

Ольшанський В. П.  
Ольшанський С. В.  
Сліпченко М. В.

*Харківський  
національний технічний  
університет сільського  
господарства  
імені Петра Василенка*

Olshansky V. P.

Olshansky S. V.

Slipchenko M. V.

*Kharkiv Petro Vasylenko  
National Technical  
University of Agriculture*

УДК 631.362:532

## ТАБЛИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОРИСТОСТІ ШАРУ ЗЕРНОСУМІШІ В ЦИЛІНДРИЧНОМУ ВІБРОРЕШЕТІ

*Розроблено спрощений табличний спосіб розрахунку розподілу пористості по товщині шару зерноsumіші, сепарованій вертикальним циліндричним решетом віброцентрифуги. Таблиця потрібних безрозмірних величин складена комп'ютерним інтегруванням відомого нелінійного диференціального рівняння другого порядку. Апробація запропонованого наближеного способу розрахунку підтвердила його високу точність, універсальність і зручність у використанні. Викладений спосіб може бути альтернативою числовому комп'ютерному інтегруванню нелінійного диференціального рівняння зі змінними коефіцієнтами, яке проводили інші автори при аналізі розподілу пористості по товщині циліндричного шару зерноsumіші для конкретних числових даних. Користуючись таблицею, можна також проводити наближену ідентифікацію одного із коефіцієнтів вихідного диференціального рівняння.*

**Ключові слова:** вертикальне циліндричне віброрешето, шар зерноsumіші, розподіл пористості, табличний спосіб, нелінійне диференціальне рівняння.

**Вступ.** Із континуальних моделей руху зерноsumішей по віброрешетах набули поширення теорії, в яких враховують зміну пористості по товщині шару рухомого сипкого матеріалу [1-3]. Для розрахунку зміни пористості в полі механічних коливань та дії відцентрової сили, зумовленої обертанням решета, в названих роботах проводять комп'ютерне інтегрування спеціально складеного нелінійного диференціального рівняння другого порядку зі змінними коефіцієнтами. Потім одержані числові результати підставляють у диференціальне рівняння руху і обчислюють швидкість зернопотоку та інші кінематичні параметри. Таким способом узагальнюють відомі континуальні гідродинамічні моделі зернопотоків у вертикальному циліндричному віброрешеті [4, 5]. На необхідність урахування зміни пористості при гравітаційному русі сипких матеріалів по нахиленій площині вказують також автори робіт [6-8]. Згідно з [1, 2], обчислення пористості в шарі зерноsumіші є окремою задачею, яка не потребує обов'язкового паралельного обчислення швидкості зернопотоку. Виходячи з цього, тут, на відміну від указаних публікацій, пропонується інший спосіб визначення концентрації зерновок (розподілу пористості) по

товщині шару зерноsumіші в полі вібрацій при дії відцентрової сили, з використанням спеціально складеної таблиці, без розрахунку швидкості зернопотоку.

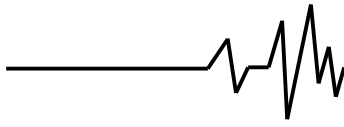
**Метою роботи** є розробка та апробація нового табличного способу розрахунку пористості в шарі зерноsumіші при її сепаруванні у вертикальному циліндричному решеті віброцентрифуги.

**Основна частина роботи.** Згідно з роботами [1, 2, 3] і розрахунковою схемою на рис. 1, для одержання розподілу пористості в шарі зерноsumіші  $\varepsilon = \varepsilon(r)$  (її залежності від радіальної координати  $r$ ) потрібно розв'язати диференціальне рівняння:

$$\frac{d}{dr} \left( \alpha (\Phi + 2) \left( \frac{dv}{dr} \right)^2 \right) + \frac{2}{r} \alpha \left( \frac{dv}{dr} \right)^2 - \gamma v \Omega^2 r = 0 \quad (1)$$

при початкових умовах:

$$v(R_0) = v_0; \quad \left. \frac{dv}{dr} \right|_{r=R_0} = 0. \quad (2)$$



Тут  $v = v(r)$  – концентрація зернових часток по товщині шару, пов'язана з пористістю залежністю  $\varepsilon(r) = 1 - v(r)$ ;  $\alpha$  – феноменологічний коефіцієнт;  $\Phi$  – величина, що залежить від параметрів коливань решета, його радіуса, кутової швидкості обертання решета навколо вертикальної вісі та коефіцієнта внутрішнього сухого тертя в суміші;  $\gamma$  – питома маса матеріалу зернини;  $R_0$  – радіус вільної поверхні циліндричного шару суміші.

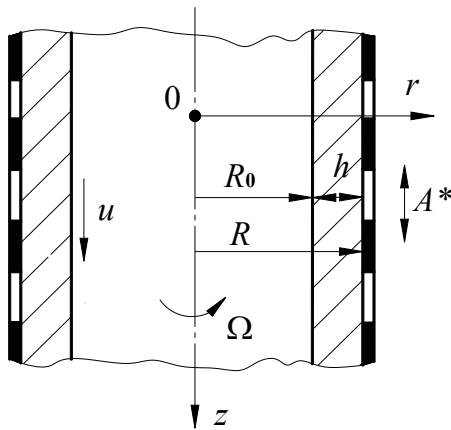


Рис. 1. Розрахункова схема вертикального циліндричного решета з сепарованою сумішшю

Для обчислення  $\Phi$  в роботах [1, 2] є формули:

$$\Phi = \frac{\sqrt{1 + f^2} - f}{f};$$

$$f = \frac{f_0}{2} (1 + e^{-G});$$

$$G = \frac{A \cdot \omega^2}{R \cdot \Omega^2},$$
(3)

де  $f_0$  – коефіцієнт сухого тертя в суміші в стані спокою;  $A, \omega$  – відповідно амплітуди і частота вертикальних коливань решета;  $R, \Omega$  – радіус і кутова швидкість обертання решета.

Коефіцієнт  $\alpha$  в (1) залежить від параметрів рифлів або ребер на поверхні решета [1, 2].

Оскільки рівняння (1) нелінійне і має монотонно змінні коефіцієнти, його доводиться інтегрувати числовими методами. Для проведення цієї операції доцільно увести безрозмірні змінні  $\zeta$  і  $t$  по формулах:

$$\zeta = \frac{v}{v_0}; \quad r = R_0(1+t), \quad \text{де } t \in [0; h/R_0],$$

$h$  – товщина рухомого шару.

Тоді рівняння (1) і початкові умови (2) набувають форму:

$$\frac{d^2 \zeta}{dt^2} + \frac{a_1}{1+t} \frac{d\zeta}{dt} - a_2(1+t) \frac{\zeta}{dt} = 0; \quad (4)$$

$$\zeta(0) = 1; \quad \left. \frac{d\zeta}{dt} \right|_{t=0} = 0.$$

$$\text{Тут } a_1 = \frac{1}{\Phi + 2}; \quad a_2 = \frac{\gamma \Omega^2 R_0^4}{2\alpha(\Phi + 2)v_0}.$$

Враховуючи, що в практиці сепарування  $h \ll R_0 < R$ , рівняння (4) можна дещо спростити замінивши в ньому змінні коефіцієнти їх середніми значеннями на інтервалі інтегрування. Після такої заміни одержуємо:

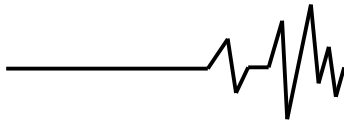
$$\frac{d^2 \zeta}{dt^2} + \frac{a_1}{1 + 0,5h/R_0} \frac{d\zeta}{dt} - a_2(1 + 0,5h/R_0) \frac{\zeta}{dt} = 0. \quad (5)$$

Щоб уникнути поділу на нуль при числовому інтегруванні, спростимо і початкові умови. Їм надаємо вигляд:

$$\zeta(0) = 1; \quad \left. \frac{d\zeta}{dt} \right|_{t=0} = 0,001.$$

З'ясуємо, на конкретному прикладі, які похибки дає осереднення змінних коефіцієнтів у диференціальному рівнянні. Приймаємо наступні числові дані:  $A = 0,006$  м;  $\omega = 96$  с<sup>-1</sup>;  $R = 0,3075$  м;  $\Omega = 11,77$  с<sup>-1</sup>;  $f_0 = 0,47$ ;  $h = 0,02$  м;  $\gamma = 1350$  кг/м<sup>3</sup>. Для них по формулах (3) знаходимо:  $G = 1,2981$ ;  $f = 0,2992$ ;  $\Phi = 2,489$ .

Далі, при  $\alpha = 0,69$  Н, одержуємо:  $a_1 = 0,2228$ ;  $a_2 = 542,7825$ . Отримані для цих даних значення  $\zeta$ , записані в табл. 1. Результати в чисельниках обчислені комп'ютерним інтегруванням рівняння (4), а в знаменниках – інтегруванням рівняння (5).



Таблиця 1

Значення  $\zeta$ , обчислені з двох рівнянь

$t$	0,0000	0,0174	0,0348	0,0522	0,0696
$\zeta$	$\frac{1,000}{1,000}$	$\frac{1,050}{1,051}$	$\frac{1,145}{1,146}$	$\frac{1,275}{1,277}$	$\frac{1,428}{1,432}$

Як бачимо, похибка заміни (4) більш простим рівнянням (5) становить десяти долі відсотка в бік завищення значення  $\zeta$ . Похибка зменшується при зменшенні товщини сепарованого шару. Отже, в інженерних розрахунках замість рівняння (4) можна інтегрувати рівняння (5).

Щоб скласти універсальну таблицю для обчислень  $\zeta$  заміно в (5) змінну  $t$  змінною  $\eta$ , по формулі  $t = \eta / \lambda$ , де:

$$\lambda = R_0^3 \sqrt{\frac{\gamma \Omega^2 (R_0 + 0,5h)}{2\alpha v_0 (\Phi + 2)}} \quad (6)$$

Після такої заміни, рівняння (5) набуває форму:

$$\frac{d^2 \zeta}{d\eta^2} + a \frac{d\zeta}{d\eta} - \frac{\zeta}{d\zeta} = 0, \quad (7)$$

де  $a = \frac{a_1}{\lambda(1 + 0,5h/R_0)}$ .

Числове інтегрування (7) проводимо при початкових умовах:

$$\zeta(0) = 1; \quad \left. \frac{d\zeta}{d\eta} \right|_{\eta=0} = 0,001.$$

Тут, як і раніше, спрощуємо другу початкову умову, щоб не мати ділення на нуль, тобто позбавитись сингулярності.

Одержані при  $a = 0$  результати заносимо в табл. 2.

Для порівняння складаємо аналогічну таблицю при  $a = 0,1$ .

Відмінності результатів в табл. 2 і табл. 3 несуттєві. Оскільки в практиці сепарування параметри такі, що  $a < 0,1$ , то в табличних розрахунках пористості зерноsumіші можна обмежитись використанням лише табл. 2.

З метою порівняння результатів, до яких призводять комп'ютерний і табличний способи визначення пористості, звернемося до рис. 2, який запозичено в [1, гл. 2, рис. 2.31].

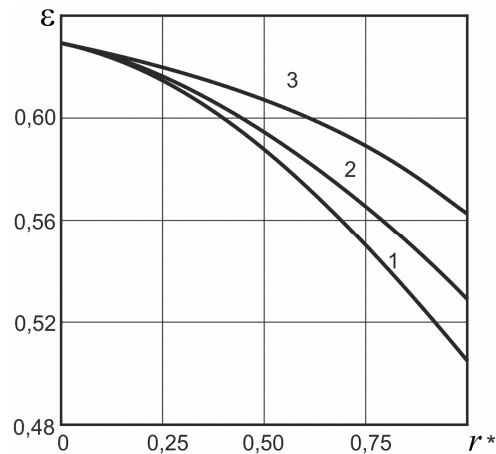
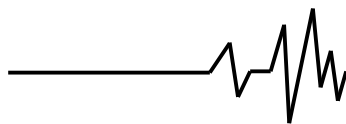


Рис. 2. Розподіли пористості по товщині шару зерноsumіші

Таблиця 2

Значення  $\zeta$  при різних  $\eta$  ( $a = 0$ )

$\eta$	$\zeta$	$\eta$	$\zeta$	$\eta$	$\zeta$	$\eta$	$\zeta$
0,01	1,001	0,26	1,126	0,51	1,355	0,76	1,662
0,02	1,003	0,27	1,134	0,52	1,365	0,77	1,676
0,03	1,005	0,28	1,141	0,53	1,376	0,78	1,690
0,04	1,008	0,29	1,149	0,54	1,387	0,79	1,704
0,05	1,011	0,30	1,157	0,55	1,399	0,80	1,718
0,06	1,014	0,31	1,165	0,56	1,410	0,81	1,732
0,07	1,017	0,32	1,173	0,57	1,421	0,82	1,747
0,08	1,021	0,33	1,182	0,58	1,433	0,83	1,762
0,09	1,026	0,34	1,190	0,59	1,445	0,84	1,776
0,10	1,030	0,35	1,199	0,60	1,456	0,85	1,791
0,11	1,035	0,36	1,208	0,61	1,468	0,86	1,806
0,12	1,039	0,37	1,216	0,62	1,480	0,87	1,821



Продовження таблиці 2

0,13	1,044	0,38	1,225	0,63	1,493	0,88	1,836
0,14	1,050	0,39	1,235	0,64	1,505	0,89	1,852
0,15	1,055	0,40	1,244	0,65	1,517	0,90	1,867
0,16	1,061	0,41	1,253	0,66	1,530	0,91	1,883
0,17	1,066	0,42	1,263	0,67	1,542	0,92	1,898
0,18	1,072	0,43	1,272	0,68	1,555	0,93	1,914
0,19	1,079	0,44	1,282	0,69	1,568	0,94	1,930
0,20	1,085	0,45	1,292	0,70	1,581	0,95	1,946
0,21	1,091	0,46	1,302	0,71	1,594	0,96	1,962
0,22	1,098	0,47	1,312	0,72	1,608	0,97	1,978
0,23	1,105	0,48	1,323	0,73	1,621	0,98	1,995
0,24	1,112	0,49	1,333	0,74	1,635	0,99	2,011
0,25	1,119	0,50	1,344	0,75	1,648	1,00	2,028

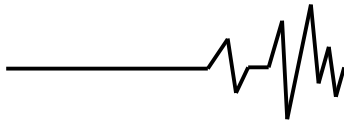
Таблиця 3

Значення  $\zeta$  при різних  $\eta$  ( $a = 0,1$ )

$\eta$	$\zeta$	$\eta$	$\zeta$	$\eta$	$\zeta$	$\eta$	$\zeta$
0,01	1,001	0,26	1,125	0,51	1,349	0,76	1,647
0,02	1,003	0,27	1,133	0,52	1,360	0,77	1,660
0,03	1,005	0,28	1,140	0,53	1,370	0,78	1,674
0,04	1,008	0,29	1,148	0,54	1,381	0,79	1,688
0,05	1,011	0,30	1,156	0,55	1,392	0,80	1,702
0,06	1,014	0,31	1,164	0,56	1,403	0,81	1,715
0,07	1,017	0,32	1,172	0,57	1,414	0,82	1,729
0,08	1,021	0,33	1,180	0,58	1,426	0,83	1,743
0,09	1,025	0,34	1,188	0,59	1,437	0,84	1,758
0,10	1,030	0,35	1,197	0,60	1,448	0,85	1,772
0,11	1,034	0,36	1,205	0,61	1,460	0,86	1,786
0,12	1,039	0,37	1,214	0,62	1,472	0,87	1,801
0,13	1,044	0,38	1,223	0,63	1,484	0,88	1,815
0,14	1,049	0,39	1,232	0,64	1,496	0,89	1,830
0,15	1,055	0,40	1,241	0,65	1,508	0,90	1,845
0,16	1,060	0,41	1,250	0,66	1,520	0,91	1,860
0,17	1,066	0,42	1,260	0,67	1,532	0,92	1,875
0,18	1,072	0,43	1,269	0,68	1,544	0,93	1,890
0,19	1,078	0,44	1,279	0,69	1,557	0,94	1,905
0,20	1,084	0,45	1,288	0,70	1,569	0,95	1,920
0,21	1,091	0,46	1,298	0,71	1,582	0,96	1,936
0,22	1,098	0,47	1,308	0,72	1,595	0,97	1,951
0,23	1,104	0,48	1,318	0,73	1,608	0,98	1,967
0,24	1,111	0,49	1,328	0,74	1,621	0,99	1,983
0,25	1,118	0,50	1,339	0,75	1,634	1,00	1,999

На графіку 1 цього рисунка, де  $r^* = \frac{r - R_0}{h}$ , маємо:  $\varepsilon_0 = 0,633$ ;  $v_0 = 1 - \varepsilon_0 = 0,367$ ;  $\varepsilon(h) = \varepsilon_* = 0,503$ ;  $v_* = 1 - \varepsilon_* = 0,497$ . Відношення концентрацій зерновок у шарі суміші становить:  $\zeta_* = v_* / v_0 = 1,354$ . Для нього в табл. 2 знаходимо:  $\eta = \eta_* = 0,51$ . Тоді, при

$\eta = 0,25\eta_* \approx 0,128$  (або  $r^* = 0,25$ ) за даними табл. 2:  $\zeta = 1,043$ ;  $v = 1,043 \cdot 0,367 = 0,383$ ;  $\varepsilon = 1 - v = 0,617$ . Аналогічно при  $\eta = 0,5\eta_* \approx 0,255$  (або  $r^* = 0,5$ ) маємо:  $\zeta = 1,123$ ;  $v = 1,412$ ;  $\varepsilon = 0,588$ . Ці та результати обчислень для інших  $\eta$ , заносимо в табл. 4.



Таблиця 4

Значення  $\varepsilon$  для порівняння з графіком 1 на рис. 2

$\eta$	0,00	0,128	0,255	0,383	0,510
$r^*$	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
$\zeta$	1,000	1,043	1,123	1,228	1,354
$\nu$	0,367	0,383	0,412	0,450	0,497
$\varepsilon$	0,633	0,617	0,588	0,550	0,503

Порівняння, записаних в цю таблицю значень  $\varepsilon$  з відповідними значеннями на графіку 1 підтверджує гарну узгодженість результатів.

На графіку 3, що на рис. 2:  $\varepsilon_0 = 0,633$ ;  $\nu_0 = 0,367$ ;  $\varepsilon_* = 0,563$ ;  $\nu_* = 0,437$ . Відношення концентрацій становить:  $\zeta_* = \nu_* / \nu_0 = 1,191$ . У табл. 2 йому відповідає  $\eta = \eta_* = 0,34$ . Тоді, при  $\eta = 0,25\eta_* \approx 0,085$  (або  $r^* = 0,25$ ) маємо  $\zeta = 1,024$ ;  $\nu = 0,376$ ;  $\varepsilon = 0,624$ .

Аналогічно, при  $\eta = 0,5\eta_* \approx 0,17$  (або  $r^* = 0,5$ ) одержуємо:  $\zeta = 1,066$ ;  $\nu = 0,391$ ;  $\varepsilon = 0,609$ . Ці, та результати обчислень при інших  $\eta$ , заносимо в табл. 5.

І в табл. 5 точки з координатами  $(r^*, \varepsilon)$  мало відхиляються від графіка 3 на рис. 2.

Отже, маємо гарну узгодженість результатів, до яких призводять запропонований тут табличний спосіб і числове комп'ютерне інтегрування нелінійного диференціального рівняння (1).

Таблиця 5

Значення  $\varepsilon$  для порівняння з графіком 3 на рис. 2

$\eta$	0,00	0,085	0,170	0,255	0,340
$r^*$	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
$\zeta$	1,000	1,024	1,066	1,123	1,191
$\nu$	0,367	0,376	0,391	0,412	0,437
$\varepsilon$	0,633	0,624	0,609	0,588	0,563

Числові дані в табл. 2 можна наближено подати аналітичною залежністю. Так, використовуючи степеневу апроксимацію в формі Ейткена [9], знаходимо, що:

$$\zeta \approx 1 + 1,028\eta^{1,579}. \quad (8)$$

Похибки записаної залежності менші одного відсотка. В той же час аналітична

форма зручна для розрахунку пористості зерноsumіші. Наприклад, якщо за вихідні взяти  $\nu_0 = 0,367$  і значення  $\eta$  з табл. 4, то елементарними розрахунками одержимо табл. 6.

Таблиця 6

Значення  $\nu$  і  $\varepsilon$ , одержані з використанням (8)

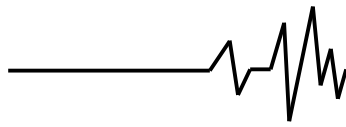
$\eta$	0,00	0,128	0,255	0,383	0,510
$\nu$	0,367	0,382	0,411	0,450	0,497
$\varepsilon$	0,633	0,618	0,589	0,550	0,503

Записані тут  $\nu$  і  $\varepsilon$  мало відрізняються від тих, що в табл. 4.

Таким чином, формула (8) переводить викладений табличний у новий аналітичний спосіб розрахунку пористості.

Для обчислень пористості зерноsumіші потрібно знати коефіцієнти диференціального рівняння (5) і зокрема феноменологічну сталу  $\alpha$ , що підлягає експериментальному

визначенню. Зупинимось на ідентифікації цієї сталої, коли відомі  $\nu_0$  і  $\nu_*$ . Використовуючи їх, треба обчислити  $\zeta_* = \nu_* / \nu_0$  і знайти в табл. 2 відповідне йому  $\eta_*$ . Далі, знаючи товщину рухомого шару суміші  $h$ , легко визначити  $\lambda$ , бо:



$$\alpha = \eta_* R_0 / h. \quad (9)$$

Подальша ідентифікація  $\alpha$  зводиться до використання формул:

$$\lambda = \frac{\gamma \Omega^2 (R_0 + 0,5h) \left(\frac{h}{\eta_*}\right)^3}{2\nu_0(\Phi + 2)}, \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{1350 \cdot 11,77^2 \cdot 0,3005 \left(\frac{0,014}{0,51}\right)^3}{2 \cdot 0,367 \cdot 4,489} \approx 0,353 \text{ н.}$$

Щоб одержати  $\alpha$  для графіка 3, треба замінити  $\eta_* = 0,51$  на  $\eta_* = 0,34$ . Тоді,

$$\alpha = 0,353 \left(\frac{0,51}{0,34}\right)^3 \approx 1,123 \text{ н. Отже, табл.}$$

2 може використовуватись і для визначення феноменологічної сталюї.

**Висновки.** Розроблений табличний спосіб обчислень розподілу пористості по товщині рухомого шару зерносуміші в циліндричному віброрешеті досить універсальний і простий у використанні. Він може бути альтернативою числовому інтегруванню нелінійного диференціального рівняння зі мінними коефіцієнтами, яке проводили інші автори в аналогічних розрахунках. Використання складеної таблиці дає можливість також знаходити значення феноменологічної сталюї у вихідному диференціальному рівнянні.

#### Список використаних джерел

1. Пивень М.В. Обоснование параметров процесса решетного сепарирования зерновых смесей: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / М.В. Пивень. – Харьков: ХНТУСГ им. П. Василенко, 2006. – 260 с.
2. Тищенко Л.Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, М.В. Пивень и др. – Харьков: Миськдрук, 2010. – 360 с.
3. Тищенко Л.Н. Обоснование процесса сегрегации зерновых смесей при сепарировании виброцентробежными решетками / Л. Н. Тищенко, М.В. Пивень, В.В. Бредихин // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2013. – Vol. 15, № 7. – P. 105-112.
4. Тищенко Л.Н. Математическая модель движения зерновых смесей по вертикальным решетам виброцентробежных сепараторов / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский,

яка впливає з (6), після підстановки туди (9).

З'ясуємо, яким буде  $\alpha$  для графіка 1 на рис. 2, коли  $h = 0,014$  м, а величини:  $\gamma, \Omega, R, \Phi$  мають попередні значення. Для цих даних, згідно (10):

С.В. Ольшанский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2011. – № 7. – С. 35-38.

5. Тищенко Л.М. Динамика виброцентробежной зерноочистки / Л.М. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский и др. – Харьков: Миськдрук, 2013. – 440 с.

6. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника изменения, закономерности, технологическое применение / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. – М.: Машиностроение, 2005. – 73 с.

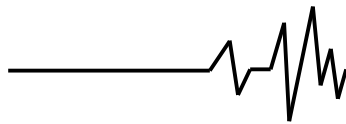
7. Savage S.B. The stress tensor in a granular flow at high shear rates / S.B. Savage, D. J. Jeffrey // Journal of Fluid Mech. – 1981. – Vol. 110. – P. 225-272.

8. Savage S. B. Granular flows down rough Inclines – Review and Extension / S.B. Savage // Mechanics of granular Materials, Elsevier Science Publishers. – Amsterdam, 1983. – P. 261-282.

9. Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

#### Список джерел в транслітерації

1. Piven M.V. Obosnovanie parametrov protsessa reshetnogo separirovaniya zernovyih smesey: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.05.11 / M.V. Piven. – Harkov: HNTUSG im. P. Vasilenko, 2006. – 260 s.
2. Tischenko L.N. Modelirovanie protsessorov zernovyih separatorov / L.N. Tischenko, D.I. Mazorenko, M.V. Piven i dr. – Harkov: Miskdruk, 2010. – 360 s.
3. Tischenko L.N. Obosnovanie protsessa segregatsii zernovyih smesey pri separirovanii vibrotsentrobezhnyimi reshetami / L.N. Tischenko, M.V. Piven, V.V. Bredihin // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2013. – Vol. 15, № 7. – P. 105-112.
4. Tischenko L.N. Matematicheskaya model dvizheniya zernovyih smesey po



vertikalnym reshetam vibrotsentrobeznyih separatorov / L.N. Tischenko, V.P. Olshanskiy, S.V. Olshanskiy // Traktory i selskohozyaystvennyie mashiny. – 2011. – № 7. – S. 35-38.

5. Tischenko L.M. Dinamika vibrotsentrobeznoy zernoochistki / L.M. Tischenko, V.P. Olshanskiy, S.V. Olshanskiy i dr. – Harkov: MIskdruk, 2013. – 440 s.

6. Dolgunin V.N. Bystryie gravitatsionnyie techeniya zernistyih materialov: tehnika izmeneniya, zakonomernosti, tehnologicheskoe primeneniye/ V.N. Dolgunin, V.Ya. BorschYov – M.: Mashinostroenie, 2005. – 73 s.

7. Savage S.B. The stress tensor in a granular flow at high shear rates / S.B. Savage, D. J. Jeffrey // Journal of Fluid Mech. – 1981. – Vol. 110. – P. 225-272.

8. Savage S.B. Granular flows down rough Inclines – Review and Extension / S.B. Savage // Mechanics of granular Materials, Elsevier Science Publishers. – Amsterdam, 1983. – P. 261-282.

9. Kalitkin N.N. Chislennyye metody / N.N. Kalitkin. – M.: Nauka, 1978. – 512 s.

#### ТАБЛИЧНЫЙ РАСЧЕТ ПОРИСТОСТИ СЛОЯ ЗЕРНОСМЕСИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВИБРОРЕШЕТЕ

**Аннотация.** Разработан упрощенный табличный способ расчета распределения пористости по толщине слоя зерносмеси, сепарированной вертикальным цилиндрическим решето в виброцентрифуге. Таблица нужных безразмерных величин составлена компьютерным интегрированием известного нелинейного дифференциального уравнения второго порядка. Апробация предложенного приближенного способа расчета подтвердила его высокую точность, универсальность и удобство в использовании. Изложенный способ может быть

альтернативой численному компьютерному интегрированию нелинейного дифференциального уравнения с переменными коэффициентами, которое проводили другие авторы при анализе распределения пористости по толщине цилиндрического слоя зерносмеси для конкретных численных данных. Используя таблицу, можно также проводить приближенную идентификацию одного из коэффициентов исходного дифференциального уравнения.

**Ключевые слова:** вертикальное цилиндрическое виброрешето, слой зерносмеси, распределение пористости, табличный способ, нелинейное дифференциальное уравнение.

#### CALCULATION TABLE OF SPONGINESS OF GRAIN MIXTURE LAYER IN A CYLINDRICAL VIBROSIEVE

**Annotation.** A simple tabular method of calculating the distribution of porosity in the thickness grain mixture layer, the separated vertical cylindrical sieve vibrating centrifuge. Table relevant dimensionless quantities drawn computer integration known second-order nonlinear differential equation. Testing of the proposed approximate method of calculation has confirmed its high accuracy, versatility and ease of use. The above method can be an alternative to computer numerical integration of nonlinear differential equations with variable coefficients, which was carried out by other authors when analyzing the distribution of porosity in the thickness of the cylindrical grain mixture layer for specific numerical data. Using the table, you can also carry out an approximate identification of one of the coefficients of the original differential equation.

**Key words:** vertical cylindrical vibrosieve, grain mixture layer, porosity distribution, tabular method of nonlinear differential equations.