

Ольшанський В. П.

Бурлака В. В.

Сліпченко М. В.

Малець О. М.

**Харківський
національний технічний
університет сільського
господарства
імені Петра Василенка**

Olshansky V. P.

Burlaka V. V.

Slipchenko M. V.

Malets O. M.

**Kharkiv Petro Vasilenko
National Technical
Univerciti of Agriculture**

УДК 631.362:532

ПРО РУХ ШАРУ ЗЕРНОСУМІШІ НА ПЛОСКОМУ ВІБРОРЕШЕТІ

З використанням трьохпараметричної реологічної залежності виведено замкнені формули для обчислення швидкості зернопотоку та масової продуктивності віброрешета по сходовій фракції. Як і в інших континуальних моделях руху вібророзрідженого сипкого матеріалу, дотичне напруження в дрібнозернистій суміші прийнято залежним від швидкості деформацій зсуву та залишкового сухого тертя. Останнє прийнято пропорційним внутрішньому надлишковому тиску в суміші. Неоднорідність дрібнозернистої суміші по товщині її рухомого шару характеризується змінною пористістю, або питомою масою, та динамічним коефіцієнтом вібров'язкості. Розподіл концентрації зерен по висоті шару пов'язаний зі швидкістю зсувного руху, так що найбільшій швидкості руху, яка має місце біля вільної поверхні, відповідає найбільша пористість, а найменшій швидкості, що має місце біля поверхні решета – найменша пористість. У припущенні квадратичної зміни ефективного коефіцієнта вібров'язкості псевдорозрідженої суміші по висоті її шару, складено диференціальне рівняння другого порядку зі змінними коефіцієнтами відносно швидкості руху. Це рівняння типу Ейлера, що має аналітичний розв'язок. У підсумку через елементарні функції виражена швидкість зернопотоку та масова продуктивність віброрешета по сходовій фракції. Показано, що із виведених формул граничним переходом можна одержати, для окремих випадків, відомі результати. На числових прикладах досліджено вплив різних чинників на розподіл пористості та на кінематичні характеристики зернопотоку.

Ключові слова: плоске нахилене віброрешето, змінна пористість, змінний коефіцієнт вібров'язкості, швидкість зернопотоку, продуктивність віброрешета.

Постановка проблеми. При великих швидкостях руху суміші по решету проходові фракції не встигає повністю відділитись від сходової фракції. При малих швидкостях зернопотоку маємо малу продуктивність віброрешета. Тому бажано мати такі швидкості руху і пористість, щоб досягалось якомога більше розділення фракцій при належній продуктивності віброрешета. Для досягнення цього стану потрібна інформація про вплив різних чинників на швидкість зернопотоку, що найбільш просто одержати за наявності адекватних математичних моделей. Тому розробка таких моделей відноситься до актуальних прикладних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі дослідження руху зерносумішей змінної пористості по висоті рухомого шару ґрунтуються на числових

методах інтегрування диференціальних рівнянь другого порядку [1-4]. Спочатку там інтегрують нелінійне диференціальне рівняння і визначають розподіл концентрації зерен по висоті сепарованого шару. Потім одержані числові результати використовують при інтегруванні рівняння руху для визначення кінематичних характеристик зернопотоку. Певні спрощення при розв'язанні цієї задачі зроблено в [5,6] уведенням аналітичної апроксимації розподілу пористості. Такий підхід створює можливість і аналітичного розв'язання рівняння руху. Спільним недоліком названих робіт є те, що в них не враховується залежність пористості суміші від швидкості її руху. На цей недолік існуючих моделей вказують і автори монографії [7]. Тому тут зроблена спроба усунути вказаний недолік. При розробці нової моделі тут також врахована зміна коефіцієнта



вібров'язкості суміші по товщині її шару, тобто йдеться про динаміку неоднорідної зерносуміші змінної вібров'язкості й пористості.

Метою статті є виведення та апробація розрахунками нових формул для обчислення кінематичних характеристик зернопотоку і

продуктивності віброрешета за змінної пористості й вібров'язкості по висоті рухомого сепарованого шару.

Викладення основного матеріалу. Використаємо розрахункову схему, подану на рис. 1.

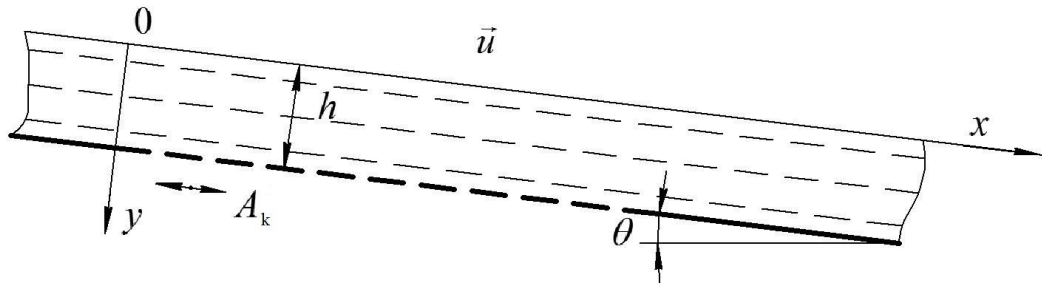


Рис. 1. Розрахункова схема

Тут h - товщина рухомого шару суміші; θ - кут нахилу решета до горизонту; A^* - амплітуда повздовжніх коливань решета з круговою частотою ω ; x, y - відповідно повздовжня і поперечна координати; $u = u(y)$ - швидкість усталеного зернопотоку в напрямі вісі Ox .

Відомо, що дотичне напруження в суміші $\tau = \tau(y)$ задовольняє диференціальному рівнянню [8, с. 170]:

$$\frac{d\tau}{dy} = -\gamma g \sin \theta \cdot v(y), \quad (1)$$

де γ - питома маса матеріалу зерен; g - прискорення вільного падіння; $v(y)$ - розподіл концентрації зерен по висоті рухомого шару суміші $y \in [0; h]$.

Прийmemo реологічну залежність дотичного напруження від швидкості деформацій зсуву в вигляді [8, с. 170]:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} - f \cdot p(y) \text{sign}(u), \quad (2)$$

де $\mu = \mu(y)$ - змінний по висоті рухомого шару ефективний динамічний коефіцієнт вібров'язкості зерносуміші; f - коефіцієнт залишкового сухого тертя; p - внутрішній надлишковий тиск у шарі сипкого матеріалу на поверхні решета.

Оскільки: $u \geq 0$; $\frac{dp}{dy} = \gamma g \cos \theta v(y)$

то підстановка (1) в (2) дає диференціальне рівняння:

$$\mu \frac{d^2 u}{dy^2} + \frac{d\mu}{dy} \frac{du}{dy} = -\gamma g (\sin \theta - f \cos \theta) \cdot v(y). \quad (3)$$

Воно описує рух, коли $\sin \theta - f \cos \theta > 0$.

Крайовими умовами до (3) приймаємо вирази:

$$u(h) = u_0; \quad \left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0} = 0, \quad (4)$$

де u_0 - швидкість ковзання суміші по поверхні решета.

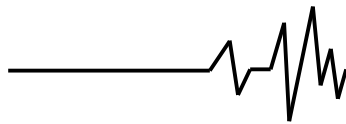
Побудуємо розв'язок рівняння (3) в припущенні, що мають місце залежності:

$$\begin{aligned} \mu(y) &= \mu_0 (1 + \beta y)^2; \\ v(y) &= v_* \frac{1 - \delta \cdot u(y)}{1 - \delta \cdot u_0}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тут μ_0 - ефективний динамічний коефіцієнт вібров'язкості на вільній поверхні псевдорозрідженої зерносуміші; v_* - концентрація зерен в суміші біля поверхні віброрешета; β, δ - позитивні коефіцієнти, що підлягають експериментальному визначенню.

Другий вираз в (5) запозичено з [8, с. 199].

Згідно з (5) вібров'язкість в шарі зерносуміші змінюється за квадратичним законом. Вона найменша біля вільної поверхні і найбільша біля поверхні решета.



У другому виразі в (5) припускаємо, що:
 $1 - \delta u(0) > 0$,

де $u(0) = \max u$. Оскільки $u(y)$ зростає зі зменшенням y , то найменшу концентрацію зерен $v(y)$ маємо на вільній поверхні суміші $y = 0$, тоді як там найбільша пористість $\varepsilon(y) = 1 - v(y)$.

Рівняння (3), з урахуванням (5), набуває вигляду:

$$\mu_0(1 + \beta y)^2 \frac{du}{dy} + 2\beta\mu_0(1 + \beta y) \frac{du}{dy} = -b(1 - \delta u), \quad (6)$$

$$\text{де } b = \frac{\gamma g v_* (\sin \theta - f \cos \theta)}{1 - \delta u_0} > 0.$$

Уведемо нову змінну $\xi = 1 + \beta y$. Тоді,

$$\frac{d}{dy} = \beta \frac{d}{d\xi} \quad \text{і замість (6) одержуємо більш компактне рівняння:}$$

$$\xi^2 \frac{d^2 u}{d\xi^2} + 2\xi \frac{du}{d\xi} - \frac{b\delta}{\beta^2 \mu_0} u = -\frac{b}{\beta^2 \mu_0}. \quad (7)$$

Воно є неоднорідним рівнянням Ейлера і його розв'язок шукаємо у вигляді суми:

$$u = \frac{1}{\delta} + v. \quad (8)$$

Підстановка (8) в (7) дає:

$$\xi^2 \frac{d^2 v}{d\xi^2} + 2\xi \frac{dv}{d\xi} - \frac{b\delta}{\beta^2 \mu_0} v = 0.$$

Щоб одержати відповідне характеристичне рівняння, приймаємо, що: $v = c\xi^k$, де c, k - сталі величини. Для такої форми розв'язку:

$$k(k-1) + 2k - \frac{b\delta}{\beta^2 \mu_0} = 0.$$

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{1}{\delta} (\xi_*^{k_1} - \xi^{k_1}) = \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \lim_{\delta \rightarrow 0} (\xi_*^{k_1} \ln \xi_* - \xi^{k_1} \ln \xi) = \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \ln \frac{1 + \beta h}{1 + \beta y},$$

то

$$u(y) = u_0 + \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \left(\frac{1}{1 + \beta h} - \frac{1}{1 + \beta y} + \ln \frac{1 + \beta h}{1 + \beta y} \right). \quad (12)$$

Коренями цього квадратного рівняння є:

$$k_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{b\delta}{\beta^2 \mu_0} + \frac{1}{4}} - \frac{1}{2}. \quad (9)$$

Тому загальний розв'язок рівняння (7) має вигляд:

$$u(y) = \frac{1}{\delta} + A\xi^{k_1} + B\xi^{k_2}, \quad (10)$$

де A, B - довільні сталі.

Підстановка розв'язку (10) в крайові умови (4) дає систему рівнянь:

$$A\xi_*^{k_1} + B\xi_*^{k_2} = u_0 - 1/\delta, \quad Ak_1 + Bk_2 = 0,$$

в яких $\xi_* = 1 + \beta h$.

Розв'язавши її, після підстановки знайдених A і B в (10), одержуємо формулу швидкості зернопотоку:

$$u(y) = \frac{1}{\delta} + \frac{u_0 - 1/\delta}{\Delta(\xi_*)} (k_1 \xi_*^{k_2} - k_2 \xi_*^{k_1}), \quad (11)$$

де $\Delta(\xi_*) = k_1 \xi_*^{k_2} - k_2 \xi_*^{k_1}$.

Ця формула втрачає чинність, внаслідок невизначеності, у двох окремих випадках: $\delta = 0$ і $\beta = 0$.

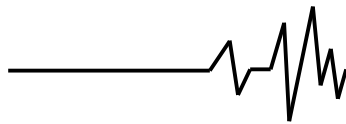
У першому з них, коли $\delta \rightarrow 0$, маємо:

$$k_1 \rightarrow \frac{b\delta}{\beta^2 \mu_0}; \quad k_2 \rightarrow -1;$$

$$u(y) = u_0 + \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{1}{\delta} \left[1 - \frac{k_1 \xi_*^{k_2} - k_2 \xi_*^{k_1}}{\Delta(\xi_*)} \right] = u_0 + \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{k_1 (\xi_*^{k_2} - \xi_*^{k_2}) - k_2 (\xi_*^{k_1} - \xi_*^{k_1})}{\delta \Delta(\xi_*)}$$

$$\text{Оскільки: } \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{k_1}{\delta} = \frac{b}{\beta^2 \mu_0}; \quad \lim_{\delta \rightarrow 0} \Delta(\xi_*) = 1,$$

а за правилом Лопітала:



Аналогічну формулу було виведено раніше в [9, с. 50] у припущенні, що $u_0 = 0$, $\beta \rightarrow 0$, маємо:

$$f = 0.$$

$$k_{1,2} \rightarrow \pm \frac{b_*}{\beta}; b_* = \sqrt{\frac{b\delta}{\mu_0}}; \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{k_1}{k_2} = -1; \lim_{\beta \rightarrow 0} \xi^{k_2} = \lim_{\beta \rightarrow 0} (1 + \beta y)^{-\frac{b_*}{\beta}} = \lim_{\beta \rightarrow 0} \exp\left[-\frac{b_*}{\beta} \ln(1 + \beta y)\right] = \exp(-b_* y); \lim_{\beta \rightarrow 0} \xi^{k_2} = \exp(b_* y).$$

Тому:

$$u(y) = \frac{1}{\delta} + \left(u_0 - \frac{1}{\delta}\right) \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{\xi^{k_2} - \frac{k_2}{k_1} \xi^{k_1}}{\xi_*^{k_2} - \frac{k_2}{k_1} \xi_*^{k_1}} = \frac{1}{\delta} + \left(u_0 - \frac{1}{\delta}\right) \frac{\exp(b_* y) + \exp(-b_* y)}{\exp(b_* h) + \exp(-b_* h)} \quad \text{або:}$$

$$u(y) = \frac{1}{\delta} + \left(u_0 - \frac{1}{\delta}\right) \frac{ch(b_* y)}{ch(b_* h)}. \quad (13)$$

Цю формулу було раніше одержано в [5, с. 200], при розгляді руху суміші сталої вібров'язкості.

Із (11), впливає більш проста формула максимальної швидкості зернопотоку:

$$\max u = u(0) = \frac{1}{\delta} + \frac{u_0 - 1/\delta}{\Delta(\xi_*)} (k_1 - k_2).$$

Для суміші сталої пористості, коли $\delta = 0$, вона приймає вигляд:

$$\max u = u(0) = u_0 + \frac{b}{\beta_2 \mu_0} \left[\frac{1}{1 + \beta h} - 1 + \ln(1 + \beta h) \right].$$

У граничному випадку $\delta = 0$ вираз (15) набуває вигляд:

$$u_{cp} = u_0 + \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \left[1 + \frac{1}{1 + \beta h} - \frac{2}{\beta h} \ln(1 + \beta h) \right].$$

Його нескладно одержати, якщо врахувати, що:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{k_1 \xi_*^{k_2}}{\delta} = \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \frac{1}{1 + \beta h};$$

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \left[\frac{k_1}{\delta} \frac{1}{k_2 + 1} \frac{(\xi_*^{k_2+1} - 1)}{\delta} \right] = \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \ln(1 + \beta h); \quad (16)$$

Його одержуємо з (12), поклавши там $y = 0$.

Якщо суміш має сталий коефіцієнт вібров'язкості, то згідно з (13):

$$\max u = u(0) = \frac{1}{\delta} + \frac{u_0 - 1/\delta}{ch(b_* h)}.$$

Завдяки аналітичному розв'язку задачі динаміки, можна одержати компактні формули і для розрахунку середньої швидкості зернопотоку [9, с. 24]:

$$u_{cp} = \frac{1}{h} \int_0^h u(y) dy. \quad (14)$$

Підстановка (11) в (14), з подальшим аналітичним інтегруванням, дають:

$$u_{cp} = \frac{1}{\delta} + \frac{u_0 - 1/\delta}{\beta h \Delta(\xi_*)} \left[\frac{k_1}{k_2 + 1} (\xi_*^{k_2+1} - 1) - \frac{k_2}{k_1 + 1} (\xi_*^{k_1+1}) \right]. \quad (15)$$

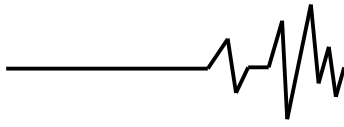
$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \left\{ \frac{k_2}{\delta} \left[\frac{1}{k_1 + 1} (\xi_*^{k_1+1} - 1) - \beta h \xi_*^{k_1} \right] \right\} =$$

$$= -\lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\frac{1}{k_1 + 1} \frac{\xi_*^{k_1} - 1}{\delta} \right) + \beta h \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{k_1 \xi_*^{k_1}}{\delta (k_1 + 1)} =$$

$$= -\frac{b}{\beta^2 \mu_0} \ln(1 + \beta h) + \frac{bh}{\beta \mu_0}.$$

У другому граничному випадку, коли $\beta = 0$, вираз (15) одержує форму:

$$u_{cp} = \frac{1}{\delta} + \frac{(u_0 - 1/\delta)}{b_* h} th(b_* h).$$



До неї призводить те, що

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \xi_*^{k_2+1} = \lim_{\beta \rightarrow 0} \xi_*^{k_2} = \exp(-b_* h);$$

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \xi_*^{k_1+1} = \lim_{\beta \rightarrow 0} \xi_*^{k_1} = \exp(b_* h);$$

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{k_1}{k_2 + 1} = \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{k_2}{k_1 + 1} = -1;$$

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} [\beta \Delta(\xi_*)] = 2b_* ch(b_* h). \quad (17)$$

Зупинимось далі на обчисленні масової продуктивності решета P по сходовій функції, що подається інтегралом:

$$P = H\gamma \int_0^h u(y)v(y)dy, \quad (18)$$

де H – ширина робочої (перфорованої) частини решета.

Підстановка виразів (5) і (11) в (18), та подальше аналітичне інтегрування, дають:

$$P = \frac{H\gamma v_*}{\beta \Delta(\xi_*)} \left\{ \frac{1}{\delta} \left[\frac{k_1}{k_2 + 1} (\xi_*^{k_2+1} - 1) - \frac{k_2}{k_1 + 1} (\xi_*^{k_1+1} - 1) \right] + \frac{u_0 - 1/\delta}{\Delta(\xi_*)} \times \right. \\ \left. \times \left[\frac{k_1^2}{2k_2 + 1} (\xi_*^{2k_2+1} - 1) + \frac{2b\delta}{\beta^2 \mu_0} \ln(1 + \beta h) + \frac{k_2^2}{2k_1 + 1} (\xi_*^{2k_1+1} - 1) \right] \right\}. \quad (19)$$

Формула (19) втрачає чинність, коли $\delta = 0$ або $\beta = 0$. Тому окремо розглянемо ці випадки.

Якщо $\delta = 0$, то:

$$P = \gamma v_* H h \left\{ u_0 + \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \left[1 + \frac{1}{1 + \beta h} - \frac{2}{\beta h} \ln(1 + \beta h) \right] \right\}.$$

Цю формулу можна одержати граничним переходом в (19), враховуючи, що:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{(-1)}{\delta} \left[\left(k_1 \xi_*^{k_2} - k_2 \xi_*^{k_1} \right) \frac{k_2}{k_1 + 1} (\xi_*^{k_1+1} - 1) + \frac{k_2^2}{2k_1 + 1} (\xi_*^{2k_1+1} - 1) \right] = \\ = \frac{b}{\beta^2 \mu_0} \left[\frac{\beta h}{1 + \beta h} + \beta h - \ln(1 + \beta h) \right]$$

та границі в (16).

У випадку, коли $\beta = 0$, відповідний граничний перехід в (19) дає:

$$P = \frac{H\gamma v_*}{b_* ch(b_* h)} \left\{ \frac{1}{\delta} sh(b_* h) + \frac{u_0 - 1/\delta}{4ch(b_* h)} [2b_* h + sh(b_* h)] \right\}.$$

До цієї залежності призводить використання границь з (17).

Отже, продуктивність віброрешета по сходовій функції, як і швидкості зернопотоку, в розглянутій тут моделі, виражаються через елементарні функції.

Проаналізуємо результати розрахунків. Для проведення їх задавали: $\gamma = 1350$ $кг/м^3$; $\theta = 8^\circ$; $h = 0,012$ $м$; $u_0 = 0,04$

$м/с$; $v_* = 0,6$ та різні значення: μ_0 , f , β , δ .

Одержані профілі швидкості й профілі пористості суміші при $\mu_0 = 0,06$ $Па \cdot с$; $f = 0,08$; $\delta = 2$ $с/м$ та різних β зображено на рис 2. і рис. 3.

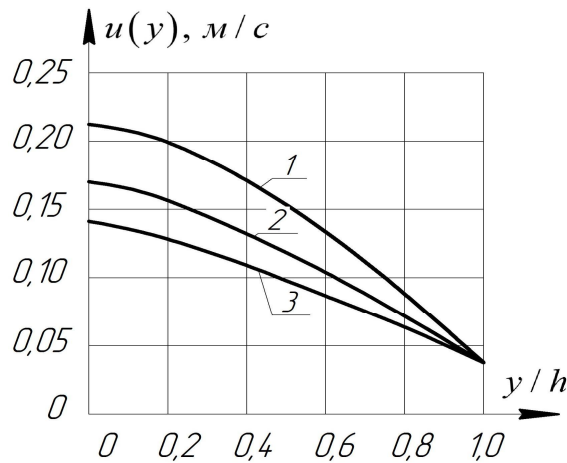
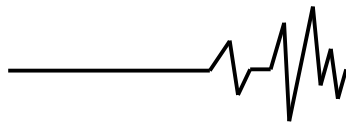


Рис. 2. Профілі швидкості при різних β :
 1 – $\beta = 70 \text{ м}^{-1}$; 2 – $\beta = 120 \text{ м}^{-1}$;
 3 – $\beta = 170 \text{ м}^{-1}$

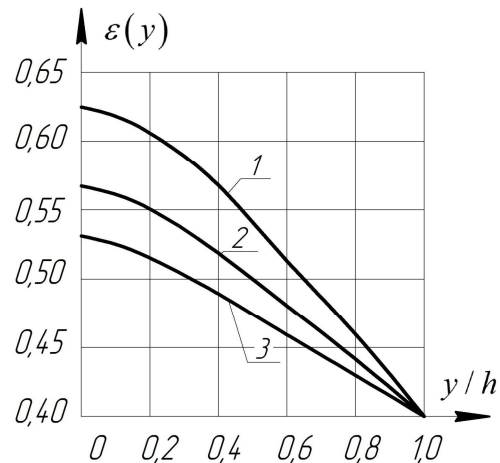


Рис. 3. Профілі пористості при різних β :
 1 – $\beta = 70 \text{ м}^{-1}$; 2 – $\beta = 120 \text{ м}^{-1}$;
 3 – $\beta = 170 \text{ м}^{-1}$

Графіки монотонні, випуклі, причому більшим $u(y)$ відповідають і більші $\varepsilon(y)$, що узгоджується з (5). Графіки мають горизонтальні дотичні при $y = 0$, внаслідок виконання другої граничної умови в (4)

Результати обчислень $u(y)$ і $\varepsilon(y)$ при $\mu_0 = 0,06 \text{ Па} \cdot \text{с}$; $f = 0,08$; $\beta = 100 \text{ 1/м}$ і різних δ записано в табл. 1.

Таблиця 1

Значення $u(y)$ і $\varepsilon(y)$ при різних δ і y

$\frac{y}{h}$	$\delta = \frac{1}{2}, \frac{c}{m}$	$\delta = 1, \frac{c}{m}$	$\delta = 2, \frac{c}{m}$	$\delta = \frac{1}{2}, \frac{c}{m}$	$\delta = 1, \frac{c}{m}$	$\delta = 2, \frac{c}{m}$
	Значення $10u(y)$ м/с			Значення $10\varepsilon(y)$		
0,0	2,19	2,06	1,84	4,55	5,04	5,88
0,2	2,03	1,92	1,72	4,50	4,95	5,73
0,4	1,70	1,61	1,46	4,40	4,76	5,39
0,6	1,29	1,23	1,14	4,27	4,52	4,96
0,8	0,85	0,82	0,78	4,14	4,26	4,49

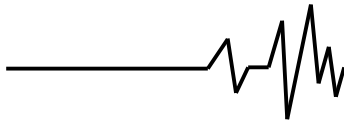
Зі збільшенням δ зменшується розрахункова швидкість суміші, особливо біля вільної поверхні, тоді як там зростає пористість сипкого матеріалу.

Про вплив реологічних сталих на масову продуктивність віброрешета по сходовій фракції надана інформація в табл. 2. Обчислення проводили при $\delta = 2 \text{ с/м}$.

Таблиця 2

Розрахункові продуктивності віброрешета

$\mu_0, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\beta, \frac{1}{m}$	f	$v_* = 0,4$	$v_* = 0,5$	$v_* = 0,6$
			Значення $10 P/H, \text{кг}/(\text{мс})$		
0,04	50	0,03	6,58	8,35	9,99
0,04	50	0,08	5,65	7,61	9,55
0,04	100	0,03	5,75	7,66	9,58
0,04	100	0,08	4,38	6,15	8,01
0,06	50	0,03	6,04	7,98	9,86
0,06	50	0,08	4,69	6,55	8,48
0,06	100	0,03	4,86	6,72	8,62
0,06	100	0,08	3,40	4,92	6,57



Висновки. Виведені тут формули узагальнюють одержані раніше результати для розрахунку руху суміші змінної вібров'язкості або змінної пористості. Розрахунки показали, що від значень реологічних констант суттєво залежить теоретична швидкість зернопотоку, а від пористості суміші – також продуктивність віброрешета по сходовій фракції. Константи моделі суттєво впливають на її адекватність, тому бажано проводити ідентифікацію цих констант.

Список використаних джерел

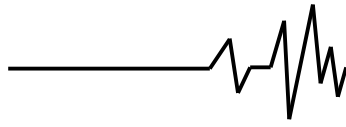
1. Тищенко Л.Н. К исследованию движения зерновой смеси на решетке под действием вибраций / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень // Науковий вісник НАУ, – Київ: НАУ, 2002. – Вип. 49. – С. 329–336.
2. Пивень М.В. Обоснование параметров процесса решетного сепарирования зерновых смесей: дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / М.В. Пивень – Харьков: ХНТУСХ им. П. Василенко, 2006. – 260 с.
3. Тищенко Л.Н. Исследование полойного движения зерновых смесей на плоских вибрационных решетках / Л.Н. Тищенко, А.В. Миняйло, М.В. Пивень, С.А. Харченко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 59. Т1. – С. 69–76.
4. Тищенко Л.Н. Экспериментальные исследования внутрислоевых процессов в плоскорешетных вибрационных сепараторах / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2015. – № 4 (80). – С. 206–211.
5. Ольшанський В.П. Про рух зерноsumіші змінної пористості на плоскому віброрешеті / В.П. Ольшанський, О.В. Ольшанський // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Харків, 2016. – № 2 (2). – С. 61–65.
6. Ольшанський В.П. Про нелінійну модель руху зерноsumіші змінної пористості по плоскому віброрешету / В.П. Ольшанський, В.В. Бурлака, М.В. Сліпченко, С.О. Харченко // Механізація та автоматизація виробничих процесів: Вісник СНАУ. – Суми: СНАУ, 2016. – Вип. 10/ 1 (29). – С. 107 – 112.
7. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. – М.: Машиностроение, 2005. – 73 с.
8. Ольшанський В.П. Континуальні моделі зернопотоків по віброрешетах / В.П.

Ольшанський, О.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2017. – 224 с.

9. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанський, С.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2011. – 280 с.

Список джерел в транслітерації

1. Tischenko L.N. K issledovaniyu dvizheniya zernovoy smesi na reshete pod deystviem vibratsiy / L.N. Tischenko, M.V. Piven // Naukoviy visnik NAU, – Kiyiv: NAU, 2002. – Vip. 49. – S. 329–336.
2. Piven M.V. Obosnovanie parametrov protsessa reshetnogo separirovaniya zernovih smesey: dis. kand. tehn. nauk: 05.05.11 / M.V. Piven – Harkov: HNTUSH im. P. Vasilenko, 2006. – 260 s.
3. Tischenko L.N. Issledovanie posloynogo dvizheniya zernovih smesey na ploskih vibratsionnyih reshetah / L.N. Tischenko, A.V. Minyaylo, M.V. Piven, S.A. Harchenko // Mehanizatsiya sllskogospodarskogo virobnitstva: Visnik HNTUSG. – Harkiv: HNTUSG, 2007. – Vip. 59. T1. – S. 69–76.
4. Tischenko L.N. Eksperimentalnyie issledovaniya vnutrisloevyih protsessov v ploskoreshetnyih vibratsionnyih separatorah / L.N. Tischenko, M.V. Piven // Vibratsiyi v tehntsi ta tehnologiyah. – Vinnitsya, 2015. - № 4 (80). – S. 206-211.
5. Olshanskiy V.P. Pro ruh zernosumishi zmlnnoyi poristosti na ploskomu vibroresheti / V.P. Olshanskiy, O.V. Olshanskiy // Inzheneriya pererobnih i harchovih virobnitstv. – Harkiv, 2016. – № 2 (2). – S. 61–65.
6. Olshanskiy V.P. Pro nelineynu model ruhu zernosumlshl zminnoyi poristosti po ploskomu vibroreshetu / V.P. Olshanskiy, V.V. Burlaka, M.V. Slipchenko, S.O. Kharchenko // Mehanizatsiya ta avtomatizatsiya virobnychih protsesiv: Visnik SNAU. – Sumi: SNAU, 2016. – Vip. 10/ 1 (29). – S. 107 – 112.
7. Dolgunin V.N. Byistryie gravitatsionnyie techeniya zernistyih materialov: tehnika izmereniya, zakonomernosti, tehnologicheskoe primenenie / V.N. Dolgunin, V.Ya. Borschev. – M.: Mashinostroenie, 2005. – 73 s.
8. Olshanskiy V.P. Kontinualni modeli zernopotokiv po vibroreshetah / V.P. Olshanskiy, O.V. Olshanskiy. – Harkiv: Miskdruk, 2017. – 224 s.
9. Tischenko L.N. Vibroreshetnaya separatsiya zernovyih smesey / L.N. Tischenko, V.P. Olshanskiy, S.V. Olshanskiy. – Harkiv: Miskdruk, 2011. – 280 s.



О ДВИЖЕНИИ СЛОЯ ЗЕРНОСМЕСИ НА ПЛОСКОМ ВИБРОРЕШЕТЕ

Аннотация. С использованием трехпараметрической реологической зависимости выведены замкнутые формулы для вычисления скорости зерно потока и массовой производительности виброрешета по сходовой фракции. Как и в других континуальных моделях, движения виброразрезанного сыпучего материала для касательного напряжения в мелкозернистой смеси принята зависящая от скорости деформаций сдвига и остаточного сухого трения. Последнее принято пропорциональным внутреннему избыточному давлению в смеси. Неоднородность мелкозернистой смеси по толщине ее подвижного слоя характеризуется сменными пористостью, или удельной массой, и динамическим коэффициентом вибровязкости. Распределение концентрации зерен по высоте слоя связана со скоростью движения сдвига, так что максимальной скорости движения, которая имеет место у свободной поверхности, соответствует наибольшая пористость, а наименьшей скорости, имеющей место у поверхности решета - наименьшая пористость. В предположении квадратичного изменения эффективного коэффициента вибровязкости псевдоразрезанной смеси по высоте ее слоя, составлено дифференциальное уравнение второго порядка с переменными коэффициентами относительно скорости движения. Это уравнение типа Эйлера, имеет аналитическое решение. В итоге через элементарные функции выражена скорость зерно потока и массовая производительность виброрешета по сходовой фракции. Показано, что с выведенных формул предельным переходом можно получить, для отдельных случаев, известные результаты. На числовых примерах исследовано влияние различных факторов на распределение пористости и на кинематические характеристики зерно потока.

Ключевые слова: плоское наклоненное виброрешето, переменная пористость, переменный коэффициент вибровязкости, скорость зерно потока, производительность виброрешета.

ABOUT THE MOTION OF A GRAIN MIXTURE ON A FLAT VIBROSIEVE

Annotation. With the use of three-parameter rheological dependence, closed formulas are derived for calculating the velocity of the grain flow and the mass productivity of the vibrosieve. As in other continuum models, the motion of the vibrated material for shear stress in a fine-grained mixture is adopted as a function of the shear strain rate and residual dry friction. The last is taken as proportional to the internal excess pressure in the mixture. The heterogeneity of the fine-grained mixture over the thickness of its movable layer is characterized by a changeable porosity, or specific gravity, and a dynamic coefficient of vibro-viscosity. The distribution of the concentration of grains over the height of the layer is related to the shear rate, so that the maximum velocity of motion that occurs at the free surface corresponds to the greatest porosity, and the smallest velocity that occurs at the sieve surface is the smallest porosity. Under the assumption of a quadratic change in the effective coefficient of vibro-viscosity of a pseudo-sparse mixture over the height of its layer, a second-order differential equation with variable coefficients relative to the velocity of motion is compiled. This Euler's type equation has an analytical solution. As a result, through elementary functions, the velocity of the grain flow and the mass productivity of the vibrosieve along the converging fraction are expressed. It is shown that from the derived formulas using limiting transition can be obtained, for individual cases, known results. Numerical examples have been used to study the effect of various factors on the porosity distribution and kinematic characteristics of the grain flow.

Key words: flat inclined vibrosieve, variable porosity, variable rate vibroviscosity, velocity of grain flow, productivity of vibrosieve.