

решение обратной задачи движения для идентификации значений реологических констант по данным изменений параметров потока.

Ключевые слова: зерновые смеси, виброцентробежное сепарирование, скорость движения, цилиндрическое решето, вязко-сухое трение, идентификация реологических постоянных.

Abstract

ABOUT THE MOTION ON A VIBROCENTRIFUGAL CYLINDRICAL SIEVE A GRAIN MIXTURES WITH A VISCOUS-DRY FRICTION

L.Tishchenko, V.Olshansky, S.Olshansky, D. Myradov

The steady motion on the vertical cylindrical sieve of the layer of the vibro-liquefied grain mixtures taking into account a joint action of the forces of internal viscous and dry friction is considered. The formulas for calculating the flow velocity of the mixture and the efficiency volume vibrocentrifugal sieve are determined. The solution of the inverse problem of the motion for identification of the values of the rheological constants according to data on changes of the flow parameters is obtained.

Keywords: grain mixtures, vibrocentral separation, velocity, cylindrical sieve, viscous-dry friction, identification of the rheological constants.



УДК 631.362.36; 621.928.9

ДИНАМІКА ДВОФАЗНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПОВІТРОПРОНИКНІЙ ПОВЕРХНІ ПНЕВМОСЕПАРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Тіщенко Л.М. акад., д.т.н., проф., **Сліпченко М.В.**, к.т.н., доц.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

У статті отримано математичну модель динаміки двофазного середовища: зернова суміш – повітряний потік. Дана модель дозволяє дослідити псевдокипляче двофазне середовище та встановити зміну об'ємної щільності зернової суміші по товщині шару в залежності від конструктивно-технологічних параметрів пневмосепаруючого пристрою вібровідцентрового сепаратору.

Ключові слова – зернова суміш, повітряний потік, пневмосепаруючий пристрій, об'ємна щільність зерна, динаміка двофазного середовища.

Актуальність теми. Подальше підвищення якості роботи вібровідцентрових зернових сепараторів потребує збільшити ефективність очистки серійного пневмосепаруючого пристрою (ПСП) [1]. З цією метою для вібровідцентрових зернових сепараторів виробництва ВАТ «Вібросепаратор» (м. Житомир) створено новий ПСП [2, 3]. В ньому легкі домішки, що не були вилучені в основній кільцевій зоні очистки [4], можуть вилучатись у додаткових зонах (рис.1). При проходженні зернової суміші (ЗС) по каскадах ПСП вона продувається повітряним потоком (ПП). При проходженні ПП скрізь шар ЗС виникає «псевдозріджений» чи «псевдокиплячий» стан зернового шару [5].

Аналіз останніх публікацій. Вивченню псевдозрідженого стану сипких середовищ присвячена велика кількість робіт. В них досліджено фізика процесів, побудовані фізичні та математичні моделі явища [6-8]. Однак дослідів щодо вилучення легких

домішок з шару ЗС, що продувається ПП, визначення закономірностей динаміки процесу не існує.

Метою роботи є отримання математичної моделі динаміки двофазного потоку: ЗС – ПП при русі на повітропроникній поверхні ПСП. Математична модель дає змогу отримати залежності для розрахунку зміни об'ємної щільності ЗС по товщині шару в залежності від конструктивно-технологічних параметрів ПСП.

Основна частина роботи. Вилучення ЗС від легких домішок в пневмосепаруючому пристрої вібровідцентрових зернових сепараторів відбувається у основній та додатковій зонах очистки (рис. 1) [1, 4, 9]. Легкі домішки, що не були вилучені в основній зоні очистки потрапляють на збірний скатний конус. У першому наближенні його можна розглядувати у якості повітропроникної поверхні. Спочатку розглянемо очистку ЗС від легких домішок у псевдокиплячому шарі.

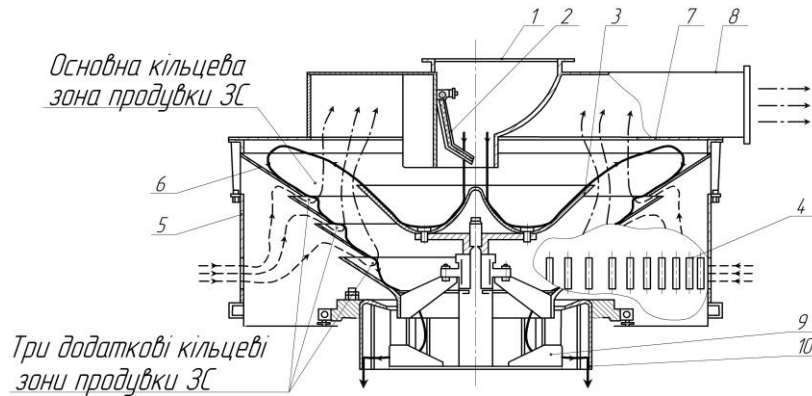


Рис. 1. Конструктивна схема розробленого віяло-кільцевого конусно-каскадного ПСП: 1 - патрубок завантажувальний; 2 - клапан дозуючий; 3 - розкидач тарілчастий; 4 - вікна повітрязабірні, 5 - кожух сепаратора; 6 - конус каскадний складений; 7 - діафрагма; 8 - патрубок відвідний; 9 - розкидач дисковий; 10 - блок решітний; \longrightarrow - рух ЗС; $-\ - \blacktriangleright$ - ПП; $-\ \cdot \blacktriangleright$ - ПП з легкими домішками

Розглянемо шар ЗС, який розташовується на повітропроникній поверхні S_1 (рис. 2), що імітує скатну поверхню каскадного конуса. Позначимо через α_1, α_2 об'ємні щільності повітря і ЗС, відповідно. Дані, щодо інших характеристик ПП і ЗС отримаємо з попередніх досліджень.

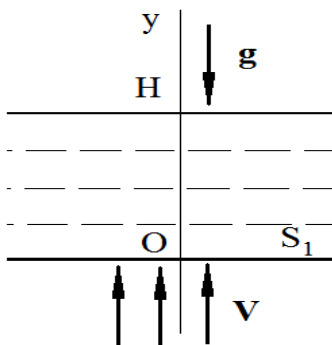


Рис. 2. Розрахункова схема до дослідження динаміки продуваного шару зернової суміші

Під об'ємною густиною розуміємо відношення об'єму повітря V_1^* (або ЗС V_2^*) в деякій частині середовища в цілому до обсягу цієї частини V^* . Нехай α_{20} - об'ємна щільність зерна в спокої (в стані щільної упаковки). Ця величина залежить від того, яким чином упаковані дисперсні частинки і навіть сферичний змінюється в межах $0,52 \div 0,74$ [7].

Будемо вважати розподіл часток в площині S_1 однорідним. Позначимо через H_0 глибину шару в упакованому стані. Тоді обсяг V_0 такого шару, який припадає на одиницю площі поверхні S_1 , буде дорівнює:

$$V_0 = H_0 \alpha_{20}. \quad (1)$$

Нехай ПП надходить до шару ЗС з початковою швидкістю $\vec{V} = V \vec{e}_y$, де \vec{e}_y є ортом осі, Oy а $V = const$. При проходженні ПП через шар ЗС при певній швидкості, відбувається його «закипання». Густина зменшується, а товщина шару збільшується таким чином, що виконується співвідношення:

$$\int_0^H \alpha_2(y) dy = H_0 \alpha_{20}, \quad (2)$$

Рівняння (2) виражає рівність кількості ЗС до псевдозрідження і після. Експерименти свідчать, що в псевдозрідженому стані об'ємна щільність ЗС зменшується зі збільшенням висоти від y до H . Шари з протилежним напрямком градієнта $\alpha_2(y)$ виявляються нестійкими [7].

Введемо позначення:

- $\rho_i = \rho_i^0 \alpha_i$ - щільність i -ого середовища ($i=1$ - повітря, $i=2$ - ЗС), ρ_i^0 - дійсна щільність i -ого середовища,
- $\vec{v}_i, p_i, \mu_i, \lambda_i$ - швидкість, тиск, зсувна і об'ємна динамічні в'язкості i -ого середовища, відповідно,
- \vec{f}_{12} - об'ємна сила, з якою перше середовище впливає на друге.

Відповідно до законів механіки суцільних середовищ рівняння динаміки мають вигляд:

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \text{div}(\alpha_1 \vec{v}_1) = 0, \quad (3)$$

- рівняння нерозривності, що уособлює закон

збереження маси:

$$\frac{\partial \rho_1 \vec{v}_1}{\partial t} + \text{div}(\rho_1 \vec{v}_1 \vec{v}_1) = -\nabla p_1 + \nabla \left[(\lambda_1 - 2\mu_1 / 3) \text{div} \vec{v}_1 \right] + \text{div}(\mu_1 \nabla \vec{v}_1) + \nabla \left[\mu_1 \text{div}(\vec{v}_1) \right] + \vec{f}_{12} + \rho_1 \vec{g}, \quad (4)$$

- рівняння руху, висловлює собою закон зміни імпульсів для несучого середовища. Аналогічні рівняння мають місце і для дисперсного середовища:

$$\frac{\partial \alpha_2}{\partial t} + \text{div}(\alpha_2 \vec{v}_2) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho_2 \vec{v}_2}{\partial t} + \text{div}(\rho_2 \vec{v}_2 \vec{v}_2) = -\nabla p_2 + \nabla \left[(\lambda_2 - 2\mu_2 / 3) \text{div} \vec{v}_2 \right] + \text{div}(\mu_2 \nabla \vec{v}_2) + \nabla \left[\mu_2 \text{div}(\vec{v}_2) \right] + \vec{f}_{12} + \rho_2 \vec{g}. \quad (6)$$

Тут сила \vec{f}_{12} відображає взаємодію між компонентами середовища. Як показують експерименти і емпіричний аналіз, ця величина становить результуючу сил Архімеда, Стокса, Магнуса і сили, пов'язаної з приєднаною масою [7]. У разі розгляду динаміки "киплячого" зернового шару силами Архімеда, Магнуса і силою приєднаної маси можна знехтувати. Тоді зазначена сила висловлює собою лише силу в'язкого впливу ПП на дисперсні частинки. Дія ПП на одиничну сферичну частинку визначається силою Стокса [10, 11]:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{2} C_\mu \pi a_2^2 \left| \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \right| \left(\vec{v}_1 - \vec{v}_2 \right), \quad (7)$$

де - C_μ коефіцієнт опору, a_2 - радіус сферичної частинки (в разі несферичних частинок вводять в (7) поправочний коефіцієнт. Коефіцієнт C_μ залежить від числа Рейнольдса $Re = 2a_2 \rho_1^0 \left| v_1 - v_2 \right| \mu_1^{-1}$. При

великих числах Рейнольдса ($Re \geq 10$) маємо $C_\mu = 0,44$ [5]. Об'ємна густина сили \vec{f}_{12} тоді

дорівнює $\vec{f}_{12} = n_2 \vec{F}_{12}$, де $n_2 = \alpha_2 \left(\frac{4}{3} \pi a_2^3 \right)^{-1}$

число дисперсних частинок в одиниці об'єму. Остаточно, отримуємо:

$$\vec{f}_{12} = 0,165 \alpha_2 a_2^{-1} \left| \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \right| \left(\vec{v}_1 - \vec{v}_2 \right). \quad (8)$$

Рівняння механіки суцільних середовищ являє собою замкнену систему диференціальних рівнянь в часткових похідних. Вони повинні бути доповненими

замикаючими співвідношеннями. Ці співвідношення формують на основі термодинаміки суцільних середовищ і можливо додаткових фізичних міркувань. У цьому випадку ці співвідношення мають вигляд:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad (9)$$

$$p_1 = p_1(\alpha_1, T_1), \quad (10)$$

$$p_2 = p_2(\alpha_2, T_2). \quad (11)$$

Рівняння (9) є прямим наслідком визначення величин α_i . Співвідношення (10), (11) являють собою термічні рівняння стану (T_1 - температура повітря, T_2 - температури «киплячого» зернового шару). Для газу зазвичай припускають, що він баротропний: $p_1 = p_1(\alpha_1)$, тобто відсутня залежність від температури. Для «киплячого» зернового шару Гольдшттик М.А. [8] визначив рівняння стану, аналогічне рівнянню якогось специфічного газу, у вигляді:

$$p_2 = \frac{107}{1 - k_{ak}^2} \frac{\rho_1^0}{\rho_2^0} \rho_1^0 v_1^2 F(\alpha_2), \quad (12)$$

де - k_{ak} коефіцієнт акомодатії для дисперсних частинок, а функція $F(\alpha_2)$ визначається співвідношенням:

$$F(\alpha_2) = \alpha_2 \frac{(\alpha_{20}/\alpha_2)^{1/3} - 1}{(1 - \alpha_2)^2}, \quad (13)$$

графік, якої представлений на рис. 3.

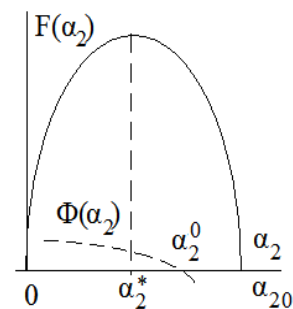


Рис.3. Графік функції $F(\alpha_2)$

Функція $F(\alpha_2)$ має максимум на інтервалі $0 < \alpha_2 < \alpha_{20}$ в точці $\alpha_2 = \alpha_2^*$, яка розділяє цей інтервал на дві частини: ліва, де похідна $dF/\alpha_2 > 0$, і права, де $dF/\alpha_2 < 0$. Відповідний же знак має і похідна тиску p_2 по α_2 . Термодинамічна теорія стійкості свідчить, що стан газу, при якому $dp_2/d\alpha_2 > 0$ є нестійким. Протилежний же знак похідної говорить про стійкість відповідного стану.

Далі розглянемо рівняння стаціонарного

"киплячого" шару. Завдання розглядається при наступних припущеннях:

- для стаціонарного руху двофазного середовища усереднені швидкості дисперсної складової дорівнюють нулю, $\vec{v}_2 = 0$;

- рух ПП всередині зернового шару одномірний і спрямоване вздовж осі Oy .

Отже,

$$\vec{v}_1 = v_1(y)\vec{e}_y, p_1 = p_1(y), p_2 = p_2(y), \alpha_1 = \alpha_1(y), \alpha_2 = \alpha_2(y).$$

Тоді з урахуванням зроблених припущень і співвідношень (9), (12) систему диференціальних рівнянь можна представити у вигляді::

$$\frac{d(\alpha_1 v_1)}{dy} = 0, \quad (14)$$

$$\frac{d(\alpha_1 v_1^2)}{dy} = -\frac{1}{\rho_1^0} \frac{dp_1}{dy} + \frac{1}{\rho_1^0} \left(\lambda_1 + \frac{1}{3} \mu_1 \right) \frac{d^2 v_1}{dy^2} - \frac{K_\mu}{\rho_1^0} \alpha_2 v_1 - \alpha_1 g, \quad (15)$$

$$-K_p \frac{d}{dy} [v_1^2 F(\alpha_2)] + \frac{K_\mu}{\rho_2^0} \alpha_2 v_1 - g \alpha_2 = 0. \quad (16)$$

Де

$$K_\mu = \frac{9\mu_1}{2a_2^2}, \quad (17)$$

$$K_p = \frac{107}{1 - k_{ak}^2} \left(\frac{\rho_1^0}{\rho_2^0} \right)^2. \quad (18)$$

Висновки.

В статті отримано математичну модель динаміки двофазного середовища на повітропроникній поверхні скатного конусу пневмосепаруючого пристрою вібровідцентрових зернових сепараторів. Дана модель дозволяє встановити закономірності зміни об'ємної щільності зернової суміші по товщині шару та зміни швидкості та тиску.

Література

1. Слипченко М.В. К производственным испытаниям ворохоочистителя СВС-15 с разработанным пневмосепарирующим устройством / М.В. Слипченко // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСХ ім. Петра Василенка, Вип. 88 - Харків, 2009. - С. 88-95.
2. Пат. 50587 Україна, МПК⁹ В07В 1/00, В07В 4/00. Вібровідцентровий сепаратор / Тищенко Л.М., Пастушенко М.Г., Харченко С.О., Слипченко М.В.; заявник та власник Харківський національний технічний університет сільського господарства. № u201000743; заявл. 26.01.10; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11/2010.
3. Слипченко М.В. Оптимизация конструктивно-технологических параметров разработанного пневмосепарирующего устройства виброцентробежных зерновых сепараторов / М.В. Слипченко // Механізація сільського господарства: ХНТУСХ ім. Петра Василенка, Вип. 93 - Т. 1. - Харків, 2010. - С. 214-222.
4. Слипченко М.В. Исследование очистки зерновых смесей при сходе с тарельчатого разбрасывателя пневмосепарирующего устройства виброцентробежного сепаратора / М.В. Слипченко // Motrol. Commission and

1. Energetics in Agriculture. - 2014. - Vol.16, No 7. - P. 84-91.
5. Аэров М.Э. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. / М.Э. Аэров, О.М. Тодес - Ленинград: Химия.-1968.-510 с.
6. Соу С.Л. Гидродинамика многофазных систем. / С.Л. Соу - М.: Мир, 1971.- 536 с.
7. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. / Р.И. Нигматулин М.: Наука, 1978.- 336 с.
8. Гольдштик М.А. Процессы переноса в зернистом слое. - М.А. Гольдштик - Новосибирск: СО АН СССР.Ин-т теплофиз., 1984. - 163 с.
9. Тищенко Л.Н. Динамика извлечения легких примесей пневмосепарирующим устройством виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Вібрації в техніці та технологіях. - 2011. - № 1 (61). - С. 186-193.
10. Седов Л.И. Механика сплошных сред. / Л.И. Седов - М.: Наука, 1976- Т. 1 - 1976. - 536 с.
11. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский - М.: Наука, 1978.- 727 с.
12. Крылов В.И. Вычислительные методы высшей математики. / В.И. Крылов, В.В. Бобков, П.И. Монастырский - Минск: Высшая школа, 1975- Т.2. - 1975. - 671 с.

References

1. Slipchenko M.V. K proyzvodstvennym trials vorohoochystytelya SVS-15 with razrabotannym pnevmoseparuyuschym Devices [Production test Precleaning separators SHS-15 developed pneumoseparating device] / M.V. Slipchenko // Suchasni napryamki tehnologii that mehanizatsii protsesiv pererobnih i nutritive virobnitstv: News HNTUSKH IM. Peter Vasilenko, Vip. 88 - Kharkiv, 2009. - P. 88-95.
2. Pat. 50587 UKRAINE, MPK⁹ V07V 1/00, 4/00 V07V. Vibroidtsentrovyy separator / Tishchenko L.M. Pastushenko M.G. Kharchenko S.O., Slipchenko M.V.; zayavnik that vlasnik Harkivsky natsionalny tehniczny University silskogo Gospodarstva. № u201000743; appl. 26.01.10; publ. 10.06.10, Bul. Number 11/2010.
3. Slipchenko M.V. Optimization constructive and technological parameters razrobotannoho pnevmoseparuyusheho Device vybrotsentrobezhnykh grain separators [Optimization of design and technological parameters developed pneumoseparating device vibrocentrifugal grain separators] / Slipchenko M.V.// Mehanizatsiya silskogo Gospodarstva: HNTUSKH im. Peter Vasilenko, Vip. 93 - T. 1. - Kharkiv, 2010. - P. 214-222.
4. Slipchenko M.V. Study clean grain mixtures at a gathering with the spreader plate pneumoseparating device vibrocentrifugal separator / M.V. Slipchenko // Motrol. Commission and Energetics

1. in Agriculture. - 2014. - Vol.16, No 7. - P. 84-91.
5. Aerovit M.E. Hydraulic Fundamentals and teplovyye work apparatov so statsyonarnym and kupyaschym zernystym sloem [Hydraulic and thermal basics of devices with fixed and fluidized granular layer]. / M.E. Aerovit, O.M. Todes - Leningrad: Himiya.-1968.-510 with.
6. Sow S.L. Mnohofaznykh of fluid dynamics [Hydrodynamics of multiphase systems]. /S.L. Sow - M.: Mir, 1971.- 536 p.
7. Nigmatulin R.I. Fundamentals of mechanics heterohennykh environment [Fundamentals of mechanics of heterogeneous media]. / RI Nigmatulin M.: Nauka, 1978.- 336 p.
8. Gol'dshitik M.A. Processes transferred to a granular sloe [Transport processes in the granular layer]. - M.A. Gol'dshitik - Novosibirsk: SO AN SSSR.In-t Teplofiz, 1984. - 163 p..
9. Tishchenko L.N. Dynamics yzvlachenyya light impurities pnevmoseparuyuschym devices vybrotsentrobezhnoho separator [The dynamics of extraction of light impurities pneumoseparating device vibrocentrifugal separator] / L.N. Tishchenko, M.V. Slipchenko // Vibratsii in tehniitsi that tehnologiyah. - 2011. - № 1 (61). - S. 186-193.
10. Sedov L.I. Mechanics sploshnykh environment [Continuum Mechanics]. / L.I. Sedov - M.: Nauka, 1976- Volume 1 - 1976. - 536 p.

11. Loitsiansky L.G. Mechanics of fluid and gas [Fluid Mechanics]. / L.G. Loitsiansky - M.: Nauka, 1978.- 727 p.
12. Krylov V.I. High society Vychyslytelnye methods of

mathematics [Computational methods of higher mathematics]. / IN AND. Krylov, V.V. Bobkov, P.I. Monastyryni - Minsk Vysheyshaya School, 1975- Vol.2. - 1975. - 671 p.

Аннотация

ДИНАМИКА ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ НА ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Тищенко Л.Н., Слипченко М.В.

С целью повышения эффективности очистки зерновых смесей от легких примесей разработано новое пневмосепарирующее устройство. Для получения оптимальных технико-конструктивных параметров устройства необходимо создать математическую модель движения зерновой смеси. В статье получена математическая модель динамики двухфазной среды: зерновая смесь - воздушный поток. Данная модель позволяет исследовать двухфазную псевдожидкую среду и установить изменение объемной плотности зерновой смеси по толщине слоя в зависимости от конструктивно-технологических параметров пневмосепарирующего устройства виброцентробежных сепараторов.

Ключевые слова - зерновая смесь, воздушный поток, пневмосепарирующее устройство, объемная плотность зерна, динамика двухфазной среды.

Abstract

DYNAMICS OF TWO-PHASE MEDIUM ON AIR PERMEABLE SURFACE OF PNEUMO SEPARATING DEVICE

Tishchenko L.N., Slipchenko M.V.

In order to increase the efficiency of cleaning of grain mixes from light impurities a new pneumoseparating device is developed. To obtain optimal technical and design parameters of the device is necessary to create a mathematical model of grain mixture motion. In article a mathematical model of the two-phase medium: grain mix - air flow are received. The model allows us to investigate pseudofluidised two-phase medium and set the change of grain mixture density of the layer thickness depending on the structural and technological parameters pneumoseparating vibrocentrifugal separator device.

Keywords - grain mixture, airflow, pneumoseparating device, grain mixture density, two-phase medium dynamic.



УДК 631.362:532

ТАБЛИЧНИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРИСТОСТІ В ШАРІ ЗЕРНОСУМІШІ НА ПЛОСКОМУ ВІБРОРЕШЕТІ

Ольшанський В.П., д. ф.-м. н., проф.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

Ольшанський О.В., к. е. н., доц.

(Харківський державний університет харчування та торгівлі)

Комп'ютерним інтегруванням нелінійного диференціального рівняння другого порядку складена таблиця для обчислення пористості в шарі зерноsumіші при її рівномірному русі по плоскому віброрешеті, нахиленому до горизонту. Порівняння одержаних розподілів пористості з відомими в літературі підтвердило високу точність і універсальність запропонованого способу розрахунку. Проілюстрована також можливість застосування складеної таблиці до розв'язання оберненої задачі, а саме до ідентифікації коефіцієнта вихідного диференціального рівняння за даними експериментального вимірювання пористості в двох точках шару зерноsumіші, рівновіддалених від її вільної поверхні.

Ключові слова: *плоске віброрешето, пористість шару зерноsumіші, таблицний спосіб, нелінійне диференціальне рівняння; ідентифікація коефіцієнта рівняння.*

Вступ. При моделюванні потоків сепарованих зерноsumішей по нахиленому плоскому віброрешеті набули поширення теорії, в яких врахована зміна концентрації зерновок по товщині рухомого шару сипкого матеріалу [1-4]. Для розрахунку зміни концентрації, що характеризує неоднорідність

sumіші в полі коливань і гравітації, в названих роботах проводили числове комп'ютерне інтегрування спеціально складеного нелінійного диференціального рівняння. Потім одержані числові результати підставляли у диференціальне рівняння потоку суміші і проводили обчислення швидкості руху