

Бойко Д. І.

Харківський національний технічний університет сільського господарств ім. Петра Василенка
E-mail:bojko_2008@mail.ru

**РІВНЯННЯ ДИНАМІКИ СИПКОВОГО
МАТЕРІАЛУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ
ЗМІШУВАЧА ТА ЙОГО РІШЕННЯ**

УДК 631.363.7

Розглянуто динаміку тонкого шару сипкого матеріалу, що знаходиться на твердій поверхні яка рухається в своїй площині по заданому закону з характерною швидкістю. В результаті розв'язку отриманого рівняння побудовані епюри швидкостей сипкого матеріалу та його об'ємної щільності від положення в робочій зоні змішувача.

Ключові слова: сипкий матеріал, динаміка, рівняння, змішувач, швидкість, щільність.

Вступ. Актуальною задачею при створенні нових конструкцій змішувачів сипких матеріалів є обґрунтування їх параметрів на основі моделювання процесів взаємодії сипких матеріалів із робочими органами змішувача з метою підвищення якості кінцевого продукту і зниження енергоємності процесу у відповідності до встановлених вимог. Основними операціями при сипких сумішей, наприклад комбікормів, є дозування і змішування інгредієнтів, які, слідують одна за одною і кожна із них окремо в рівній мірі впливають на якість кінцевого продукту. Це пояснюється тим, що відхилення процентного вмісту окремих інгредієнтів від заданої рецептом величини знижує кормову і біологічну поживності комбікорму, і призводить до порушення балансу мінеральних елементів в організмі тварин.

Тому розробка і впровадження нових енергозберігаючих технологій приготування комбікормів і засобів їх механізації, які здатні значно знизити енергетичні витрати і підвищити якість кінцевого продукту є актуальною задачею. З цієї точки погляду перспективним напрямком є створення нових конструкцій дозаторів-змішувачів, в яких необхідно передбачити виконання процесу дозування інгредієнтів і їх змішування одним робочим органом за рахунок механічної дії відцентрових сил.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню теоретичного обґрунтування параметрів робочих органів змішувачів сипких матеріалів присвячена значна кількість наукових праць [1-7]. Їх аналіз вказує на те, що у відомих залежностях, які використовуються для визначення основних параметрів дозаторів-змішувачів сипких матеріалів не враховується той ефект, що механічні процеси переробки сипких матеріалів і зокрема змішування інгредієнтів при приготуванні комбікормів відбуваються в режимі їх швидкого гравітаційного руху. Характерним для сипких матеріалів є присутність в них твердих частинок, простір між якими заповнений повітрям. В такому випадку сипкі матеріали представляють собою двофазне суцільне середовище і для визначення їх реологічних співвідношень виникає необхідність в залученні механіки багатофазних середовищ [8].

Швидкий гравітаційний рух сипких матеріалів супроводжується активною взаємодією частинок, внаслідок чого проявляються технологічно значущі ефекти змішування і розділення частинок. Названі ефекти не тільки суттєво впливають на кінетику технологічних процесів, але і часто використовуються в якості базових для організації технологічних процесів змішування, класифікації, сепарації та ін.

Основними ефектами взаємодії частинок сипких матеріалів при швидких гравітаційних рухах є квазидифузійне змішування і розділення частинок. Для прогнозування названих ефектів і управління ними, необхідно мати повну інформацію про їх структурні і кінематичні характеристики, які можуть бути визначені в результаті рішення системи рівнянь динаміки швидких рухів сипких матеріалів.

Мета і завдання досліджень. Розробити математичні моделі рівнянь швидких гравітаційних рухів сипких матеріалів з подальшим їх використанням для опису процесів змішування при приготуванні комбікормів.

Методи і результати досліджень. Запишемо математичні співвідношення, які характеризують процеси руху сипких матеріалів при їх взаємодії з робочими органами змішувачів через безрозмірні перемінні. Це дозволить встановити відносну подібність для явищ, що визначаються [9]. Для цього введемо масштаби відповідних величин. В нашому випадку в якості масштабів виберемо наступні величини:

L - характерний лінійний розмір, що відноситься до вимірювання впродовж перетину потоку сипкого матеріалу, який лежить на горизонтальній площині Σ_0 ;

H - характерний лінійний розмір, що відноситься до вимірювання поперечного перетину потоку сипкого матеріалу, який зв'язаний із товщиною шару;

U - характерна швидкість потоку сипкого матеріалу уздовж площини Σ_0 ;

V - характерна поперечна швидкість потоку сипкого матеріалу;

γ - фактична щільність частинка сипкого матеріалу.

Розглянемо динаміку тонкого шару сипкого матеріалу, який лежить на твердій поверхні Σ_0 , яка рухається в своїй площині по заданому закону і має характерну швидкість U . Сипкий матеріал при цьому поступає в область V (рис. 1) через частину бокової поверхні Σ_1 і через другу частину цієї ж поверхні видаляється.

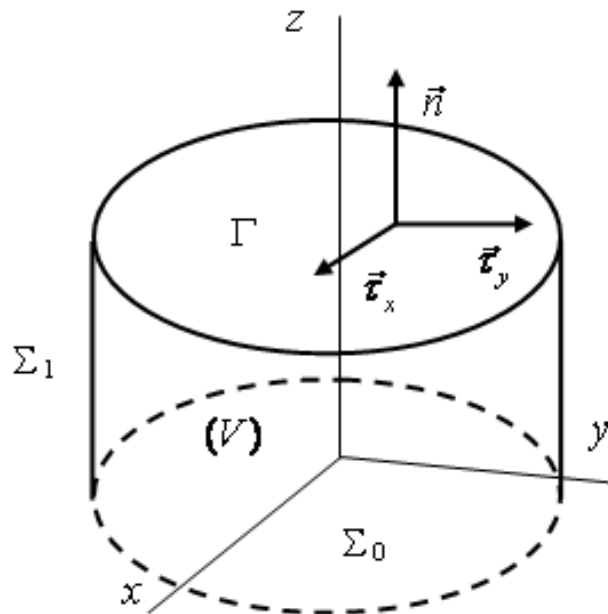


Рис. 1. Об'єм шару сипкого матеріалу, що лежить на твердій поверхні Σ_0

Таким чином витрати сипкого матеріалу зв'язані з його потоком є заданою величиною. Динаміка потоку визначається як кількістю сипкого матеріалу, який поступає через частину бокової поверхні Σ_1 , так і рухом поверхні Σ_0 .

В робочій зоні змішувача сипкий матеріал розташовується тонким шаром по поверхні Σ_0 . Тому в цьому випадку можна скористуватися як методами теорії «мілкої води», так і теорією примежового шару [10, 11]. В цьому випадку поперечні швидкості малі в порівнянні із швидкостями руху сипкого матеріалу уздовж площини Σ_0 . Введемо

позначення $\varepsilon = H/L$, де дане відношення буде малим параметром $\varepsilon < 1$. Тоді залежні масштаби величин можна представити в вигляді $H = \varepsilon L$, $V = \varepsilon U$ і $P = \gamma U^2$ - характерний тиск. Розглядаючи випадок стаціонарного руху потоку сипкого матеріалу доданки, які мають частинні похідні по часу t , перетворюються в нуль. Рівняння, які будуть приведені до безрозмірного вигляду будуть містити, так звані, безрозмірні параметри:

число Рейнольдса

$$Re = \frac{\gamma UL}{\mu}; \quad (1)$$

число Ейлера

$$Eu = \frac{\alpha}{\gamma U^2 L^2}; \quad (2)$$

число Фруда

$$Fr = \frac{U^2}{\mu UL} = Eu Re, \quad (3)$$

число Лагранжа

$$La = \frac{\alpha}{\mu UL}. \quad (4)$$

Число Рейнольдса Re визначає співвідношення між силами в'язкого тертя і силами інерції, число Ейлера Eu - відношення сил тиску до інерційних сил, число Фруда Fr - відношення інерційних сил до гравітаційних сил. Теорія пограничного шару базується на тих міркуваннях, що число Рейнольдса Re має порядок $O(\varepsilon^{-2})$, число Ейлера Eu - $O(\varepsilon^2)$, число Фруда Fr - $O(\varepsilon)$. Тоді, очевидно, число Лагранжа La має порядок $O(1)$. Доданки, які входять в отримані співвідношення, мають різний порядок по параметру ε . В теорії пограничного шару виділяють головні члени, які мають найбільші від'ємні степені параметра ε . Тоді закон зміни кількості руху [12 формула (6)], в проєкціях матиме вигляд :

на вісь Ox

$$\begin{aligned} & -2 \frac{Eu}{\varepsilon^2} \left[(\beta + 1) \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} v + \frac{\partial}{\partial x} v \frac{\partial^2}{\partial z^2} v \right] + \\ & + \frac{1}{\varepsilon^2 Re} \frac{\partial^2}{\partial z^2} v_x - v v_x \frac{\partial}{\partial x} v_x - v v_y \frac{\partial}{\partial y} v_x - v v_z \frac{\partial}{\partial z} v_x = 0 \end{aligned}, \quad (5)$$

на вісь Oy

$$\begin{aligned} & -2 \frac{Eu}{\varepsilon^2} \left[\beta \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} v + \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} v \frac{\partial}{\partial z} v + \frac{\partial}{\partial y} v \frac{\partial^2}{\partial z^2} v \right] + \\ & + \frac{1}{\varepsilon^2 Re} \frac{\partial^2}{\partial z^2} v_y - v \left(v_x \frac{\partial}{\partial x} v_y + v_z \frac{\partial}{\partial z} v_y + v_y \frac{\partial}{\partial y} v_y \right) = 0 \end{aligned}, \quad (6)$$

на вісь Oz

$$\begin{aligned} & -2(\beta + 2) \frac{Eu}{\varepsilon^4} \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial}{\partial z^2} v - \frac{v}{Fr \varepsilon} - v v_x \frac{\partial}{\partial x} v_z - v v_y \frac{\partial}{\partial y} v_z - v v_z \frac{\partial}{\partial z} v_z + \\ & + \frac{1}{\varepsilon^2 Re} \left(2 \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} v_x + 2 \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} v_y + 3 \frac{\partial^2}{\partial z^2} v_z \right) = 0 \end{aligned}, \quad (7)$$

рівняння нерозривності формула (5) [12] матиме вигляд

$$\frac{\partial v v_x}{\partial x} + \frac{\partial v v_y}{\partial y} + \frac{\partial v v_z}{\partial z} = 0. \quad (8)$$

Граничні умови:
 умова (9) [12]

$$v_z = v_x \frac{\partial F}{\partial x} + v_y \frac{\partial F}{\partial y} \quad (z = F(x, y)); \quad (9)$$

умови (10) - (12) при $(z = F(x, y))$

$$-(\beta + 2) \frac{La}{\varepsilon^2} \left(\frac{\partial}{\partial z} v \right)^2 = 0, \quad (10)$$

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial z} v_x - 2 \left[\frac{\partial}{\partial x} F \left(\frac{\partial}{\partial z} v \right)^2 + \frac{\partial}{\partial x} v \frac{\partial}{\partial z} v \right] La \right\} \frac{1}{\varepsilon} = 0, \quad (11)$$

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial z} v_y - 2 \left[\left(\frac{\partial}{\partial y} F \right) \left(\frac{\partial}{\partial z} v \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} v \right) \frac{\partial}{\partial z} v \right] La \right\} \frac{1}{\varepsilon} = 0. \quad (12)$$

На межі поверхні Σ_0 (при $z = 0$) умова непротікання (14) [12] залишається в незмінному вигляді, а умови (16), (17) [12] приймають вигляд

$$\frac{\partial}{\partial z} v_x - \frac{fLa}{\varepsilon} \text{sign}(v_x - V_x) (\beta + 2) \left(\frac{\partial}{\partial z} v \right)^2 = 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} v_y - \frac{fLa}{\varepsilon} \text{sign}(v_y - V_y) (\beta + 2) \left(\frac{\partial}{\partial z} v \right)^2 = 0, \quad (14)$$

де

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1(x > 0) \\ 0(x = 0) \\ -1(x < 0) \end{cases}.$$

Із співвідношень (10) - (12) витікають наступні граничні умови

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v_y}{\partial z} = 0. \quad (15)$$

Крайова задача (5) - (14) представляє собою складну математичну задачу, для рішення якої скористуємося методом інтегральних співвідношень, які застосовуються в гідромеханіці [13, 14]. Суть цього методу складається в представленні рішення в заздалегідь визначеного виду функцій, які містять в собі невизначені коефіцієнти. Рівняннями при цьому будуть початкові рівняння про інтегровані зінтегровані по частині змінних (в нашому випадку по одній змінній). Такий підхід до вирішення задачі з точки зору обчислених методів представляє метод Галеркіна, який широко відомий в механіці суцільних середовищ [15].

Наявність багатьох параметрів задачі, феноменологічних коефіцієнтів (α, μ, λ) і вільної поверхні вимагає попереднього аналізу рішення на відносно простих окремих випадках задачі. В зв'язку з цим розглянемо плоску задачу, яку сформулюємо наступним чином (рис.2). Рух сипкого матеріалу є стаціонарним, плоским і відбувається в вертикальній площині xOz . Сипкий матеріал розташований на твердій горизонтальній площині Σ_0 , яка рухається в горизонтальному напрямку з постійною швидкістю $\vec{V} = V\vec{i}$ (\vec{i}, \vec{k} - орти осей Ox, Oz декартової системи координат і вісь Oz направлена вертикально

вверх). Сипкий матеріал поступає на площину Σ_0 через отвір Σ_1 , ширина якого дорівнює H . На площині Σ_0 має місце сила тертя ковзання, яка захоплюється потоком сипкого матеріалу в горизонтальному напрямку руху. На сипкий матеріал діє сила тяжіння з інтенсивністю $\vec{g} = -g\vec{k}$. Таку ситуація можна спостерігати при русі насипного вантажу на транспортері [16].

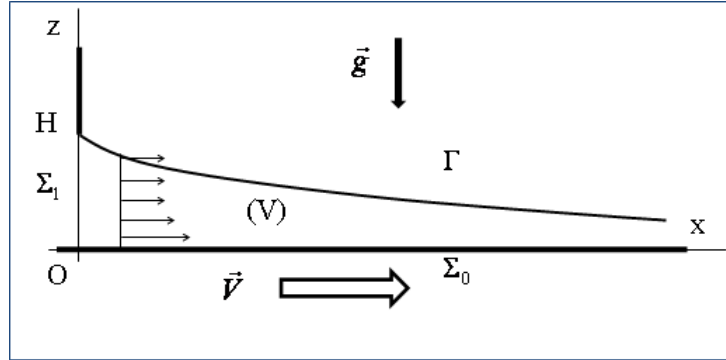


Рис. 2. Розрахункова схема руху сипкого матеріалу в горизонтальній площині

В даному випадку невідомі функції залежать від змінних x, z і система рівнянь та граничних умов (5) - (15) спрощується і приймає вигляд

$$-2 \frac{Eu}{\varepsilon^2} \left[(\beta + 1) \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} v + \frac{\partial}{\partial x} v \frac{\partial^2}{\partial z^2} v \right] + \quad (16)$$

$$+ \frac{1}{\varepsilon^2 Re} \frac{\partial^2}{\partial z^2} v_x - v v_x \frac{\partial}{\partial x} v_x - v v_z \frac{\partial}{\partial z} v_x = 0$$

$$-2(\beta + 2) \frac{Eu}{\varepsilon^4} \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial^2}{\partial z^2} v - \frac{v}{Fr\varepsilon} - v v_x \frac{\partial}{\partial x} v_z - v v_z \frac{\partial}{\partial z} v_z + \quad (17)$$

$$+ \frac{1}{\varepsilon^2 Re} \left(2 \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} v_x + 3 \frac{\partial^2}{\partial z^2} v_z \right) = 0$$

$$\frac{\partial v v_x}{\partial x} + \frac{\partial v v_z}{\partial z} = 0, \quad (18)$$

$$v_z = v_x \frac{\partial F}{\partial x} \quad (z = F(x)), \quad (19)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v_x}{\partial z} = 0 \quad (z = F(x)) \quad , \quad (20)$$

$$v_z(x, 0) = 0, \quad (21)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} v_x - \frac{fla}{\varepsilon} \text{sign}(v_x - V) (\beta + 2) \left(\frac{\partial}{\partial z} v \right)^2 = 0 \quad (z = 0) \quad . \quad (22)$$

Представимо рішення задачі в вигляді багаточленів по змінній z

$$v(x, z) = v_0 + N(x) \left(1 - \frac{z}{F(x)} \right)^2$$

$$v_x(x, z) = U_0(x) + U(x) \left(1 - \frac{z}{F(x)} \right)^2, \quad (23)$$

$$v_z(x, z) = W(x) \frac{z}{F(x)}$$

з невідомими змінними $N(x), U_0(x), U(x), W(x)$. Багаточлени вибрані таким чином, щоб виконувались граничні умови (29), (21). Тоді із умови (19) отримаємо вираз для $W(x)$:

$$W(x) = U_0(x) \frac{dF(x)}{dx}. \quad (24)$$

Для знаходження других невідомих функцій підставимо вираз (23) в умову (22) та рівняння (16) - (18) і останнє інтегруємо по змінній z в границях від 0 до $F(x)$, в результаті чого отримаємо систему чотирьох звичайних диференціальних рівнянь першого порядку для невідомих (F, U_0, U, N) :

$$\begin{cases} a_{11} \frac{dF}{dx} + a_{12} \frac{dU_0}{dx} + a_{13} \frac{dU}{dx} + a_{14} \frac{dN}{dx} = f_1 \\ a_{21} \frac{dF}{dx} + a_{22} \frac{dU_0}{dx} + a_{23} \frac{dU}{dx} + a_{24} \frac{dN}{dx} = f_2 \\ a_{31} \frac{dF}{dx} + a_{32} \frac{dU_0}{dx} + a_{33} \frac{dU}{dx} + a_{34} \frac{dN}{dx} = f_3 \\ a_{41} \frac{dF}{dx} + a_{42} \frac{dU_0}{dx} + a_{43} \frac{dU}{dx} + a_{44} \frac{dN}{dx} = f_4 \end{cases}. \quad (25)$$

Матриця $A = \{a_{ik}\}_{ik=1}^4$ має наступні нульові коефіцієнти і нульові праві частини

$$a_{11} = -2U, \quad a_{13} = -2F,$$

$$a_{14} = -\frac{8(\beta+2)Laf}{\varepsilon} N \text{sign}(U_0 + U - V)$$

$$a_{21} = -\left(\frac{N}{21} + \frac{v_0}{10}\right)U^2 + \frac{4\beta Eu N^2}{2F^2 \varepsilon^2}$$

$$a_{22} = -\left(\frac{N}{3} + v_0\right)FU_0 - \left(\frac{N}{5} + \frac{v_0}{3}\right)FU$$

$$a_{23} = -\left(\frac{N}{5} + \frac{v_0}{3}\right)FU_0 - \left(\frac{N}{7} + \frac{v_0}{5}\right)FU$$

$$a_{24} = -\frac{(560\beta + 840)Eu}{210\varepsilon^2 F} N, \quad f_2 = -\frac{2U}{Re \varepsilon^2 F}$$

$$a_{31} = -(N + 3v_0)F^2 \varepsilon^3, \quad a_{34} = 8(\beta + 2)FrEuN - \frac{1}{2} \varepsilon^3 F^3$$

$$a_{41} \left(\frac{N}{3} + v_0\right)F + \left(\frac{N}{5} + \frac{v_0}{3}\right)U,$$

$$a_{42} \left(\frac{N}{3} + v_0\right)F, \quad a_{43} = \left(\frac{N}{5} + \frac{v_0}{3}\right)F,$$

$$a_{44} \frac{UF}{5} + \frac{U_0 F}{3}.$$

Для формулювання задачі Коші систему рівнянь (25) доповнюємо початковими умовами

$$F(0) = 1, \quad U_0(0) = U_0^0, \quad U(0) = U^0, \quad U(0) = U^0. \quad (26)$$

Задача Коші вирішувалась числовим методом Рунге-Кутта [17]. При розрахунках приймалися наступні значення параметрів: $\varepsilon = 0,01$, $H = 0,01$ м, $\gamma = 800$ кг/м³,

$\lambda = \mu = 10^{-3}$ кг /м с, а характерна швидкість визначена через число Рейнольдса $U = \mu Re \gamma^{-1} \mu^{-1}$ дорівнювала ($\approx 0.1 \div 1.0$ м с⁻¹). Розрахунки виконувались для фіксованих значень $Eu = 0,01$, $Fr = 0,01$ і наступних значень числа Рейнольда: $Re = 70; 500; 1000; 10000$. Результати розрахунків наведені на рис. 3 і 4, де зображена вільна поверхня сипкого матеріалу, що відображає залежність $z = F(x)$. На рис. 3. наведені епюри швидкостей сипкого матеріалу $v_x(x, z)$ в залежності від координати x . На рис. 4 наведені залежності об'ємної щільності сипкого матеріалу $v(x, z)$ в відповідних точках осі Ox .

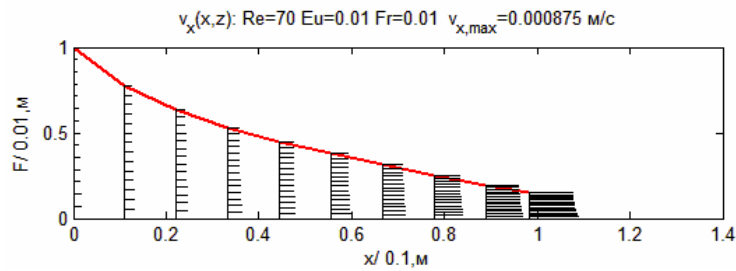


Рис. 3. Епюри швидкостей сипкого матеріалу $v_x(x, z)$ в залежності від x

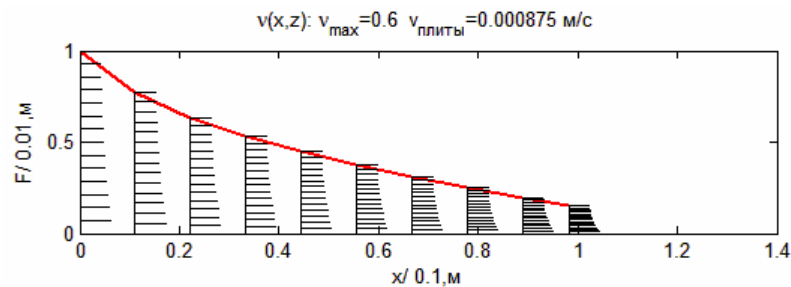


Рис. 4. Залежності об'ємної щільності сипкого матеріалу $v(x, z)$ в відповідних точках осі Ox

Висновок. Встановлено, що при малих значеннях числа Рейнольда Re спостерігається мала швидкість руху сипкого матеріалу при віддаленні його від вивантажувального отвору при значному зменшенні глибина шару і зростанні його об'ємної щільності в напрямку рухомої горизонтальної поверхні.

Література

1. Чилингарян, Н. О. Обоснование размеров скребков тарельчатого дозатора/ Н. О. Чилингарян // Вклад молодых учёных в аграрную науку: Сборник трудов Международной научно-практической конференции посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА. – Самара: РИЦ СГСХА, 2014. – С. 111–114.
2. Барышов, А.О. К вопросу об истечении сыпучих материалов / В.Г. Артемьев, А.О. Барышов // Материалы XI Международной научно-практической конференции. – М.: Издательство «Спутник+», 2012. – С. 194–196.
3. Ялпачик Ф. Визначення форми робочої поверхні кожуха гвинтового змішувача в зоні завантаження / Ф. Ялпачик, В. Гвоздев // Міжнародний науково-практичний Форум “Теорія і практика розвитку АПК”. – Львів: ЛДАУ, 2006. – С. 273–274.
4. Гришков, Е.Е. Теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров спирального смесителя / В.В. Утолин, Е.Е. Гришков, А.М. Лавров // Вестник РГАТУ. – Рязань, 2015, № 1. – С. 70–76.
5. Баранов Н.Ф., Фуфачев В.С. Закономерности движения материала из бункеров с вертикально расположенным выпускным отверстием / Н.Ф. Баранов, В.С. Фуфачев В.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

// Совершенствование технологий и средств механизации производства продукции растениеводства и животноводства: Материалы науч.-практ. конф. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2007. С. 77–81.

6. Pershin V. Manufacturing of multicomponent mixture with usage of two-stage technology of feeding / V. Pershin, S. Barishnikova, A. Osipov, D. Filimonov // 15th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2002. Praha. 2002. P. 5.219.

7. Иванец, В.Н. Сравнительный анализ схем движения материальных потоков в смесеприготовительном агрегате / Иванец В.Н., Бакин И.А., Карнадуд О.С., Сибиль А.В. // Техника и технология пищевых производств. – 2011. - № 4. – С. 86–91.

8. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.

9. Седов Л.И. Механика сплошных сред / Л.И. Седов. М.: Наука. – 1976. – 536 с.

10. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. М.: Наука, 1990. – 272 с.

11. Сэвидж С. Гравитационное течение несвязанных гранулированных материалов. В кн. Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений. М.: Мир, 1985. – с.86–146.

12. Бойко Д.І. Математичне моделювання швидкого гравітаційного руху інгредієнтів комбікормів при їх змішуванні / Д.І. Бойко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – К.: НУБП, 2015. – Вип. 241. – С. 213–219.

13. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 727 с.

14. Слеттери Дж. С. Теория переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах / Дж.С. Слеттери. – М.: Энергия, 1978. – 448 с.

15. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике / С.Г. Михлин. – М.: Наука, 1979. – 512 с.

16. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.

17. Демидович Б.П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения / Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. – М.: Наука, 1967. – 368 с.

Boyko D.I. Equalization of dynamics of friable materials in the working zone of mixer and it`s decision

The dynamics of skim of friable material that is on a hard surface that moves in the plane on the set law with characteristic speed is considered. For description of mathematical correlations that characterize the processes of motion of friable materials at their co-operating the dimensionless variable used with the working organs of mixer. Ordinary differential equalizations of first-order are got for problem of Koshi definition complemented by initial conditions and decided a numerical method of Runge-Kutt. As a result of decision of the got equalization the built curves of speeds of friable material and it`s position in a working zone.

Keywords: friable material, dynamics, equalization, mixer, speed.

References

1. Chilingaryan N. O. Obosnovanie razmerov skrebkov tarelchatogo dozatora/ N. O. Chilingaryan // Vklad molodyih uchYonyih v agrarnuyu nauku: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyaschennoy 95-letiyu FGBOU VPO Samarskoy GSHA. – Samara: RITs SGSHA, 2014. – S. 111–114.
2. Baryishov A.O. K voprosu ob istechenii syipuchih materialov / V.G. Artemev, A.O. Baryishov // Materialyi XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – M.: Izdatelstvo «Sputnik», 2012. – S. 194–196.
3. Yalpachyk F. Vyznachennya formy robochoyi poverkhni kozhukha hvyntovoho zmishuvacha v zoni zavantazhennya / F. Yalpachyk, V. Hvozdyev // Mizhnarodnyy naukovopraktychnyy Forum “Teoriya i praktyka rozvytku APK”. – L'viv: LDAU, 2006. – S. 273–274.
4. Grishkov E.E. Teoreticheskoe obosnovanie konstruktivno-tehnologicheskikh parametrov spiralnogo smesitelya / V.V. Utolin, E.E. Grishkov, A.M. Lavrov // Vestnik RGATU. – Ryazan, 2015, # 1. – S. 70–76.
5. Baranov N.F., Fufachev V.S. Zakonomernosti dvizheniya materiala iz bunkerov s vertikalno raspolozhennyim vyipusknyim otverstiem / N.F. Baranov, V.S. Fufachev V. // Sovershenstvovanie tehnologiy i sredstv mehanizatsii proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva: Materialyi nauch.-prakt. konf. Kirov: NIISH Severo-Vostoka, 2007. S. 77–81.
6. Pershin V. Manufacturing of f multicomponent mixture with usage of two-stage technology of feeding / V. Pershin, S. Barishnikova, A. Osipov, D. Filimonov // 15th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2002. Praha. 2002. P. 5.219.
7. Ivanets V.N. Sravnitelnyiy analiz shem dvizheniya materialnyih potokov v smeseprigotovitelnom agregate / Ivanets V.N., Bakin I.A., Karnadud O.S., Sibil A.V. // Tehnika i tehnologiya pischevyih proizvodstv. – 2011. - № 4. – s. 86–91.
8. Nigmatulin R.I. Osnovy mehaniki geterogennyih sred / R.I. Nigmatulin. – M.: Nauka, 1978. – 336 s.
9. Sedov L.I. Mehanika sploshnyih sred / L.I. Sedov. M.: Nauka. – 1976. – 536 s.
10. Sokolovskiy V.V. Statika syipuchey sredyi / V.V. Sokolovskiy. M.: Nauka, 1990. – 272 s.
11. Sevidzh S. Gravitatsionnoe techenie nesvyazannyih granulirovannyih materialov. V kn. Mehanika granulirovannyih sred: Teoriya byistryih dvizheniy. M.: Mir, 1985. – s.86–146.
12. Boyko D.I. Matematychno modelyuvannya shvydkoho hravitatsiynoho rukhu inhrediyentiv kombikormiv pry yikh zmishuvanni / D.I. Boyko // Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK. – K.: NUBIP, 2015. – Vyp. 241. – S. 213–219.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

13. Loytsyanskiy L.G. *Mehanika zhidkosti i gaza* L.G. Loytsyanskiy. – M.: Nauka, 1978. – 727 s.
14. Sletteri Dzh. S. *Teoriya perenosa impulsa, energii i massyi v sploshnyih sredah / Dzh.S. Sletteri.* – M.: Energiya, 1978. – 448 s.
15. Mihlin S.G. *Variatsionnyie metodyi v matematicheskoy fizike / S.G. Mihlin.* – M.: Nauka, 1979. – 512 s.
16. Zenkov R.L. *Mehanika nasyipnyih gruzov / R.L. Zenkov.* – M.: Mashinostroenie, 1964. – 251 s.
17. Demidovich B.P. *Chislennyye metodyi analiza. Priblizhenie funktsiy, differentsialnyie i integralnyie uravneniya / Demidovich B.P., Maron I.A., Shuvalova E.Z.* – M.: Nauka, 1967. – 368 s.