

Application of periodic alternation of cycles of satiation and dispersion of the nitrated layer allowed not only to accelerate the process of diffusive satiation but also control it. Periodic alternation of cycles of satiation and dispersion of the nitrated layer at the maximally possible decline of saturant ability of atmosphere in the conditions of cyclic change of temperature promotes the coefficient of diffusion.

Effective technology of the ionic nitriding of aluminium alloys is developed in thick layers to 20 mkm with providing of forming of homogeneous, firmly coupled with basis layers on all of details of party.

**auto-tractor engines, piston heads, vacuum nitriding in a pulsating plasma beam**

Одержано 14.11.17

**УДК 631.362:532**

**В.П. Ольшанський, проф., д-р ф.-м. наук, С.О. Харченко, доц., канд. техн. наук**  
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна, E-mail: kharchenko\_mtf@ukr.net*

## До розрахунку зернопотоку суміші змінної пористості по плоскому віброрешету

На підставі континуальної моделі вібророзрідженого сипкого середовища виведено й апробовано розрахунками замкнені формули для наближеного обчислення швидкості зернопотоку і продуктивності плоского віброрешета, нахиленого до горизонту, при русі по ньому шару дрібнозернистої суміші змінної пористості або питомої маси. В основу теоретичної моделі покладено двопараметричну реологічну залежність, де, крім лінійного в'язкого опору деформації зсуву, врахована наявність у вібророзрідженій суміші залишкового сухого тертя, яке прийнято пропорційним надлишковому внутрішньому тиску. Розподіл концентрації зернівок по товщині рухомого шару сепарованого матеріалу апроксимовано квадратним трьохчленом, коефіцієнти якого залежать від амплітуди і частоти коливань віброрешета та стану його робочої поверхні (наявності ребер, рифлів, тощо). У ході проведених розрахунків досліджено вплив різних чинників на основні кінематичні характеристики зернопотоку. На відміну від відомих досліджень з даної тематики, запропонований тут спосіб розрахунку не потребує числового комп'ютерного інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку.

**плоске нахилене віброрешето, усталений зернопотік, змінна пористість, лінійно-в'язкий опір, залишкове сухе тертя, квадратний трьохчлен, швидкість руху, продуктивність решета**

**В.П. Ольшанский, проф., д-р ф.-м. наук, С.А. Харченко, доц., канд. техн. наук**  
*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г.Харьков, Украина*

## К расчету зернопотока смеси переменной пористости по плоскому виброрешету

На основе континуальной модели виброоживленной сыпучей среды выведено и апробировано расчетами замкнутые формулы для приближенного вычисления скорости зернопотока и производительности плоского виброрешета, наклоненного к горизонту, при движении по нему слоя мелкозернистой смеси переменной пористости или плотности. В теоретическую модель заложено двухпараметрическую реологическую зависимость, где, кроме линейного вязкого сопротивления сдвигу, учтено наличие в виброоживленной смеси остаточного сухого трения, которое принято пропорциональным избыточному внутреннему давлению. Распределение концентрации зерен по толщине движущегося слоя сепарированного материала аппроксимировано квадратным трехчленом, коэффициенты которого зависят от амплитуды и частоты колебаний виброрешета и состояния его рабочей поверхности (наличия ребер, рифлей и пр.). В ходе проведенных расчетов исследовано влияние различных факторов на основные кинематические характеристики зернопотока. В отличие от известных исследований по данной тематике, предложенный здесь способ расчета не требует численного компьютерного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка.

© В.П. Ольшанський, С.О. Харченко, 2017

плоское наклоненное виброрешето, установившийся зернопоток, переменная пористость, линейно-вязкое сопротивление, остаточное сухое трение, квадратный трехчлен, скорость движения, производительность решета

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** При математичному моделюванні руху шару дрібнозернистої суміші по плоскому виброрешету в роботах [1-5] розв'язують дві задачі. Перша – це розрахунок розподілу концентрації зернівок по товщині рухомого шару, який проводять числовим інтегруванням на комп'ютері нелінійного диференціального рівняння другого порядку. Одержаний розподіл у вигляді масиву чисел потім використовують у другій задачі при числовому інтегруванні рівняння руху, щоб визначити швидкість зернопотоку, продуктивність виброрешета та питома його завантаження. Тут пропонується більш пр

остий спосіб розрахунку кінематичних характеристик зернопотоку, який не потребує числового інтегрування диференціальних рівнянь. Запропонована апроксимація розподілу концентрації зернівок по товщині рухомого шару зерносуміші квадратним трьохчленом дає можливість одержати аналітичний розв'язок диференціального рівняння руху і внаслідок цього отримати наближені замкнені компактні розрахункові формули.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка та апробація наближеного аналітичного способу обчислення кінематичних характеристик зернопотоку при усталеному русі шару сепарованого матеріалу по плоскому виброрешету, нахиленому до горизонту.

**Виклад основного матеріалу.** При викладенні матеріалу статті використовуємо розрахункову схему, подану на рис. 1.

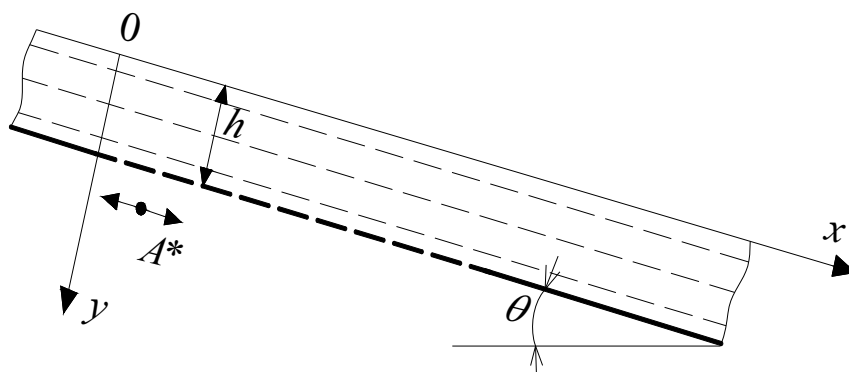


Рисунок 1 – Розрахункова схема руху шару зернової суміші на плоскому виброрешеті

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

Концентрацію зернівок  $v = v(y)$  в роботах [1-5] знаходять числовим інтегруванням наступної задачі Коші:

$$\frac{d}{dy} \left[ \alpha \psi \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \right] - \gamma g \cos \theta v = 0; \quad (1)$$

$$v(0) = v_0; \quad \frac{d}{dy} \left[ \alpha \psi \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \right] - \gamma g \cos \theta v = 0.$$

$$\text{При цьому } \psi = \frac{\sqrt{1 + \varphi^2} - \varphi}{\varphi}; \quad \varphi = \frac{f_0}{2} (1 + e^{-B}); \quad B = \frac{A^* \omega^2}{g};$$

$f_0$  – коефіцієнт внутрішнього сухого тертя в суміші в стані спокою;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\gamma$  – питома маса матеріалу зернини;

$\alpha$  – феноменологічна стала, значення якої залежать від наявності на поверхні решета ребер, рифлів, тощо;

$v_0$  – концентрація зернівок біля вільної поверхні шару  $y = 0$ .

Аналіз числових результатів, одержаних інтегруванням рівняння (1), показав, що функцію  $v(y)$  можна наблизити квадратним трьохчленом [6, 7]:

$$v = v(y) = v_0 + \frac{a}{h} y + \frac{b}{h^2} y^2, \quad (2)$$

$$\text{де } a = 0,3483 v_0 \left( \frac{\beta h^3}{v_0} \right)^{0,5263}; \quad b = 0,6797 v_0 \left( \frac{\beta h^3}{v_0} \right)^{0,5263}; \quad \beta = \frac{\gamma g \cos \theta}{2\alpha \psi}.$$

Для значень параметрів, що відповідають практиці сепарування, похибка апроксимації (2) знаходиться в межах одного відсотка.

Отже, далі, замість числового інтегрування рівняння (1), використовуємо наближення (2).

Щоб знайти швидкість усталеного зернопотоку, проінтегруємо диференціальне рівняння руху:

$$\frac{du}{dy} = -\frac{\gamma g}{\mu} (\sin \theta - f \cdot \cos \theta) \int_0^y v(t) dt, \quad (3)$$

при умові, що

$$u(h) = u_0. \quad (4)$$

Тут  $\mu, f$  – реологічні сталі, що характеризують відповідно в'язке і залишкове сухе тертя у вібророзрідженій суміші при її зсуві;  $u_0$  – швидкість ковзання суміші по поверхні решета.

Розв'язок задачі Коші, поданої виразами (3) і (4), має вигляд:

$$u = u(y) = 2c \int_y^h \left( \int_0^y v(t) dt \right) dy + u_0, \quad (5)$$

$$\text{де } c = \frac{\gamma g (\sin \theta - f \cdot \cos \theta)}{2\mu}.$$

Підставивши в (5) вираз (2), інтегруванням виводимо формулу швидкості зернопотоку:

$$u(y) = c \left[ v_0 (h^2 - y^2) + \frac{a}{3h} (h^3 - y^3) + \frac{b}{6h^2} (h^4 - y^4) \right] + u_0. \quad (6)$$

При  $a = b = 0$ ,  $\gamma v_0 = \rho$  залежність (6) переходить у ту, що одержали раніше в [8, форм. (2.4)], для однорідної суміші.

Згідно з (6), максимальна швидкість зернопотоку подається виразом:

$$\max u = u(0) = c \cdot h^2 \left( v_0 + \frac{a}{3} + \frac{b}{6} \right),$$

а значення середньої швидкості  $u_{cp}$  становить:

$$u_{cp} = \frac{1}{h} \int_0^h u(y) dy = c \cdot h^2 \left( \frac{2}{3} v_0 + \frac{a}{4} + \frac{2b}{15} \right).$$

Для обчислення продуктивності решета  $P$  підставимо в інтеграл

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

вирази (2) і (6). Це дає:

$$P = \gamma H h \left\{ u_0 \left( v_0 + \frac{a}{2} + \frac{b}{3} \right) + c \cdot h^2 \left[ v_0 \left( \frac{2}{3} v_0 + \frac{a}{2} + \frac{4b}{15} \right) + \frac{a}{4} \left( \frac{2a}{5} + \frac{4b}{9} \right) + \frac{2b^2}{63} \right] \right\}. \quad (7)$$

Тут  $H$  ширина робочої частини решета.

Таким чином, розрахунок основних кінематичних характеристик зернопотоку зводиться до використання компактних розрахункових формул.

З метою апробації виведених формул проведено розрахунки при  $A^* = 0,0075$  м;  $\omega = 41,86$  с<sup>-1</sup>;  $\theta = 8^\circ$ ;  $\gamma = 1350$  кг/м<sup>3</sup>;  $f_0 = 0,47$ ;  $u_0 = 0$ ;  $h = 0,01$  м та різних  $v_0, \mu, f$ . Обчислені по формулі (6) значення  $u(y)$  при  $\mu = 0,1$  Па·с;  $f = 0,05$  та різних  $v_0$  і  $y$  записано в чисельники в табл. 1.

Таблиця 1 – Обчислені двома способами значення швидкості зернопотоку при різних  $v_0$  і  $y$

$y/h$	$v_0 = 0,3$	$v_0 = 0,4$	$v_0 = 0,5$
	Значення $10 \cdot u(y)$ , м/с		
0,0	<u>1,944</u>	<u>2,561</u>	<u>3,176</u>
	1,939	2,556	3,170
0,1	<u>1,926</u>	<u>2,537</u>	<u>3,146</u>
	1,921	2,532	3,140
0,2	<u>1,872</u>	<u>2,465</u>	<u>3,056</u>
	1,867	2,460	3,050
0,3	<u>1,781</u>	<u>2,344</u>	<u>2,905</u>
	1,777	2,340	2,900
0,4	<u>1,651</u>	<u>2,173</u>	<u>2,691</u>
	1,648	2,169	2,687
0,5	<u>1,483</u>	<u>1,950</u>	<u>2,414</u>
	1,481	1,947	2,411
0,6	<u>1,274</u>	<u>1,674</u>	<u>2,071</u>
	1,272	1,672	2,069
0,7	<u>1,023</u>	<u>1,343</u>	<u>1,661</u>
	1,022	1,342	1,659
0,8	<u>0,729</u>	<u>0,955</u>	<u>1,180</u>
	0,728	0,954	1,179

У знаменниках вказано  $u(y)$ , одержані по формулі (9), що в роботі [9]. Розбіжності відповідних значень швидкості в чисельниках і знаменниках несуттєві. Це підтверджує вірогідність формули (6).

Результати обчислень  $P$  по формулі (7) при  $v_0 = 0,4$  та різних  $\mu$  і  $f$  записано в чисельниках у табл. 2. У знаменниках вказано  $P$ , які було одержано іншим способом у роботі [9], Малі розбіжності результатів підтверджують вірогідність формули (7).

Записані в табл. 2 значення продуктивності решета суттєво залежать від значень реологічних сталих.

Таблиця 2 – Обчислені двома способами значення продуктивності решета при різних  $\mu$  і  $f$

$\mu$ , Па·с	$f = 0,03$	$f = 0,05$	$f = 0,07$
	Значення $P/H$ , кг/(м·с)		
0,1	<u>1,244</u>	<u>1,019</u>	<u>0,794</u>
	1,240	1,015	0,791
0,12	<u>1,037</u>	<u>0,849</u>	<u>0,661</u>
	1,033	0,846	0,659
0,14	<u>0,888</u>	<u>0,728</u>	<u>0,567</u>
	0,886	0,725	0,565
0,16	<u>0,777</u>	<u>0,637</u>	<u>0,496</u>
	0,775	0,635	0,494

**Висновки.** Розглянутий тут спосіб аналітичного розрахунку зернопотоку суміші по плоскому віброрешету, з урахуванням зміни пористості по товщині рухомого шару, може бути альтернативою іншим відомим методам розрахунку. Він досить точний і простий у реалізації, оскільки зводиться до використання компактних розрахункових формул.

## Список літератури

1. Тищенко, Л.Н. К исследованию движения зерновой смеси на решете под действием вибраций [Текст] / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 2002. – Вип. 49. – С. 329-336.
2. Пивень, М.В. Обоснование параметров процесса решетного сепарирования зерновых смесей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / М.В. Пивень. – Харьков: ХНТУСХ им. П. Василенко, 2006. – 260 с.
3. Тищенко, Л.Н. Исследование послыоного движения зерновых смесей на плоских вибрационных решетках [Текст] / Л.Н. Тищенко, А.В. Миняйло, М.В. Пивень, С.А. Харченко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 59. Т. 1. – С. 69-76.
4. Тищенко, Л.Н. К применению методов механики сплошных сред для описания движения зерновых смесей на виброрешетах [Текст] / Л.Н. Тищенко, С.О. Харченко // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2013. – Vol. 15, № 7. – P. 94-99.
5. Tishchenko, L. Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators [Text] / L. Tishchenko, S. Kharchenko, F.Kharchenko, V. Bredykhin, O. Tsurkan // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. – Т.2.№7(80). – P.63-69.
6. Ольшанський, В.П. Апроксимація розподілу пористості в шарі зерноsumіші на плоскому віброрешеті [Текст] / В.П. Ольшанський, С.В. Ольшанський, М.В. Любін // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2016. – № 2 (82). – С. 94-99.
7. Ольшанський, В.П. Про квадратичну апроксимацію розподілу питомої маси в шарі вібросепарованої зерноsumіші [Текст] / В.П. Ольшанський, О.В. Ольшанський // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Харків, 2016. – № 2 (2). – С. 66-70.

8. Ольшанський, В.П. Математичні моделі зернопотоків по віброрешетах [Текст] / В.П. Ольшанський, О.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2016. – 140 с.
9. Ольшанський, В.П. Про рух зерноsumіші змінної пористості на плоскому віброрешеті [Текст] / В.П. Ольшанський, О.В. Ольшанський // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Харків, 2016. – № 2 (2). – С. 61-65.

**Vasily Olshansky, Prof., Dsc., Sergey Kharchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine*

### **To calculation of grain mixture stream of variable porosity on the flat vibrosieve**

On the basis of continual model of the vibrofluidized friable environment it is shown out and approved by calculations the reserved formulas for the close calculation of speed of grain stream and productivity of the flat vibrosieve inclined to horizon, at motion on it layer of fine-grained mixture of variable porosity or density.

Two-parameter rheological dependence is stopped up in a theoretical model, where, except linear viscid resistance to the change, a presence is taken into account in the vibrofluidized mixture of remaining dry friction that is accepted by proportional to surplus internal pressure. Distribution of concentration of grains on thickness of a moving layer of the separated material is approximated by a square trinomial, which coefficients depend on amplitude and the frequency of fluctuations of a vibrosieve and a condition of its working surface (presences of ribs, rifles, etc.). During the conducted calculations, influence of different factors is investigational on basic kinematics descriptions of grain stream.

Unlike well-known researches on this subjects, an offer here method of calculation does not require numeral computer integration of nonlinear differential equalizations the second order.

**the flat inclined vibrosieve, the steady grain flow, variable porosity, linear- viscous resistance, residual dry friction, square trinomial, the speed of motion, the productivity of sieve**

Одержано 08.11.17

**УДК 621.57**

**В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук, С.М. Анастасенко, канд. техн. наук, М.В. Святецький, канд. техн. наук, І.А. Капура, канд. техн. наук**

*Первомайська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна, E-mail: oshovskyikt@ukr.net*

## **Енергозберігаючі зразкові цикли для охолоджуючих термотрансформаторів**

В статті проаналізована енергетична ефективність циклу Лоренца залежно від інтервалу температур робочого тіла в процесах теплообміну з зовнішніми джерелами. Також доведено, що термодинамічний цикл зі ступінчастою регенерацією тепла найбільш ефективний для охолодження у найбільшому температурному інтервалі, тобто при охолодженні потоку речовини від температури навколишнього середовища. Окрім того, при збільшенні числа ступіней регенерації тепла, наприклад в ресорбційних термотрансформаторах, значно зменшується інтервал температур робочого тіла в процесі відведення тепла у навколишнє середовище. Це сприяє наближенню циклу до трикутного, тобто з найменшою витратою енергії на стиск робочого тіла. Впровадження циклу зі ступінчастою регенерацією тепла, який можна реалізувати у ресорбційних охолоджуючих термотрансформаторах, буде сприяти енергозбереженню в технологіях охолодження потоків речовин у різних галузях, в тому числі і в сільському господарстві.

**термотрансформатор, трикутний, цикл, охолодження, ступінчастий, регенерація, тепло**

© В.Я. Ошовський, С.М. Анастасенко, М.В. Святецький, І.А. Капура, 2017