



Механізація, електрифікація

УДК 631.362:532
© 2013

*Л.М. Тищенко,
академік НААН*

*Харківський національний
технічний університет
сільського господарства
ім. П. Василенка*

ПОВЕРХНІ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ШВИДКОСТЕЙ ПОТОКІВ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ НА ВІБРОРЕШЕТАХ

Одержано поверхні залежностей усталених коливань швидкостей псевдорозрідженого зернового шару, спричинених поперечними вібраціями плоского нахиленого решета у напрямі, перпендикулярному до площини найбільшого скату. Побудовано математичну модель коливань з урахуванням поділу суміші на проходову та сходову фракції.

Ключові слова: *поверхні залежностей, вібраційні поля, віброрешета, коливання швидкостей зернового шару.*

Постановка проблеми. Математичне моделювання вібраційних полів у сумішах, що сепаруються, відноситься до актуальних науково-прикладних завдань, оскільки застосування вібрацій інтенсифікує решітний поділ зернових сумішей, дає змогу підвищити ефективність використання віброрешіт під час післязбиральної обробки врожаю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження коливань псевдорозрідженого шару зернової суміші, які викликані поздовжніми вібраціями плоского нахиленого решета, розглядали в [1, 2]. Менше робіт присвячено коливанням швидкості суміші при поперечних вібраціях решета [3–5]. У них методом Бубнова-Гальоркіна побудовано наближені розв'язки задач коливань, коли вібрації решета орієнтовані паралельно площині найбільшого ската. Вібрації зернової суміші та решета в напрямку ортогональному площині найбільшого ската є маловивченим варіантом коливань і заслуговують окремого дослідження. Для однієї ізольованої частинки (зернівки) їх розглядали в [6], де встановлено, що частота коливань поздовжньої проєкції швидкості вдвічі більша, а амплітуда коливань у десятки разів менша,

ніж відповідні параметри коливань поперечної проєкції швидкості. Але ці коливання швидкості зернівки описані без урахування взаємодії її з іншими частинками суміші, що рухається. Тому тут ставиться завдання аналізу коливань шару, а не окремої ізольованої частинки. Причому, на відміну від [7], ураховується просіювання суміші на решеті.

Мета роботи — побудова поверхні залежностей, одержання формул для розрахунку коливань швидкостей зернового шару, спричинених поперечними вібраціями решета, ортогонально площині найбільшого ската, з урахуванням поділу суміші на проходову та сходову фракції.

Результати досліджень. Позначимо через u , v , w проєкції швидкості на осі ox , oy , oz (рис. 1).

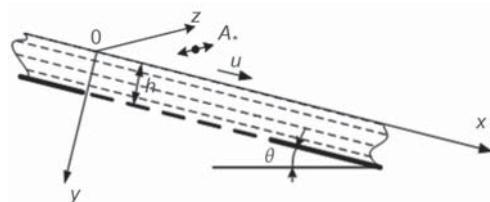


Рис. 1. Розрахункова схема віброрешета із зерновим шаром

Проекції швидкості та надлишковий тиск у суміші визначимо із рівнянь Стокса [8]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v; \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

після відповідних спрощень системи.

В (1) p — надлишковий тиск; $F_x = g \sin \theta$; $F_y = g \cos \theta$; $F_z = 0$; ν — ефективна кінематична вібров'язкість псевдорозрідженої зернової суміші; ρ — густина (натура) суміші; g — прискорення вільного падіння; ∇^2 — тримірний диференціальний оператор Лапласа; t — час.

Для суміші, яка рухається в відкритому просторі:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \Rightarrow p = p(y), \text{ причому } p(0) = 0. \quad (2)$$

При усталеному режимі руху суміші, приймаємо:

$$u = u(y), \quad v = \text{const} \geq 0; \quad w = w(y, t). \quad (3)$$

Підставивши (3) у (1), одержимо спрощені рівняння:

$$\frac{d^2 u}{dy^2} - \frac{v}{\nu} \frac{du}{dy} = -\frac{g}{\nu} \sin \theta; \quad (4)$$

$$\frac{dp}{dy} = \rho g \cos \theta; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{v}{\nu} \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{1}{\nu} \frac{\partial w}{\partial t} = 0. \quad (6)$$

При цьому четверте рівняння в (1) перетворюється в тотожність.

Ураховуючи малість h , порівняно з довжиною L та шириною H решета, далі розміри шару вважаємо безкінечними в напрямку осей ox і oz . Тому рівняння (4) і (6) розв'язуємо за граничними умовами:

$$\left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0} = 0; \quad u(h) = 0; \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial w}{\partial y} \right|_{y=0} = 0; \quad w(h, t) = A \omega \sin(\omega t), \quad (8)$$

де A і ω — амплітуда і частота коливань у напрямку осі oz .

Інтегруючи (5), з урахуванням (2), одержуємо лінійну залежність p від y :

$$p(y) = \rho g \cos \theta y,$$

що узгоджується з [1] і [2].

Розв'язання граничної задачі (4), (7) наведено в [9] і представлено у вигляді:

$$u(y) = \frac{g}{\nu} \sin \theta \left\{ y - h + \frac{\nu}{v} \left[\exp\left(\frac{vh}{\nu}\right) - \exp\left(\frac{vy}{\nu}\right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Гранична задача (6), (8) розв'язана в [10]. Наведемо розв'язання, дещо змінивши форму його запису:

$$w(y, t) = A_1(y) \sin(\omega t) + A_2(y) \cos(\omega t). \quad (10)$$

Тут:

$$A_1(y) = \exp(\alpha_1 y) [c_1 \cos(\beta y) - c_2 \sin(\beta y)] + \exp(\alpha_2 y) [c_3 \cos(\beta y) + c_4 \sin(\beta y)];$$

$$A_2(y) = \exp(\alpha_1 y) [c_1 \sin(\beta y) + c_2 \cos(\beta y)] + \exp(\alpha_2 y) [c_4 \cos(\beta y) - c_3 \sin(\beta y)];$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{v}{2\nu} \pm \sqrt{\left(\frac{v}{2\nu}\right)^4 + \left(\frac{\omega}{\nu}\right)^2 + \left(\frac{v}{2\nu}\right)^2};$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{v}{2\nu}\right)^4 + \left(\frac{\omega}{\nu}\right)^2 - \left(\frac{v}{2\nu}\right)^2};$$

$$c_1 = \delta(a_3 b_4 - a_4 b_3); \quad c_2 = -\delta(a_4 b_4 + a_3 b_3);$$

$$c_3 = \delta b_4; \quad c_4 = -\delta b_3;$$

$$\delta = \frac{A \omega}{b_3^2 + b_4^2} \exp(-\alpha_1 h); \quad a_3 = \frac{\beta^2 - \alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1^2 + \beta^2};$$

$$a_4 = -\frac{\beta(\alpha_1 + \alpha_2)}{\alpha_1^2 + \beta^2};$$

$$b_3 = a_3 \sin(\beta h) - a_4 \cos(\beta h) - \sin(\beta h) \exp[(\alpha_2 - \alpha_1)h];$$

$$b_4 = a_4 \sin(\beta h) + a_3 \cos(\beta h) + \cos(\beta h) \exp[(\alpha_2 - \alpha_1)h].$$

Таким чином, проекції вектора швидкості потоку $\vec{V}(y, t)$ можна вираховувати за формулами (9) і (10). При цьому величина вектора швидкості становить:

$$V(y, t) = \sqrt{u^2(y) + v^2 + w^2(y, t)}. \quad (11)$$

Вона змінюється за часом і глибиною шару. Напрямок вектора швидкості потоку також залежить від t і y .

Внаслідок просіювання проходової фракції, за напрямком руху зменшується товщина зернового шару. Усереднюючи значення h за довжиною решета, його приблизно вирахуємо за формулою:

$$h = \sqrt[3]{h_0^3 - \frac{3vL}{2g \sin \theta}}, \quad (12)$$

де h_0 — товщина шару, з якою суміш поступає на решето.

Для проведення розрахунків задаємо: $A_* = 0,0075$; $\omega_* = 41,86 \text{ с}^{-1}$; $\theta = 4^\circ$; $L = 0,75$; $\nu = 0,0001 \text{ м}^2/\text{с}$; $h_0 = 0,01 \text{ м}$ і три значення $v = 0,001$; $0,003$; $0,005 \text{ м/с}$.

Розраховані поверхні залежностей швидкостей потоку суміші наведено на рис. 2–4.

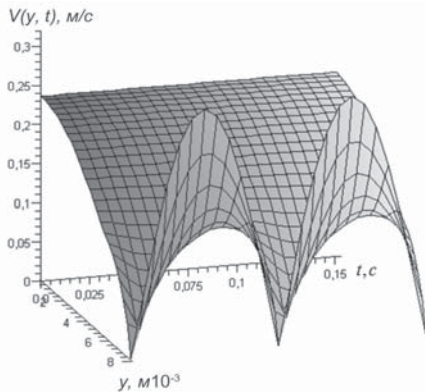


Рис. 2. Поверхня швидкості потоку $V(y, t)$ при $v=0,001 \text{ м/с}$

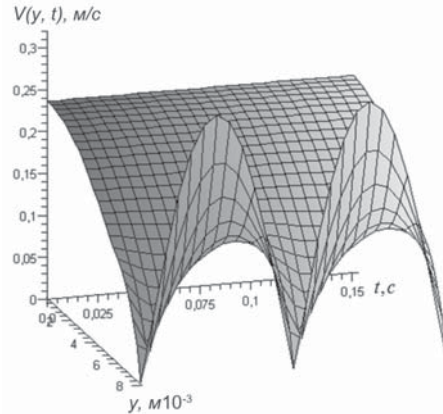


Рис. 3. Поверхня швидкості потоку $V(y, t)$ при $v=0,003 \text{ м/с}$

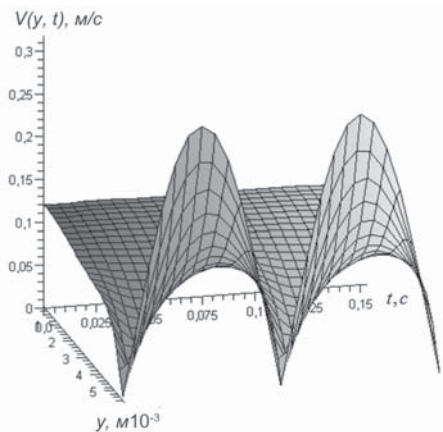


Рис. 4. Поверхня швидкості потоку $V(y, t)$ при $v=0,005 \text{ м/с}$

Висновки

Поверхні залежностей свідчать, що коливання швидкості суміші швидко затухають із віддаленням від робочої поверхні віброрешета в бік вільної поверхні шару, $V(0, t)$ близької до постійного значення.

Це значення істотно залежить від швидкості просіювання проходової фракції на ре-

шеті. Чим більше v , тим менші усереднена товщина шару h і швидкість потоку суміші біля її вільної поверхні. Розрахунки за наведеною теорією дають можливість одержувати профілі внутрішньшарових швидкостей зернових сумішей, що сепаруються на віброрешетах.

Бібліографія

1. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна/Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. — Х.: Міськдрук, 2010. — 174 с.
2. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей/Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. — Х.: Міськдрук, 2011. — 280 с.
3. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков на виброрешетах/Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский. — Х.: Міськдрук, 2012. — 267 с.
4. Тищенко Л.Н. О влиянии поперечных колебаний плоского решета на движение по нем слоя зерновой смеси/Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский//Динамика и прочность машин: Вестн. НТУ «ХПИ». — Х.: НТУ, 2009. — Вып. 30. — С. 167–176.
5. Ольшанский В.П. Колебания сепарируемой зерновой смеси вследствие поперечных вибраций решета/В.П. Ольшанский, С.И. Кучеренко, С.В. Ольшанский, О.Н. Малец//Вісн. ХНТУСГ: Механізація с.-г. виробництва. — Х.: ХНТУСГ, 2011. — Вип. 107. — С. 153–161.
6. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах/П.М. Заика. — К.: УСХА, 1998. — 625 с.
7. Ольшанский В.П. Движение зерновой смеси на плоском решете при поперечных его колебаниях/В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский//Вісн. ХНТУСГ: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у с.-г. машинобудуванні. — Х.: ХНТУСГ, 2011. — Вип. 118. — С. 220–224.
8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа/Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука, 1973. — 847 с.
9. Тищенко Л.Н. О гидродинамической модели движения зерновой смеси по наклонному плоскому решету/Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский//Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). — Полтава: Пол. НТУ, 2009. — Вип. 3 (25). — Т. 1. — С. 181–193.
10. Тищенко Л.Н. О колебаниях скорости зерновой смеси на виброрешете/Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский//Вібрації в техніці та технологіях. — 2010. — № 1(57). — С. 118–123.

Надійшла 9.06.2012.