

Вероятностная модель процесса смешивания ингредиентов комбикормов в смесителе-реакторе непрерывного действия

Лариса И. Лыткина,	¹	larissaig2410@rambler.ru
Александр А. Шевцов,	¹	shevalol@rambler.ru
Евгения С. Шенцова,	¹	evgeniya-shencova@yandex.ru
Оксана А. Апалихина	¹	oxana2031@mail.ru

¹ кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж

Реферат. Математическая модель процесса смешивания полидисперсных отражает его стохастические особенности в виде неравномерности распределения элементов фаз по времени пребывания в аппарате, по размерам частиц, по неравномерности удерживающей способности аппарата, случайному характеру распределения материальных и тепловых потоков фаз по рабочему объему, по неоднородности физико-химических свойств среды, осложненных химической реакцией. Для математического описания процесса смешивания ингредиентов комбикормов при наличии химической реакции использована система дифференциальных уравнений академика В.В. Кафарова. Предложенная им гипотеза на основе теории марковских процессов о том, что «всякую многокомпонентную смесь можно рассматривать как результат итерационного процесса смешивания двух компонентов до достижения заданной однородности всех ингредиентов в смеси» позволяет рассматривать процесс смешивания бинарной композиции в лопастном смесителе в виде дифференциальных уравнений изменения концентраций двух ингредиентов во времени многократное число раз. до достижения однородности смеси. Установлено, что процесс смешивания двухкомпонентной смеси в лопастном смесителе определяется постоянной скорости смешивания и предельной (равновесной) дисперсией содержания ингредиентов в смеси, то есть ее однородностью. Настройки параметров модели осуществлялась по результатам экспериментальных исследований при смешивании измельченного зерна пшеницы с металломагнитной примесью, которая являлась ключевым (индикаторным) компонентом. По наилучшим оценкам константы постоянной скорости смешивания и значениям равновесной дисперсии содержания ингредиентов проведена идентификация параметров математической модели. Полученные результаты использованы при разработке конструкция смесителя нового поколения.

Ключевые слова: процесс смешивания, ингредиенты, однородность, модель, идентификация, смеситель

The probabilistic model of the process mixing of animal feed ingredients into a continuous mixer-reactor

Larisa I. Lytkina,	¹	larissaig2410@rambler.ru
Aleksandr A. Shevtsov,	¹	shevalol@rambler.ru
Evgeniya S. Shentsova,	¹	evgeniya-shencova@yandex.ru
Oksana A. Apalikhina	¹	oxana2031@mail.ru

¹ Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia

Summary. A mathematical model of the polydisperse medium mixing process reflects its stochastic features in the form of uneven distribution of phase elements on the time of their presence in apparatus, particle size, ripple retention of the apparatus, random distribution of the material and thermal phase flows of the working volume, heterogeneity of the medium physical- and chemical properties, complicated by chemical reaction. For the mathematical description of the mixing process of animal feed ingredients in the presence of chemical reaction the system of differential equations of Academician V.V. Kafarov was used. Proposed by him hypothesis based on the theory of Markov's processes stating that "any multicomponent mixture can be considered as the result of an iterative process of mixing the two components to achieve the desired uniformity of all the ingredients in the mixture" allows us to consider a process of mixing binary composition in a paddle mixer in the form of differential equations of two ingredients concentration numerous changes until it becomes a homogenous mixture. It was found out that the mixing process of the two-component mixture is determined in a paddle mixer with a constant mixing speed and a limit (equilibrium) dispersion of the ingredients in the mixture i.e. with its uniformity. Adjustment of the model parameters was carried out according to the results of experimental studies on mixing the crushed wheat with metallomagnetic impurity, which was a key (indicator) component. According to the best values of the constant of the continuous mixing speed and the equilibrium disperse values of the ingredients contents, the mathematical model parameters identification was carried out. The results obtained are used to develop a new generation mixer design.

Keywords: mixing process, the ingredients, homogeneity, model, identification, mixer

Для цитирования

Лыткина Л. И., Шевцов А. А., Шенцова Е. С., Апалихина О. А. Вероятностная модель процесса смешивания ингредиентов комбикормов в смесителе-реакторе непрерывного действия // Вестник ВГУИТ. 2016. № 2. С. 16–21. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-16-21

For citation

Lytkina L. I., Shevtsov A. A., Shentsova E. S., Apalikhina O. A. The probabilistic model of the process mixing of animal feed ingredients into a continuous mixer-reactor. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 2. pp. 16–21. (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2016-2-16-21

Введение

Математическая модель процесса смешивания полидисперсных сред должна отражать его стохастические особенности в виде неравномерности распределения элементов фаз по времени пребывания в аппарате, по размерам частиц, по неравномерности удерживающей способности аппарата, случайному характеру распределения материальных и тепловых потоков фаз по рабочему объёму, по неоднородности физико-химических свойств среды, осложнённых химической реакцией. При смешивании компонентов комбикормов имеет место экзотермическая реакция взаимодействия оксидов кальция и магния с водой, что приводит к разогреву многокомпонентной смеси, и прежде всего мелассы, и как следствие, к снижению её вязкости. С повышением температуры в мелассе происходит карамелизация сахаров и в дальнейшем превращение их в твёрдую кристаллическую массу [1, 2].

Поэтому для математического описания процесса смешивания ингредиентов комбикормов при наличии химической реакции целесообразно использовать систему дифференциальных уравнений академика В. В. Кафарова. Предложенная им гипотеза на основе теории марковских процессов «всякую многокомпонентную смесь можно рассматривать как результат итерационного процесса смешивания двух компонентов до достижения заданной однородности всех ингредиентов в смеси», что позволяет рассматривать процесс смешивания бинарной композиции в лопастном смесителе в виде дифференциальных уравнений изменения концентраций ингредиентов А и В во времени:

$$\frac{d(c_A - m_A)}{dt} = -k(c_A - m_A)^2 + kD_A; \quad (1)$$

$$\frac{d(c_B - m_B)}{dt} = -k(c_B - m_B)^2 + kD_B, \quad (2)$$

где $k = \mu(N_A a' + N_B b')/b'$ – коэффициент; c_A, c_B – содержание ингредиентов А и В; m_A, m_B – математические ожидания содержания ингредиентов А и В, соответствующие значению в рецептуре многокомпонентной смеси; μ – эмпирический коэффициент; N_A, N_B – число частиц ингредиентов А и В в смеси; $a' = \gamma_A V_A$; $b' = \gamma_B V_B$; a и b – число частиц, входящих в смесь ингредиентов А и В; V_A и V_B – объёмы частиц А и В; γ_A и γ_B – плотности частиц А и В; D_A и D_B – разброс случайной величины в области математического ожидания, характеризующий неоднородность смеси и необходимость дальнейшего смешивания частиц.

Уравнения (1) и (2) характеризуют изменение содержания ингредиентов А и В в рабочей камере смесителя. В производственных условиях оценка однородности смеси осуществляется по отбору определённого числа проб. Уравнение (1) при отборе n проб в произвольно выбранных точках рабочей камеры смесителя при l повторностях в каждой точке принимает вид:

$$\frac{d(c_{ij} - m)}{dt} = -k(c_{ij} - m)^2 + kD_{c_{ij}} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, l.$$

Для оценки качества смеси перейдём от содержания ингредиентов к выборочному разбросу случайной величины в области математического ожидания. Систему уравнений (3) просуммируем по n пробам и l повторностям и разделим на nl , тогда получим:

$$\frac{1}{nl} \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ij} - m) = -\frac{k}{nl} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ij} - m)^2 + \frac{k}{nl} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l D_{c_{ij}} \quad (4)$$

Величина в левой части уравнения (4) является осреднённой по n пробам и l повторностям содержания ингредиента А в смеси. Вследствие независимости наблюдаемых отклонений в n пробах и l повторностях двойные суммы парных произведений центрированных случайных величин являются корреляционными моментами и равны нулю. Отсюда:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ij} - m) \right]^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ij} - m)^2 = nl\sigma^2, \quad (5)$$

где σ^2 – выборочный разброс случайной величины в области математического ожидания ингредиента в многокомпонентной смеси.

Первое слагаемое в правой части уравнения (4) является осреднённым выборочным разбросом случайной величины в области математического ожидания ингредиента в многокомпонентной смеси, характеризующий неоднородность смеси и необходимость дальнейшего смешивания частиц, которая имеет смысл спонтанного перераспределения неоднородных частиц, обусловленного сегрегацией σ_c^2 . Тогда уравнение (4) может быть представлено следующим образом:

$$\frac{\sqrt{nl}d\sqrt{\sigma^2}}{nldt} = -k(\sigma^2 - \sigma_c^2),$$

где k – коэффициент, определяющий константу скорости смешивания.

Кривые кинетики процесса смешивания, характеризующие изменение выборочного разброса случайной величины в области математического ожидания представлены на рисунке 1.

И позволяют определить значение σ_p^2 , при котором достигается динамическое равновесие между спонтанным перераспределением частиц при смешивании σ_n^2 и сегрегацией σ_c^2 .

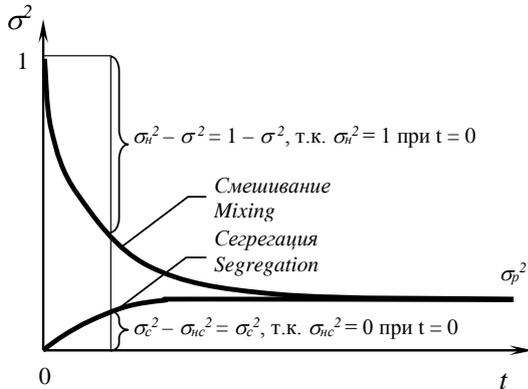


Рисунок 1. Кривые кинетики процессов смешивания и сегрегации

Figure 1. Mixing and segregation kinetics curves

Пусть процессу смешивания многокомпонентных смесей соответствует график функции $f(\sigma) = (\sigma_n^2 - \sigma^2)$, а процессу сегрегации – график функции $f(\sigma) = (\sigma_c^2 - \sigma_{nc}^2)$, а между ними установлена линейная связь:

$$\sigma_n^2 - \sigma^2 = \lambda(\sigma_c^2 - \sigma_{nc}^2), \quad (6)$$

где σ_n^2 – начальный выборочный разброс случайной величины в области математического ожидания ингредиента в многокомпонентной смеси содержания ингредиента при $t = 0$; λ – коэффициент пропорциональности; σ_{nc}^2 – начальная дисперсия перераспределения частиц продукта в смеси (сегрегация), то из (6) при $t = 0$:

$$\sigma_c^2 = (1 - \sigma_c^2)/\lambda, \quad (7)$$

а при $t \rightarrow \infty$

$$\lambda = (1 - \sigma_p^2)/\sigma_p^2, \quad (8)$$

Как правило [3, 4], при исследовании процессов смешивания используют разброс случайной величины, масштабированный через дисперсию σ_n^2 , который в случае двухкомпонентной смеси рассчитывается по соотношению

$$\sigma_n^2 = c \cdot (1 - c),$$

где c – содержание ингредиента в смеси.

Тогда при $t \rightarrow 0$ $\sigma_n^2 = 1$, $\sigma_{nc}^2 = 0$, а при $t \rightarrow \infty$ $\sigma^2 = \sigma_c^2 = \sigma_p^2$.

После подстановки (5) в (6) получим:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \frac{d\sqrt{\sigma^2}}{dt} = k \left[\frac{1 - (\lambda+1) \cdot \sigma^2}{\lambda} \right].$$

Методом разделения переменных имеем:

$$\frac{d\sigma^2}{\sqrt{\sigma^2} [1 - (\lambda+1) \cdot \sigma^2]} = \frac{2k\sqrt{\lambda+1}}{\lambda} dt. \quad (9)$$

Уравнение (9) после интегрирования принимает вид:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma^2}}{1 - \sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma^2}} \right] = \frac{2k\sqrt{\lambda+1}}{\lambda} t + \ln C. \quad (10)$$

Постоянную интегрирования C найдём из начального условия $t = 0$, $\sigma^2 = 0$:

$$\ln C = \frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\lambda+1}}{1 - \sqrt{\lambda+1}} \right]. \quad (11)$$

С учётом (11) уравнение (10) приводится к виду:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma^2}}{1 - \sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma^2}} \right] - \frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \frac{1 + \sqrt{\lambda+1}}{1 - \sqrt{\lambda+1}} = \frac{2k\sqrt{\lambda+1}}{\lambda} t$$

или

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \frac{1 - \sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma^2}}{1 + \sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma^2}} \frac{1 + \sqrt{\lambda+1}}{1 - \sqrt{\lambda+1}} = -\frac{2k\sqrt{\lambda+1}}{\lambda} t \quad (12)$$

Подставив уравнение (7) в (12), получим:

$$\ln \left[\frac{\sqrt{\sigma_p^2} - \sqrt{\sigma^2}}{\sqrt{\sigma_p^2} + \sqrt{\sigma^2}} \frac{\sqrt{\sigma_p^2} + 1}{\sqrt{\sigma_p^2} - 1} \right] = -\frac{2k\sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sqrt{\sigma_p^2}} t$$

или

$$\exp \left[-\frac{2k\sqrt{\lambda+1} \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sqrt{\sigma_p^2}} t \right] = \frac{\sqrt{\sigma_p^2} - \sqrt{\sigma^2}}{\sqrt{\sigma_p^2} + \sqrt{\sigma^2}} \frac{\sqrt{\sigma_p^2} + 1}{\sqrt{\sigma_p^2} - 1}. \quad (13)$$

Таким образом, после преобразования уравнения (13) получаем математическую модель процесса смешивания в лопастном смесителе в виде решения относительно σ^2 :

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 \cdot \frac{\left((\sqrt{\sigma_p^2} + 1) - (\sqrt{\sigma_p^2} - 1) \cdot \exp \left(-\frac{2k\sqrt{\lambda+1} \cdot \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sigma_p^2} \cdot t \right) \right)^2}{\left((\sqrt{\sigma_p^2} + 1) + (\sqrt{\sigma_p^2} - 1) \cdot \exp \left(-\frac{2k\sqrt{\lambda+1} \cdot \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sigma_p^2} \cdot t \right) \right)^2} \quad (14)$$

с начальными условиями $t = 0$; $\sigma^2 = 1$; $t = \infty$; $\sigma^2 = \sigma_p^2$.

Из полученного уравнения (14) следует, что процесс смешивания двухкомпонентной смеси в лопастном смесителе определяется постоянной скорости смешивания k и предельной (равновесной) дисперсией содержания ингредиентов в смеси, то есть её однородностью.

Параметры k и σ_p^2 зависят от режима работы и конструктивных особенностей смесителя и определяются экспериментально.

Настройка параметров модели (14) осуществлялась по результатам экспериментальных исследований при смешивании измельчённого зерна пшеницы с металломагнитной примесью, которая являлась ключевым (индикаторным) компонентом.

По наилучшим оценкам константы постоянной скорости смешивания k и значениям равновесной дисперсии содержания ингредиентов σ_p^2 проведена идентификация параметров математической модели (14).

Результаты моделирования для рассматриваемых модельных смесей представлены на рисунке 2.

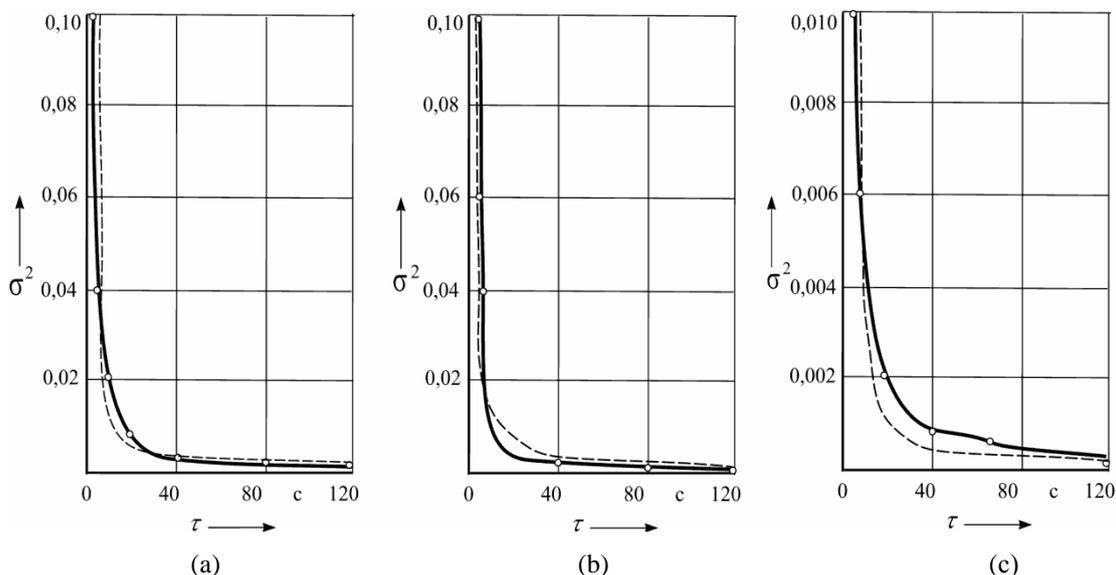
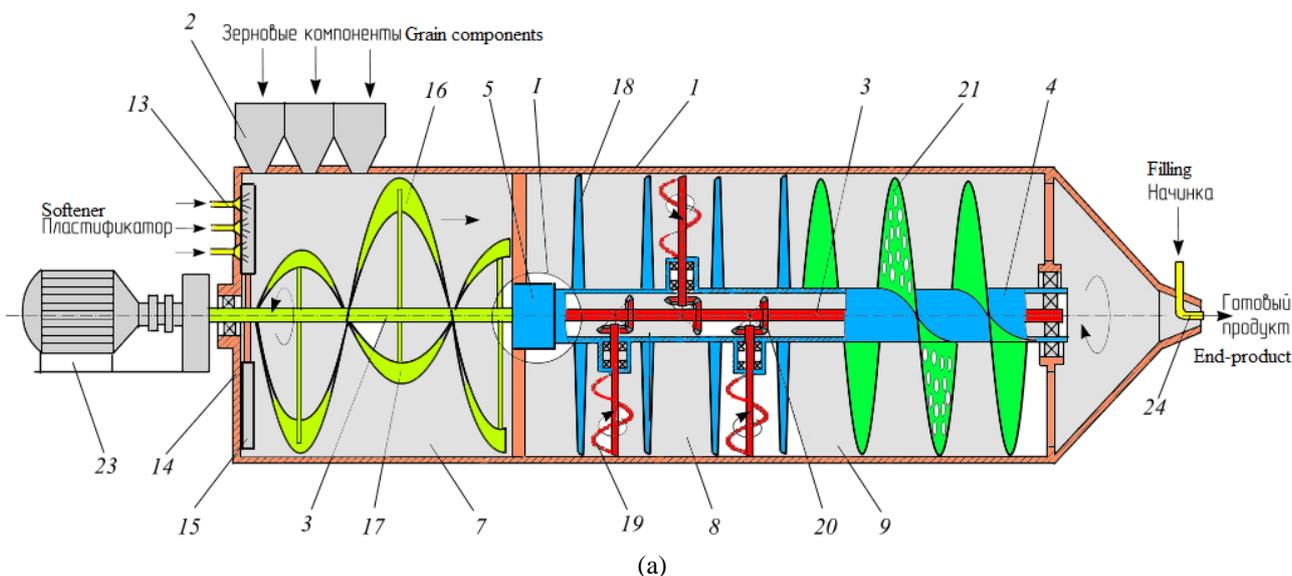


Рисунок 2. Кривые кинетики бинарных модельных смесей: (а) – измельчённое зерно пшеницы + металломагнитная примесь; (б) – измельчённое зерно пшеницы + соль поваренная; (с) – измельчённое зерно пшеницы + масло подсолнечное; экспериментальные () и расчётные (_ _ _)

Figure 2. Model binary mixtures kinetics curves: (a) – milled grain of wheat + metallomagnetic mixture; (b) – shredded wheat grain + salt; (c) – shredded wheat + sunflower oil; Experimental (), Calculated (_ _ _)

Полученные результаты использованы при разработке конструкция смесителя [5], особенность которого (рисунок 3) заключалась в том, что в первой камере на быстроходном валу после лопастей расположены две ленточные спирали разного диаметра с противоположной навивкой, обеспечивающие направление движения потоков смеси навстречу друг другу в виде перекрёстного противотока.

В предлагаемом смесителе за счёт конвективного, диффузионного смешивания, способствующих равномерному распределению частиц в смеси, и сегрегации, препятствующей этому процессу, можно регулировать интенсивность перемешивания многокомпонентной смеси посредством изменения угла поворота конусообразных лопастей и частоты вращения тихоходного и быстроходного валов.



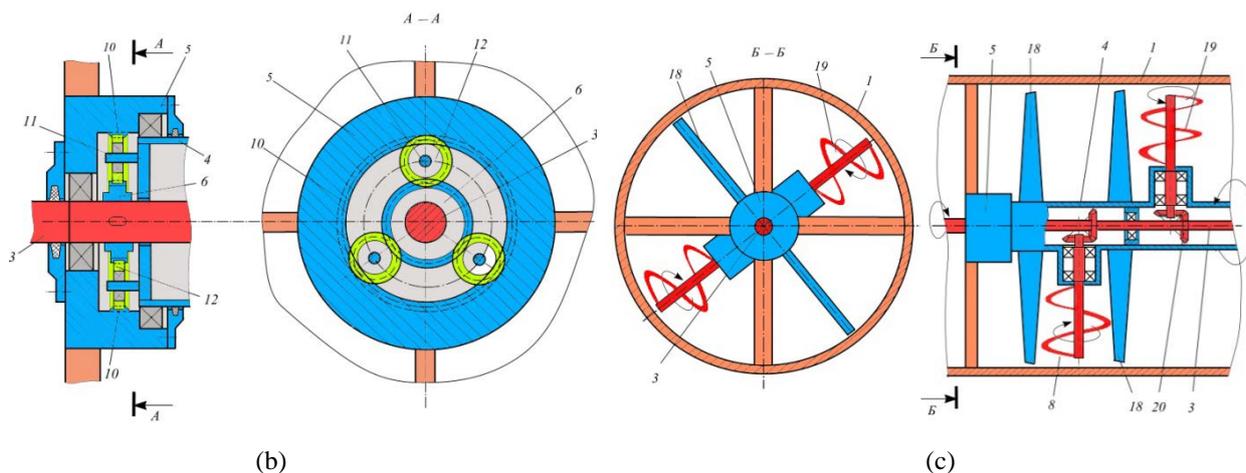


Рисунок 3. Лопастной смеситель (а); продольные разрезы (б, с): 1 – корпус; 2 – патрубки для загрузки ингредиентов; 3, 4 – быстроходный и тихоходный валы; 5 – опора; 6, 20 – зубчатые колёса; 7, 8, 9 – камеры; 10 – неподвижное колесо; 11 – водило; 12 – спутник; 13 – форсунка; 14 – крышка; 15, 18 – лопасти; 16, 17, 19 – спирали; 21 – шнек; 22 – матрица; 23 – привод

Figure 3. A paddle mixer (a); longitudinal sections (b, c): 1 – body; 2 – pipes for ingredients loading; 3, 4 – a high-speed and low-speed shafts; 5 – support; 6, 20 – gear; 7, 8, 9 – camera; 10 – stationary wheel; 11 – the carrier; 12 – satellite; 13 – nozzle; 14 – cover; 15, 18 – blades; 16, 17, 19 – helix; 21 – screw; 22 – matrix; 23 – drive

Конструкция предлагаемого смесителя позволит сократить продолжительность процесса смешивания, снизить удельные энергозатраты обеспечить высокую однородность

многокомпонентной смеси; расширить область применения смесителя с учётом особенностей физико-механических характеристик смешиваемых ингредиентов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Афанасьев В. А. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов. Том 2. Кн. в 2-х томах. Воронеж: Элист, 2008. 298 с.

2 Панин И. Г., Колпаков Ю.М. Методика оценки однородности комбикормовой продукции // Аграрная наука. 2004. № 8. С. 21 -22.

3 Лыткина Л. И., Шевцов С. А., Назарьева Е.С., Довтаев Л.Ш. Математическая модель процесса смешивания полифункциональных композиций в смесителе-грануляторе // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. № 5. С. 99 – 103.

4 Иванец В. Н., Бородулин Д. М., Андрюшков А. А. Анализ работы смесителей непрерывного действия центробежного типа на основе корреляционного подхода // Хранение и переработка сельхоз сырья. 2012. № 8. С. 23-26.

5 Пат. 2347606 РФ, МПК⁷ В 01 F 7/02. Смеситель-экструдер / Шевцов А. А., Лыткина Л. И., Чайкин И. Б., Острикова Е. А.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. № 2007146093 / 15; Заявл. 11.12.2007; Опубл. 27.02.2009, Бюл. № 6.

6 Остриков А.Н., Глухов М.А., Рудометкин А.С., Окулич-Казарин Е.Г. Экструзионная технология пищевых текстуратов // Пищевая промышленность. 2007. № 9. С. 18-21.

7 Alvarez A. J., Myerson A. S. Continuous plug flow crystallization of pharmaceutical compounds // Crystal Growth & Design. 2010. V. 10. №. 5. P. 2219-2228. doi: 10.1021/cg901496s

8 Marikh K. et al. Influence of stirrer type on mixture homogeneity in continuous powder mixing: a model case and a pharmaceutical case // Chemical Engineering Research and Design. 2008. V. 86. №. 9. P. 1027-1037. doi:10.1016/j.cherd.2008.04.001

REFERENCES

1 Afanas'ev V.A. Rukovodstvo po trknologii kombikormov, vitaminno-belkovykh kontsentratov i premiksov [Mixed feed technology guide, protein-vitamin-mineral concentrates and premixes]. Voronezh, Elist, 2008. 298 p.

2 Panin I.G., Kolkpakov Yu.M. Methodology to evaluate the homogeneity of mixed fodder production. *Agrarnaya nauka* [Agrarian science] 2004, no. 8, pp. 21 -22. (in Russian).

3 Lytkina L.I., Shevtsov S.A., Nazareva E.S., Dovtaev L.S. Mathematical model of multifunctional mixing compositions in a mixer granulator. *Vestnik Voronezhskogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Technical University] 2013, no. 5, pp. 99 - 103. (in Russian).

4 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Andryushkov A.A. The analysis of operation of mixers of continuous action of centrifugal type on the basis of correlation approach. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials] 2012, no. 8, pp. 23-26. (in Russian).

5 Shevtsov A.A., Lytkina L.I., Chaykin I.B., Ostrikova E. A. Smesitel'-ekstruder [Mixer-extruder] Patent RF, no. 2347606, 2007. (in Russian).

6 Ostrikov A.N., Glukhov M.A., Rudometkin S.A., Okulich-Kazarin, E.G. Extrusion technology of food texture. *Pishchevaya promyshlennost'*. [Food industry] 2007, no. 9, pp. 18-21. (in Russian).

7 Alvarez A. J., Myerson A. S. Continuous plug flow crystallization of pharmaceutical compounds. *Crystal Growth & Design*. 2010, vol. 10, no. 5, pp. 2219-2228. doi: 10.1021/cg901496s

8 Marikh K. et al. Influence of stirrer type on mixture homogeneity in continuous powder mixing: a model case and a pharmaceutical case. *Chemical Engineering Research and Design*. 2008, vol. 86, no. 9, pp. 1027-1037. doi:10.1016/j.cherd.2008.04.001

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лариса И. Лыткина д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larissaig2410@rambler.ru

Александр А. Шевцов д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, shevalol@rambler.ru

Евгения С. Шенцова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, evgeniya-shencova@yandex.ru

Оксана А. Апалихина соискатель, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, oxana2031@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Лариса И. Лыткина предложила методику проведения эксперимента, провела обобщение, написала рукопись

Александр А. Шевцов консультация в ходе исследования

Евгения С. Шенцова обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Оксана А. Апалихина первичная обработка данных, проведение расчетов, несет ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 13.04.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 18.05.2016

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Larisa I. Lytkina d.t.sc., professor, Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, 394036, larissaig2410@rambler.ru

Aleksandr A. Shevtsov d.t.sc., professor, Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, 394036, shevalol@rambler.ru

Evgeniya S. Shentsova d.t.sc., professor, Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, 394036, evgeniya-shencova@yandex.ru

Oksana A. Apalikhina postgraduate student Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, 394036, oxana2031@mail.ru

CONTRIBUTION

Larisa I. Lytkina proposed a scheme of the experiment, spent generalization, wrote manuscript

Aleksandr A. Shevtsov consultation during the study

Evgeniya S. Shentsova review of the literature on an investigated problem

Oksana A. Apalikhina primary data processing, carrying out calculations, it is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.13.2016

ACCEPTED 5.18.2016