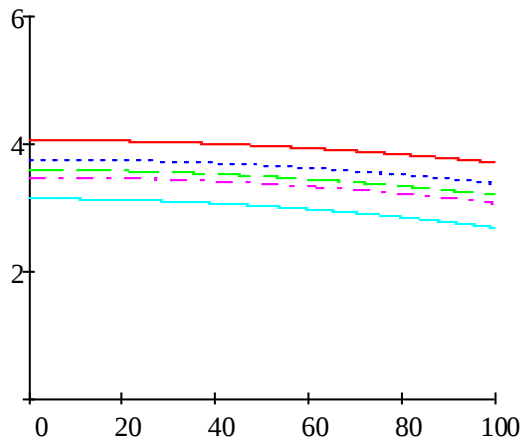


Рис.3. Графік залежності частоти коливань сита від швидкості зернової суміші за різних значень ν

Висновок. Отримані аналітичні залежності та побудовані на їх базі графічні залежності показують, що:

- для значень параметру $-1 < \nu < 0$ - більшим значенням параметру ν відповідає більше значення частоти власних коливань зернової суміші (за всіх інших незмінних параметрів) та більшим значенням амплітуди власних коливань

відповідає менше значення частоти власних коливань;

- більшим значенням амплітуди власних коливань зернової суміші відповідає менше значення частот власних коливань;

- частота власних відносних коливань зернової суміші вздовж сита за більших значень швидкості відносного її руху є меншою

Список використаної літератури:

- 1.Бабаков . И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков // –М.: Наука.–1965. –560 с.
- 2.Моут М. Теоретические и экспериментальные исследования вибраций ленточных пил / М.Моут, Л.Нэгульсуорен // Труды Американского общества инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. – М.: Мир, 1966. – 88, № 2. – С. 27–32.
- 3 Сокіл Б. І. Застосування асимптотичного методу для неоднорідних крайових задач, які описують нелінійні коливання систем, що характеризуються поздовжнім рухом / Б. І.Сокіл, Х. І.Ліщинська // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». – Львів, 2008. № 614. – С. 120-124.
4. Wan der Pol. A Teory of the Amplitude of Free and Forced Triode Vibrations // Radio Review. – 1920. – № 1.
- 5.Абрамовиц М. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / М. Абрамовиц, И. Стиган; пер. с англ. под ред. В. А. Диткина и Л. Н. Кармазиной. – М.: Наука, 1979. – 830 с.
6. Митропольский Ю. А. Асимптотические решения уравнений в частных производных / Ю. А.Митропольский, Б. И Моисеенков // К. – Вища школа. – 1976 г. – 216 с.

7. Волосов В. М. Метод осреднения в теории нелинейных колебательных систем / Волосов Владимир Маркович, Моргунов Борис Иванович. – М.: МГУ, 1971. – 507 с.

8. Манчинський Ю.О. Результати дослідження очищення зернової суміші у нахиленому повітряному каналі / Ю.О.Манчинський, М.В.Бакум, М.М.Абдуєв, А. П.Мироненко, С.А. Субота // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – Вип. 11. – С. 97–102.

9. Абдуєв М.М. Теоретичні дослідження характеристик руху часток у нахиленому повітряному каналі при зміні характеристик епюри швидкості повітря по висоті каналу / М.М.Абдуєв, М.В.Бакум, Ю.О.Манчинський, В.В.Сичов, В.П.Леонов // Механізація сільського господарства: Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 21. – С. 88-94.

Герук С.М., Довбыш А.П. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ВОВРЕМЯ ЕЕ СЕПАРАЦИИ В ТРУБЧАТОМУ СКРЕБКОВОМУ ЦЕПНОМУ КОНВЕЙЕРЕ.

Рассматриваемая модель послойного движения зерновой смеси на основе гипотезы Кельвина и на ее основе осуществлено описание динамического движения зерновой смеси в процессе сепарации и выведены соответствующие дифференциальные уравнения. Приведенные характеристики собственных колебаний зерновой смеси при движении вдоль сита вибросепаратора, описано соответствующим дифференциальным уравнением на основе метода Ван-дер-Поля построены графические зависимости частоты колебаний сита от амплитуды для различных параметров значений собственных колебаний.

Ключевые слова: математическая модель, зерновая смесь, трубчатый конвейер, вибросепаратор.

Geruk S.M., Dovbysh A.P. MATHEMATICAL MODELS OF DYNAMICS OF GRAIN MIXES TIME ITS SEPARATION IN TUBULAR SCRAPER CHAIN CONVEYORS.

The model layering movement of grain-based mixture Kelvin hypothesis and based on it carried out the description of the dynamic movement of the cereal mixture in the separation process and output the corresponding differential equation. These characteristics of the natural oscillations of the cereal mixture as we move along the screen vibroseparator, described the corresponding differential equations based on the method of Van- der-Pol constructed a graph of the frequency of the oscillation on the amplitude of the sieve for various parameters of the natural oscillations of values.

Key words: mathematical model, grain mixture, pipe conveyor, vibroseparator.