

Определение сглаживающей способности вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа

Дмитрий М. Бородулин	¹	borodulin_dmitri@list.ru
Андрей Б. Шушпанников	²	3089961@mail.ru
Татьяна В. Зорина	¹	tanya.kaznacheeva.92@mail.ru
Евгений А. Шушпанников	¹	Anovladi@mail.ru
Виталий Н. Иванец	¹	tppp@kemsu.ru

¹ Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650043, Россия

² Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056, Россия

Аннотация. В настоящее время всё большую популярность получают пищевые полуфабрикаты из сыпучих материалов (СМ). С увеличением объема их производства порошкообразные материалы целесообразно смешивать в смесителях непрерывного действия (СНД). Для установившихся режимов работы СНД движение материала внутри аппарата принято считать случайными стационарными процессами, между которыми существует причинно-следственная связь. Основными показателями для ее оценки являются коэффициент корреляции, математическое ожидание и дисперсия. Связь между входящим и выходящим из аппарата сигналами устанавливают с помощью уравнений материального баланса, описывая расходы потоков сыпучего материала случайными стационарными функциями $X(t)$. Далее, находя вероятностные характеристики входящего и выходящего сигналов, можно судить о «качестве» работы смесителя или подбирать требуемую топологию потоков внутри аппаратной среды путем сравнения отношений их дисперсий или среднеквадратичных отклонений. В данной работе рассмотрена схема движения материальных потоков в разработанном нами смесителе, реализующем метод "последовательного разбавления". При помощи системы уравнений материального баланса, отображающего процесс движения материала в СНД вибрационного типа, рассмотрено влияние рециркуляции на сглаживающие свойства аппарата. Приведены значения величины сглаживающей способности S от коэффициента рециркуляции α и количества витков n . Выявлено, что увеличение сглаживающей способности ведет к возрастанию количества витков, а соответственно и самих габаритов СНД вибрационного типа, следовательно, целесообразно использовать смеситель с количеством витков равно 6 и коэффициентом рециркуляции равным 0,7, так как при этом сглаживающей способности равной 1753 достаточно для получения качественной готовой смеси при соотношении компонентов 1:50. С помощью корреляционного анализа возможно прогнозировать однородность материального потока на выходе аппарата при известных значениях времени нахождения в нем материала, коэффициентах рециркуляции и дисперсии входного сигнала.

Ключевые слова: смеситель, сыпучие материалы, последовательное разбавление, корреляционный анализ, математическая модель

Determination of the smoothing ability of the vibration mixer on the basis of the correlation analysis

Dmitry M. Borodulin	¹	borodulin_dmitri@list.ru
Andrey B. Shushpannikov	²	3089961@mail.ru
Tatyana V. Zorina	¹	tanya.kaznacheeva.92@mail.ru
Evgeniy A. Shushpannikov	¹	Anovladi@mail.ru
Vitaliy N. Ivanets	¹	tppp@kemsu.ru

¹ Kemerovo State University, Red street, 6 Kemerovo, 650043, Russia

² Kemerovo state agricultural institute, Markovtseva street, 5, Kemerovo, 650056, Russia

Abstract. Now the increasing popularity is received by food semi-finished products from the bulk materials. With increase in volume of their production it is expedient to mix powdery materials in the mixers of continuous action. For the set working hours of the mixers of continuous action the movement of material in the device is considered to be casual stationary processes between which there is relationship of cause and effect. Key indicators for her assessment is the correlation coefficient, population mean and dispersion. Communication between entering and going out of the device signals is established by means of the equations of material balance, describing expenses of streams of bulk stochastic stationary functions $X(t)$. Further, finding probabilistic characteristics of the entering and leaving signals, it is possible to judge "quality" of operation of the mixer or to select the required topology of streams in the hardware environment by comparison of the relations of their dispersions or mean square deviations. In this work the scheme of the movement of material streams in the mixer developed by us realizing a method of "consecutive dilution" is considered. By means of the system of the equations of the material balance displaying process of the movement of material in the mixers of continuous action of vibration type influence of recirculation on the smoothing properties of the device is considered. Values of size of the smoothing ability of S from recirculation coefficient α and quantities of rounds of n are given. It is revealed that increase in the smoothing ability leads to increase of quantity of rounds, and respectively and dimensions of the mixers of continuous action of vibration type, therefore, it is expedient to use the mixer with quantity of rounds equal 6 and coefficient of recirculation equal 0.7 as at the same time the smoothing ability equal is enough 1753 for receiving qualitative ready mix at a ratio of components 1:50. By means of the correlation analysis it is possible to predict uniformity of a material stream at the device exit at the known values of the time spent in him of material, coefficients of recirculation and dispersion of an entrance signal.

Keywords: mixer, bulk materials, consecutive dilution, correlation analysis, mathematical model

Для цитирования

Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Иванец В.Н. Определение сглаживающей способности вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 30–34. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-30-34

For citation

Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Zorina T.V., Shushpannikov E.A., Ivanets V.N. Determination of the smoothing ability of the vibration mixer on the basis of the correlation analysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 30–34. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-30-34

Введение

Одним из важных факторов, определяющих здоровье человека, является питание со сбалансированным рационом. В настоящее время всё большую популярность получают пищевые полуфабрикаты из сыпучих материалов (СМ), которые часто представляют собой фасованные многокомпонентные смеси из порошкообразных или мелкозернистых компонентов [1]. С увеличением спроса на данные смеси повышается объем их производства. Известно, что порошкообразные материалы целесообразно смешивать в смесителях непрерывного действия (СНД) вибрационного типа [2-5]. Это позволяет упростить автоматизацию процесса, уменьшить загрязнения пылевыми выбросами окружающей среды и производственных помещений, улучшить условия труда и культуру производства, при этом увеличить производительность труда и одновременно снизить энергопотребление, металлоёмкость и себестоимость готовой смеси.

В тех случаях когда необходимо получать высококачественные сыпучие композиции при соотношении компонентов до 1:50, целесообразно использовать винтовые вертикальные вибрационные СНД [2-6]. Они обладают хорошей способностью сглаживать флуктуации расходов входящих материальных потоков. При математическом описании процесса смешивания благодаря найденным вероятностным характеристикам входящего и выходящего сигналов можно судить о «качестве» работы смесителя, что представляет большой практический интерес для пищевой и других отраслей народного хозяйства [7-9].

Цель работы – определить сглаживающую способность вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа.

Задача – математически описать процесс смешивания в вибрационном смесителе с применением корреляционного анализа.

Материалы и методы

Для установившихся режимов работы СНД движение материала внутри аппарата принято считать случайными стационарными процессами, между которыми существует причинно-следственная связь. Основными показателями для ее оценки являются коэффициент корреляции, математическое ожидание и дисперсия. Связь между входящим и выходящим из аппарата сигналами устанавливают с помощью уравнений материального баланса [10-11], описывая расходы потоков сыпучего материала случайными стационарными функциями $X(t)$. Далее, находя вероятностные характеристики входящего и выходящего сигналов, можно судить о «качестве» работы смесителя или подбирать требуемую топологию потоков внутри аппаратной

среды путем сравнения отношений их дисперсий или среднеквадратичных отклонений:

$$S = \frac{\sigma_{xo}^2}{\sigma_{xв}^2} \text{ или } s = \frac{\sigma_{xo}}{\sigma_{xв}}, \quad (1)$$

где s – сглаживающая способность смесителя; σ_{xo}^2 и $\sigma_{xв}^2$ – дисперсии входного и выходного сигналов; σ_{xo} и $\sigma_{xв}$ – среднеквадратичные отклонения сигналов.

Математическая модель, созданная на основе корреляционного анализа, позволяет определить зависимость между дисперсиями входного и выходного сигналов. С ее помощью возможно прогнозировать однородность материального потока на выходе аппарата при известных значениях времени нахождения в нем материала, коэффициентах рециркуляции и дисперсии входного сигнала [12].

Рассмотрим схему движения материальных потоков в разработанном смесителе, реализующем метод «последовательного разбавления» [13], где за ячейку примем один виток спирального рабочего органа. Схема движения материальных потоков представлена на рисунке 1.

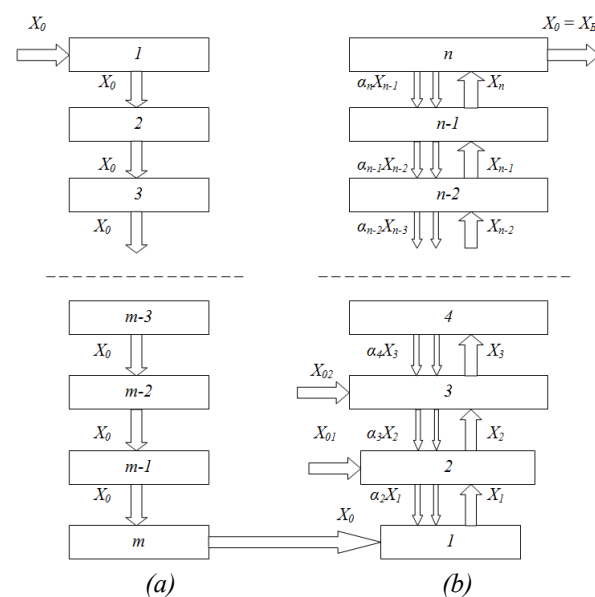


Рисунок 1. Схема движения материальных потоков в винтовом СНД с использованием метода «последовательного разбавления»: а – дополнительный рабочий орган; б – основной рабочий орган

Figure 1. Traffic pattern of material flow in a continuous screw mixer using the method of "sequential dilution": а – additional working body; б – the main working body

Вибрационный СНД [13] работает следующим образом: ингредиенты (X_0) поступают через загрузочный бункер на дополнительный рабочий орган. После чего они поступают на основной рабочий орган через сквозное отверстие в стенке бункера. Помимо смешивающего

эффекта, СМ поднимается по лотку вверх, так как угол подъема колебаний больше угла подъема винтовой линии лотка. Часть материала просевается через перфорацию, образуя межвитковую рециркуляцию. Вторую долю ингредиента (X_{01}) подают через патрубок на винтовой перфорированный лоток, который в этом месте расширяется пропорционально количеству поступающего материала. Оставшуюся долю (X_{02}) подают на несколько лотков выше. Таким образом осуществляется "последовательное разбавление" смеси на основном рабочем органе. Расширение лотка необходимо для того, чтобы избежать резкого увеличения высоты кипящего слоя, что может привести к уменьшению скорости транспортирования сыпучего материала и интенсивности его виброкипения [6]. В итоге готовый продукт выводится из аппарата через патрубок.

Материальный баланс для материала, движущегося по дополнительному рабочему органу (рисунок 1, а), был ранее рассмотрен в ряде работ исследователей [6], в результате которых был сделан вывод, что в прямоточном смесителе сглаживающая способность, вне зависимости от количества витков m , стремится к 1, т. е. $S \rightarrow 1$.

Далее рассмотрим новую схему движения материала (рисунок 1, б), предусматривающую метод «последовательного разбавления» по основному рабочему органу, состоящему из 6 витков.

Примем, что подача части материала осуществляется на 2-й (X_{01}) и 3-й (X_{02}) витки. Кроме того, должно осуществляться требование $X_0 = X_{01} + X_{02}$, примем в равных количествах

$$X_{01} = \frac{1}{2} X_0, \quad X_{02} = \frac{1}{2} X_0.$$

При помощи системы уравнений материального баланса, отображающего процесс движения материала в СНД, рассмотрим влияние рециркуляции на сглаживающие свойства вибрационного аппарата [14–15]:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = \frac{1}{2} X_0 + \alpha_2 X_1 \\ X_2 = X_1 + \alpha_3 X_2 + \alpha_1 \frac{1}{2} X_0 - \alpha_2 X_1 \\ X_3 = X_2 + \frac{1}{2} X_0 + \alpha_4 X_3 - \alpha_3 X_2 - \alpha_1 \frac{1}{2} X_0, \\ X_4 = X_3 + \alpha_5 X_4 - \alpha_4 X_3 \\ X_5 = X_4 + \alpha_6 X_5 - \alpha_5 X_4 \\ X_6 = X_5 - \alpha_6 X_5 \\ X_B = X_5 - \alpha_6 X_5 \end{array} \right.$$

где $X_0(t) = X_0$ – массовый расход материала, питающего смеситель; $X_B(t) = X_B$ – массовый расход материала на выходе из смесителя; $X_i(t) = X_i$ – массовый расход материала, сходящего с i -го витка основного

рабочего органа; $j = 1, 2, \dots, m$, $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер витка дополнительного и основного рабочего органа; m, n – количество витков дополнительного и основного рабочего органа; α – коэффициент «внутренней» рециркуляции, характеризующий часть массового расхода материала поступающего с i -го витка основного рабочего органа на нижележащий, $0 \leq \alpha_{ki} \leq 1$; t – текущее время.

Система, определяющая корреляционные функции витков основного рабочего органа, примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} Kx_1 = \frac{1}{2} Kx_0 + \alpha_2^2 Kx_1 \\ Kx_2 = Kx_1 + \alpha_3^2 Kx_2 + \alpha_1^2 \frac{1}{2} Kx_0 - \alpha_2^2 Kx_1 \\ Kx_3 = Kx_2 + \frac{1}{2} Kx_0 + \alpha_4^2 Kx_3 - \alpha_3^2 Kx_2 - \alpha_1^2 \frac{1}{2} Kx_0, \\ Kx_4 = Kx_3 + \alpha_5^2 Kx_4 - \alpha_4^2 Kx_3 \\ Kx_5 = Kx_4 + \alpha_6^2 Kx_5 - \alpha_5^2 Kx_4 \\ Kx_6 = Kx_5 - \alpha_6^2 Kx_5 \\ Kx_B = Kx_5 - \alpha_6^2 Kx_5 \end{array} \right. \quad (2)$$

где $Kx_i(\tau) = Kx_i$ – корреляционные функции материальных потоков; τ – интервал корреляции; $\sigma_{x_0}^2 = Kx_0(0)$, $\sigma_{x_B}^2 = Kx_B(0)$ – дисперсии входящего и выходящего потоков.

Решая систему уравнений (2) методом подстановки и выражая Kx_0 , получим:

$$Kx_B = Kx_0 \left[\frac{(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1-\alpha_2) + \alpha_1^2(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1+\alpha_2) + (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)^2(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)}{2(1+\alpha_6)(1+\alpha_5)(1+\alpha_4)(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)} \right]. \quad (3)$$

Преобразуя выражение (3), получим:

$$\sigma_{x_B}^2 = \sigma_{x_0}^2 \left[\frac{(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1-\alpha_2) + \alpha_1^2(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1+\alpha_2) + (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)^2(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)}{2(1+\alpha_6)(1+\alpha_5)(1+\alpha_4)(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)} \right].$$

Значение степени сглаживания основного рабочего органа согласно формуле (1) описывается уравнением:

$$S = \left[\frac{2(1+\alpha_6)(1+\alpha_5)(1+\alpha_4)(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)}{(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1-\alpha_2) + \alpha_1^2(1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_3)(1+\alpha_2) + (1-\alpha_6)(1-\alpha_5)(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)^2(1+\alpha_3)(1+\alpha_2)} \right].$$

Примем коэффициенты рециркуляции равными между собой, т. е. $\alpha_1 = \dots = \alpha_n = \alpha$. В результате значение сглаживающей способности S основного рабочего органа для $n=6$ запишется следующим образом:

$$s = \sqrt{\frac{2(1+\alpha)^5}{(1-\alpha)^5 + \alpha^2(1-\alpha)^4(1+\alpha) + (1-\alpha)^5(1+\alpha)^2}}$$

По аналогии проводится расчет для любого количества витков. Зависимость величины сглаживания S от коэффициента рециркуляции α и количества витков n представлена в таблице 1.

Таблица 1.
Значения параметра $S(\alpha, n)$

Table 1.
Value of parameter $S(\alpha, n)$

$\alpha \setminus n$	5	6	7	8
0,20	4,05	6,08	9,11	13,67
0,30	8,33	15,46	28,72	53,34
0,40	17,79	41,50	96,83	225,94
0,50	40,50	121,50	364,5	1093
0,60	102,40	409,60	1638	6554
0,70	309,34	1753	9933	56290
0,80	1312	11811	106300	956600

Из полученных данных видно, что минимальное значение сглаживающей способности вибрационного СНД, равное 4,05 единиц,

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Dubey A. Powder flow and blending // Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. 2017. P. 39–69.
- 2 Николаев В.Н., Фетисов Е.О., Зязев Е.В. Анализ вибрационных смесителей сыпучих кормов // Инновации, технологии, наука: сб. статей международной научно-практической конференции. Самара, 2015. С. 302.
- 3 Коробчук М.В., Веригин А.Н., Джангирян В.Г., Фадеев Д.В. и др. Современное смесительное оборудование для приготовления многокомпонентных энергонасыщенных композиций // Вестник Казанского технологического университета. 2013. С. 240–243.
- 4 Ляшенко В.С. Обзор и анализ смесителей сыпучих кормов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2015. С. 56–60.
- 5 Пушко В.А., Бойко И.Г. Перспективы применения смесительного оборудования вибрационного типа в условиях инновационного комбикормового производства // Вестник ВНИИМЖ. 2017. № 1 (25). С. 78–82.
- 6 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shyshpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers // Foods and Raw Materials. 2015. V. 3. № 1. P. 62–69.
- 7 Rogers A., Lerapetritou M.G. Discrete element reduced-order modeling of dynamic particulate systems // American Institute of Chemical Engineers Journal. 2014. № 60. P. 3184–3194.
- 8 Sen M., Dubey A., Singh R., Ramachandran R. Mathematical Development and Comparison of a Hybrid PBM-DEM Description of a Continuous Powder Mixing Process // Journal of Powder Technology. 2013. P. 1–11.

достигается при $n=5$ и $\alpha=0,2$, а максимальное $S_{\max} = 956600$ – при 8 витках и коэффициенте рециркуляции равном 0,8. Проанализировав данные таблицы 1, можно сделать вывод, что наиболее существенные величины значения параметра S лежат в нижней правой зоне. Добиться наилучшего параметра можно, варьируя коэффициентом рециркуляции α и количеством витков n . В связи с тем, что увеличение сглаживающей способности ведет к увеличению количества витков, а соответственно и к увеличению габаритов СНД, целесообразно привести следующие рациональные параметры работы аппарата. При количестве витков 5 или 6 и коэффициенте рециркуляции, равном 0,7, сглаживающая способность варьируется в пределах 309÷1753 единиц. Этого вполне достаточно для применения вибрационного СНД на различных предприятиях с целью получения качественных смесей при соотношении смешиваемых компонентов 1:50.

Заключение

С помощью представленного корреляционного анализа схем движения сыпучих компонентов возможно прогнозировать однородность материального потока на выходе из вибрационного СНД при известных значениях времени нахождения материала в аппарате, коэффициентах рециркуляции и дисперсии входного сигнала.

9 Селиванов Ю.Т., Поляков Б.Е. Оптимизация процесса смешивания сыпучих материалов в смесителях непрерывного действия // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-27: сборник трудов XXVII Международной научной конференции. Тамбов, 2014. Т. 1. С. 66–69.

10 Ильиных Г.В., Устьянцев Е.А., Вайсман Я.И. Построение материального баланса линии ручной сортировки твердых бытовых отходов // Экология и промышленность России. 2013. №1. С. 22–25.

11 Киселев Д.И., Козымаев А.С. Влияние организации направленного движения материальных потоков в центробежно-шнековом смесителе // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы международной научной конференции. Кемерово, 2015. С. 159–161.

12 Бакин М.В., Капранова А.Б., Верлока И.И. Современные методы математического описания процесса смешивания сыпучих материалов // Фундаментальные исследования. 2014. № 5. С. 923–927.

13 Пат. № 2626415, RU, B01F 11/00. Вибрационный смеситель / Шушпанников А.Б., Зорина Т.В., Шушпанников Е.А., Шушпанникова А.С. Заявл. 2016149970; Оpubл. 27.07.2017, Бюл. № 21.

14 Fedorovich V.A., Mitsyk A.V. Mathematical Simulation of Kinematics of Vibrating Boiling Granular Medium at Treatment in the Oscillating Reservoir // Key Engineering Materials. 2014. V. 581. P. 456–461.

15 Бородулин Д.М., Ратников С.А., Козымаев А.С., Андришкова Е.А. и др. Моделирование движения материальных потоков в центробежно-шнековом смесителе // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 1. С. 102–108.

REFERENCES

- 1 Dubey A. Powder flow and blending. Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations. 2017. pp. 39–69.
- 2 Nikolaev V.N., Fetisov E.O., Zyazev E.V. Analysis of vibration mixers of loose forages. Innovacii, tekhnologii, nauka [Innovation, technology, science: a collection of articles of the international scientific-practical conference]. 2015. pp. 302. (in Russian)
- 3 Korobchuk M.V., Verigin A.N., Dzhangiryan V.G., Fadeyev D.V., Abdullin I.A. Modern mixing equipment for preparation of multicomponent power saturated compositions. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan technological university]. 2013. pp. 240–243. (in Russian)
- 4 Lyashenko V.S. Review and analysis of mixers for bulk feed. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University]. 2015. pp. 56–60. (in Russian)
- 5 Pushko V.A., Boyko I.G. The prospects of use of the mixing equipment of vibration type in the conditions of innovative formula-feed production. *Vestnik VNIIMZh* [Messenger of VNIIMZh]. 2017. no. 1 (25). pp. 78–82. (in Russian)
- 6 Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shyshpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers. *Foods and Raw Materials*. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 62–69.
- 7 Rogers A., Lerapetritou M.G. Discrete element reduced-order modeling of dynamic particulate systems. *American Institute of Chemical Engineers Journal*. 2014. no. 60. pp. 3184–3194.
- 8 Sen M., Dubey A., Singh R., Ramachandran R. Mathematical Development and Comparison of a Hybrid PBM-DEM Description of a Continuous Powder Mixing Process. *Journal of Powder Technology*. 2013. pp. 1–11.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, директор Института инженерных технологий, Кемеровский государственный университет, б-р. Строителей 47, 650056, Россия, borodulin_dmitri@list.ru
Андрей Б. Шушпанников д.т.н., профессор, Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, ул. Марковцева, 5, Кемерово, 650043, Россия, 3089961@mail.ru
Татьяна В. Зорина аспирант, кафедра «Технологическое проектирование пищевых производств», Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650043, Россия, tanya.kaznacheeva.92@mail.ru
Евгений А. Шушпанников аспирант, кафедра «Технологическое проектирование пищевых производств», Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650043, Россия, Anovladi@mail.ru
Виталий Н. Иванец д.т.н., профессор, кафедра «Технологическое проектирование пищевых производств», Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, Кемерово, 650043, Россия, trpp@kemsu.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Дмитрий М. Бородулин корректировал рукопись до подачи в редакцию
Андрей Б. Шушпанников консультация в ходе исследования
Татьяна В. Зорина выполнила расчёты, написала рукопись и несёт ответственность за плагиат
Евгений А. Шушпанников обзор литературных источников по исследуемой проблеме
Виталий Н. Иванец консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 28.11.2018

- 9 Selivanov Yu.T., Polyakov B.E. Optimization of the process of mixing bulk materials in continuous mixers. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh - MMTT-27* [Mathematical methods in equipment and technologies - MMTT-27: Proceedings of the XXVII International Conference]. Tambov, 2014. vol. 1. pp. 66–69. (in Russian)
- 10 Ilinykh G. V., Ustyantsev E.A., Weismann Ya.I. Creation of material balance of the line of manual sorting of municipal solid waste. *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia]. 2013. no. 1. pp. 22–25. (in Russian)
- 11 Kiselyov D.I., Kozymayev A. S Influence of the organization of the directed movement of material streams in a centrifugal shnekovom the mixer. *Pishchevye innovacii i biotekhnologii* [Food Innovation and Biotechnology: Proceedings of the International Scientific Conference]. Kemerovo, 2015. pp. 159–161.
- 12 Bakin M.V., Kapranova A.B., Verloka I.I. Modern methods of the mathematical description of process of mixing of bulks. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic researches]. 2014. no. 5. pp. 923–927. (in Russian)
- 13 Shyshpannikov A.B., Zorina T.V., Shyshpannikov E.A., Shyshpannikova A.S. Vibracionnyj smesitel' [Vibration mixer]. Patent RF, no. 2626415, 2017.
- 14 Fedorovich V.A., Mitsyk A.V. Mathematical Simulation of Kinematics of Vibrating Boiling Granular Medium at Treatment in the Oscillating Reservoir. *Key Engineering Materials*. 2014. vol. 581. pp. 456–461.
- 15 Borodulin D.M., Ratnikov S.A., Kozymayev A. S., Andryushkova E.A. et al. Modeling of the movement of material streams in a centrifugal shnekovom the mixer. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk state agricultural university]. 2015. no. 1. pp. 102–108. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), professor, director of the institute of engineering technologies, Kemerovo State University, Boulevard of Builders 47, 650056, Russia, borodulin_dmitri@list.ru
Andrey B. Shushpannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, Kemerovo state agricultural institute, Markovtseva street, 5, Kemerovo, 650043, Russia, 3089961@mail.ru
Tatyana V. Zorina graduate student, technological design of food production department, Kemerovo State University, Red street, 6 Kemerovo, 650043, Russia, tanya.kaznacheeva.92@mail.ru
Evgeniy A. Shushpannikov graduate student, technological design of food production department, Kemerovo State University, Red street, 6 Kemerovo, 650043, Russia, Anovladi@mail.ru
Vitaliy N. Ivanets Dr. Sci. (Engin.), professor, technological design of food productions department, Kemerovo state university, Red street, 6, Kemerovo, 650043, Russia, trpp@kemsu.ru

CONTRIBUTION

Dmitry M. Borodulin correct the manuscript before filing in editing and is responsible
Andrey B. Shushpannikov consultation during the study
Tatyana V. Zorina performed computations, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism
Evgeniy A. Shushpannikov review of the literature on an investigated problem
Vitaliy N. Ivanets consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.15.2018

ACCEPTED 11.28.2018