

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-2-31-37

УДК 621.929.2

## ПРИМЕНЕНИЕ БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

## APPLICATION OF THE DRUM MIXER OF THE CENTRIFUGAL TYPE FOR OBTAINING DRY CONSTRUCTION MIXTURES

Андрюшков Алексей Анатольевич<sup>1</sup>,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: aaa.ephnt@kuzstu.ru

Alexey A. Andryushkov<sup>1</sup>, C. Sc. in Engineering, assistant professor

Сухоруков Дмитрий Викторович<sup>2</sup>,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: pioner\_dias@mail.ru

Dmitriy V. Sukhorukov<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering, assistant professor

Евграфова Анна Борисовна<sup>1</sup>,

старший преподаватель, e-mail: eab.ephnt@kuzstu.ru

Anna B. Evgrafova<sup>1</sup>, senior lecturer

Тиунова Наталья Владимировна<sup>1</sup>,

старший преподаватель, e-mail: tn timer@kuzstu.ru

Natalya V. Tiunova<sup>1</sup>, senior lecturer

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup>Кемеровский государственный университет, 650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

<sup>2</sup>Kemerovo State University, 47 boulevard Stroitelei, Kemerovo, 650056, Russian Federation

### Аннотация:

Процесс смешивания присутствует во многих стадиях технологических производств. К таким производствам относят химическую, фармацевтическую, пищевую и многие другие промышленности. Чаще всего в смесеприготовительном процессе используют смесители периодического действия, они, как правило, достаточно металлоемкие и энергоемкие, а также замедляют процесс получения конечного продукта. Поэтому разработка эффективного оборудования является актуальной задачей.

В статье представлена готовая конструкция смесителя непрерывного действия барабанного типа для получения сухих мелкодисперсных строительных смесей, а также исследования по выбору рациональных параметров режимов работы для получения качественного готового продукта. Контроль качества конечной смеси осуществлялся с помощью коэффициента неоднородности  $V_c$ , ключевым компонентом служил ферромагнитный порошок. С помощью электронного частотомера была определена его концентрация на выходе из СНД. Обработывая результаты исследования, получили уравнения регрессии и построили поверхности отклика для модельных смесей. Анализируя поверхности отклика, возможно выбрать оптимальные режимы работы барабанного СНД и дать рекомендации по дальнейшему использованию смесителя.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанный СНД барабанного типа может производить смесь хорошего качества при соблюдении рекомендованных режимов работы.

**Ключевые слова:** Смешивание, СНД, барабанный смеситель, коэффициент неоднородности, сухие смеси.

### Abstract:

The mixing process is present in many branches of technological production: chemical, pharmaceutical, food and many others. Most often batch-type mixers are used in the mixing process. As a rule, they are metal and energy consuming. The disadvantage is relatively low productivity. Therefore, development of the effective equipment is

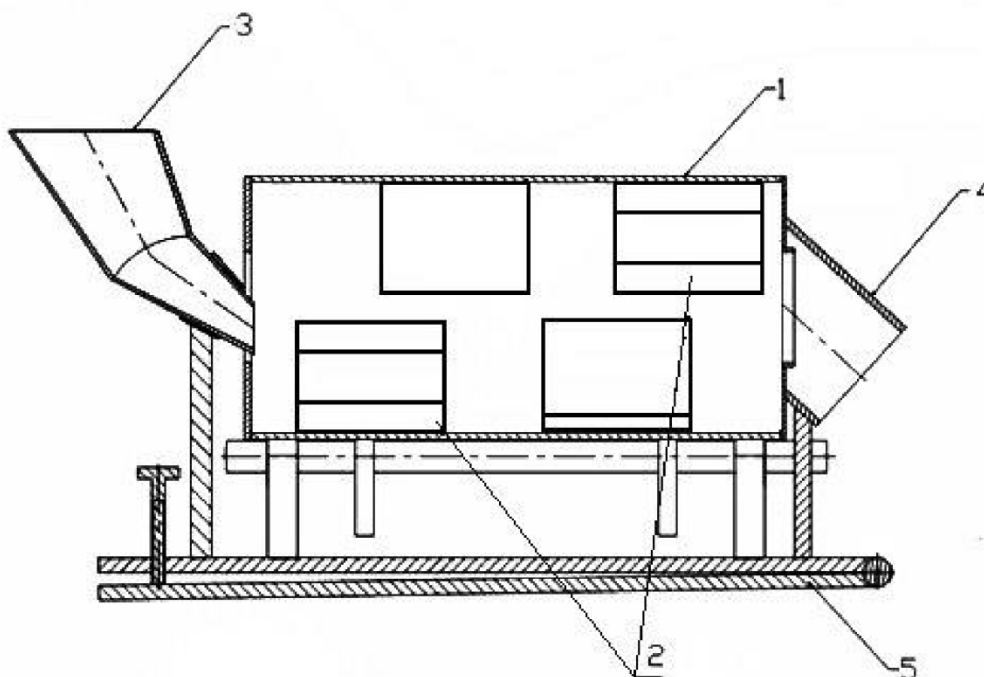


Рис. 1. Барабанный смеситель  
Fig. 1. Mixer drum

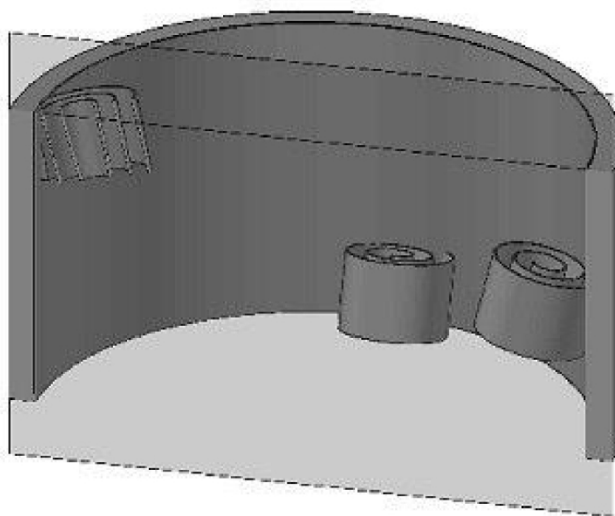


Рис. 2. Барабан смесителя в разрезе  
Fig. 2. Mixer drum in section

a crucial task for various industries.

The article presents a new design of a constant flow drum-type mixer for obtaining dry fine construction mixtures. The paper describes studies on the choice of rational operating parameters for obtaining fine end product. The quality control of the final mixture was carried out using the heterogeneity coefficient; the ferromagnetic powder served as a key component. Using an electronic frequency meter, the concentration was determined at the output of the mixer. Elaborating the results of the study, regression equations were obtained and response surfaces for model mixtures were constructed. Analysing the response surface, we can choose the operating parameters of the constant flow drum-type mixer and give recommendations for further use of the mixer. The obtained results indicate that the developed constant flow drum-type mixer can produce a mixture of good quality while maintaining the recommended operating modes.

Таблица. 1. Уровни и интервалы варьирования  
 Table 1. Levels and intervals of variation

Фактор и его обозначение	Верхний уровень	Нижний уровень	Центр плана	Интервал варьирования
Частота вращения ротора $n$ , об/мин	40	20	30	10
Соотношение смешиваемых компонентов $C$	50	30	40	10

Таблица. 2. Значения коэффициентов неоднородности, полученные на базовой конструкции ЦС  
 Table 2. The values of the coefficients of anisotropy obtained on the base design of the CM

Названия факторов и их значения		Коэффициент неоднородности $V_c$ , % для смесей:	
$C$	$n$	Речной песок - ферромагнитный порошок	Цемент М400 - ферромагнитный порошок
1:30	20	7,5	6,2
1:50	20	9,4	9,6
1:40	20	7,7	6,4
1:30	40	5,6	6,6
1:50	40	7,8	9,9
1:40	40	7,8	7,7
1:30	30	5,3	6,5
1:50	30	8,5	9,4
1:40	30	7,9	7,1

**Key words:** *Mixing, constant flow mixer, drum mixer, heterogeneity coefficient, dry mixes.*

Стадия смешивания и дозирования мелкодисперсных сыпучих материалов присутствует на многих производствах. Часто данная смесь является полуфабрикатом для дальнейшей переработки, это особенно актуально для производства сухих мелкодисперсных строительных смесей, представляющих собой продукт высокого качества, а не просто смесь песка и цемента. От того, как распределятся компоненты по готовой сухой смеси, в дальнейшем будет зависеть качество цементного раствора, поэтому использование традиционных методов на данный момент невозможно, т.к. это существенно снижает как качество, так и скорость производства [1-4].

Новые сухие строительные смеси включают в свой состав четыре группы основных компонентов: вяжущее вещество минерального происхождения, полимерные наполнители, которые отвечают за вязкость раствора, инертные наполнители и добавки-модификаторы, которые служат для изменения технических характеристик сухих строительных смесей.

Только квалифицированный персонал в современной лаборатории с высокотехнологичным оборудованием, в которой можно проводить испытания и анализ полученных образцов, способен составлять сложные рецептурные смеси.

Комбинируя минеральные и полимерные вяжущие вещества, можно получать высококачественные строительные смеси, обладающие отличной адгезией и высокими прочностными свойствами, а также специальными характеристиками. На

производстве таких смесей, как правило, используют смесители периодического действия, характеризующиеся значительной металло- и энергоемкостью. Помимо этого у них есть стадия загрузки и выгрузки материала из смесителя, что увеличивает время производства готового продукта [5].

Для получения качественных продуктов был разработан смеситель непрерывного действия барабанного типа (рисунок 1) [6]. Он содержит: смесительный барабан 1 (рисунок 2), на внутренней поверхности которого в произвольном порядке расположены восемь спиральных направляющих 2, загрузочное 3 и разгрузочное 4 устройства, станину 5.

Работа данного смесителя осуществляется следующим образом: через загрузочный патрубок 3 сыпучие материалы подаются во вращающийся смесительный барабан 1 и разделяются на два потока. Первый поток сыпучих материалов движется вдоль внутренней поверхности смесительного барабана 1, а второй попадает на внутреннюю поверхность спиралевидной направляющей 2, установленной под углом к продольной оси симметрии смесительного барабана 1. Это позволяет второму потоку сыпучих материалов закручиваться и двигаться в противоположном направлении по отношению к первому потоку материала и таким образом осуществлять частичную рециркуляцию смеси. Угол наклона спиральных направляющих 2 зависит от угла внутреннего трения компонентов смеси и от частоты вращения смесительного барабана 1. Сходя с поверхности спиральной направляющей 2,

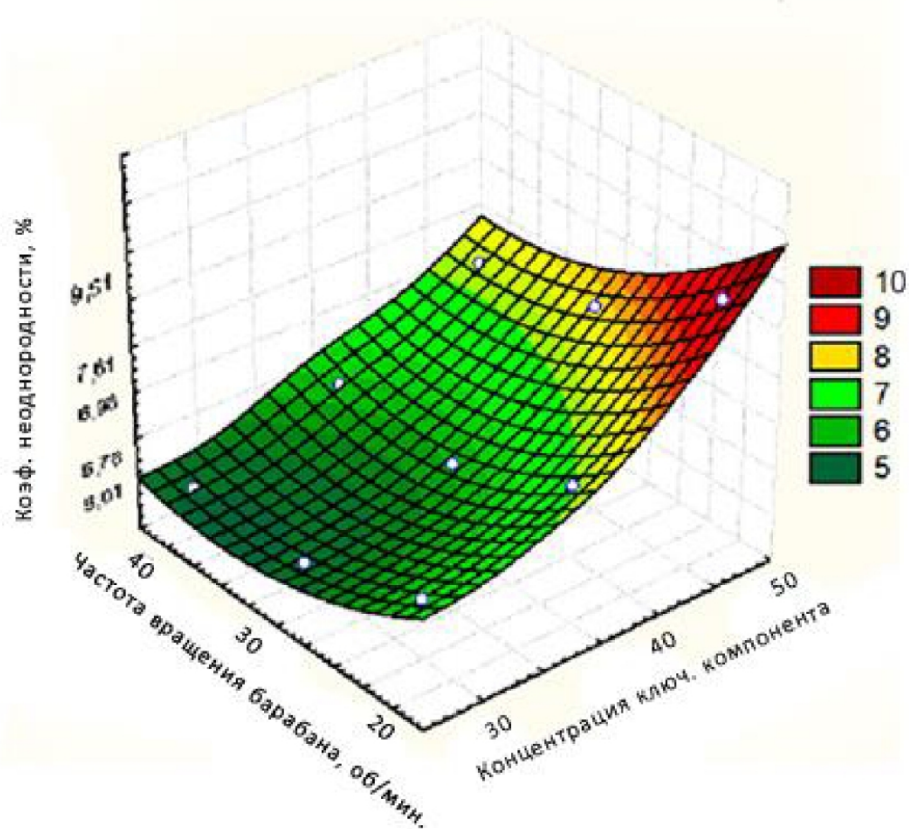


Рис. 3. Поверхность отклика для смеси речной песок - ферромагнитный порошок  
Fig. 3. The response surface for the mixture of river sand - ferromagnetic powder

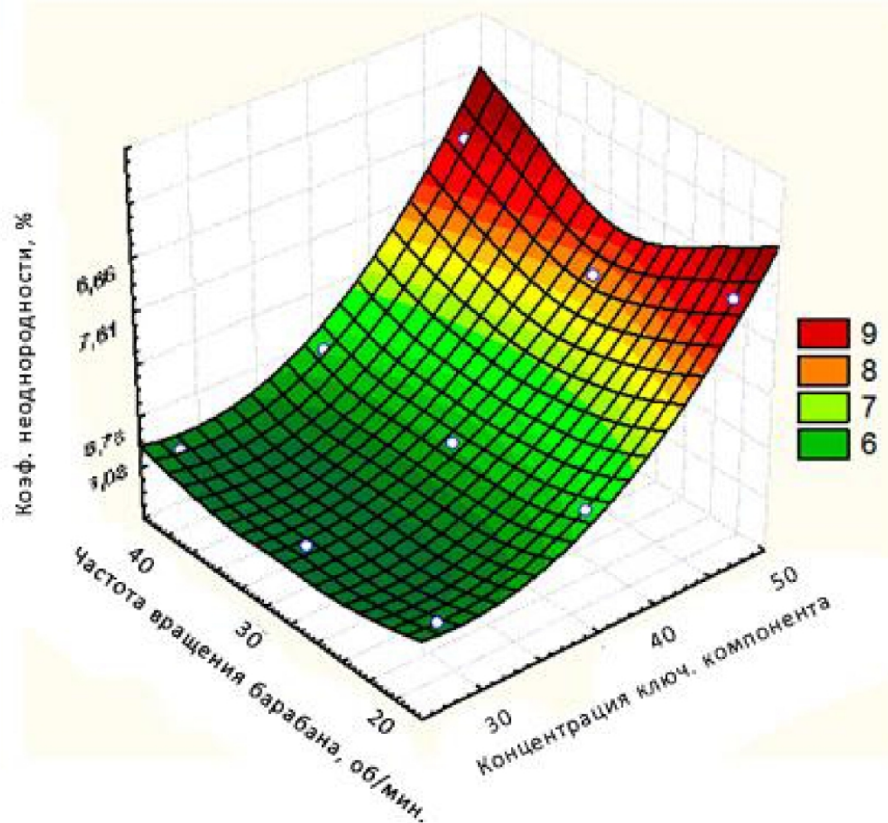


Рис. 4. Поверхность отклика для смеси цемент М400 - ферромагнитный порошок  
Fig. 4. The response surface for the mixture of cement M400 - ferromagnetic powder

второй поток материала накладывается на основной поток, поступающий через загрузочное устройство 3, и смешивается с ним при перемещении вдоль по внутренней цилиндрической поверхности барабана 1. После чего часть потока при продольном перемещении по смесительному барабану 1, вновь разделяется на два потока и повторяет процесс рециркуляции, попадая на каждую последующую спиральную направляющую 2. Пройдя по все длине смесительного барабана, готовая, однородная по составу, смесь выгружается через разгрузочный патрубок 4. Таким образом, предложенное устройство позволяет организовать внутреннюю рециркуляцию смеси и увеличить время нахождения частиц материала внутри аппарата [7-10].

Для проверки качества готовой продукции был поставлен и проведен эксперимент на двух модельных смесях: речной песок - ферромагнитный порошок; цемент - ферромагнитный порошок [11-12].

В результате эксперимента варьировали следующие параметры: соотношение смешиваемых компонентов  $C$  и частота вращения барабана  $n$ . Базовые (нулевые) точки и шаги варьирования приведены в таблице 1.

В качестве основного компонента поочередно использовались следующие материалы: речной песок и цемент М400, а ключевого – ферромагнитный порошок (ФП). В смеситель через загрузочный патрубок дозаторами подавались компоненты, на выходе из готовой смеси пробоотборником отбиралась проба на дальнейшее определение ее качества. Качество конечного продукта оценивали по

коэффициенту неоднородности  $V_c$ .

Усредненные значения коэффициента неоднородности, полученные на данном смесителе, представлены в таблице 2.

С помощью компьютерных программ были произведены дальнейшие обработки полученных экспериментальных данных, в результате чего были получены степенные зависимости для смеси ферромагнитного порошка и песка:

$$V_c = 249,99 + 0,64 \times n^2 - 19,68 \times n + 0,014 \times C^2 - 3,46 \times C + 0,1 \times n \times C \quad (1)$$

Цемент М400 - ферромагнитный порошок:

$$V_c = 151,38 + 0,38 \times n^2 - 11,81 \times n + 0,008 \times C^2 - 2,02 \times C + 0,06 \times n \times C \quad (2)$$

Данные поверхности отклика, описываемые уравнениями регрессии, показывают, что на качество конечного продукта влияет концентрация ключевого компонента в смеси, а также фракционный состав смеси [13-15]. Наиболее оптимальные параметры работы смесителя, при которых значения коэффициента неоднородности минимальны – частота вращения ротора 30 об/мин. и соотношение смешиваемых компонентов не превышает 1:40, но и при увеличении соотношения смесь получается удовлетворительного качества, т.к.  $V_c$  не превышает 10%. Увеличение частоты вращения ротора ведет к тому, что уменьшается время пребывания смеси в барабане, а это ухудшает качество готового продукта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Musina O. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: A case study / O. Musina, P. Putnik, M. Koubaa, F.J. Barba, R. Greiner, D. Granato, and Sh. Roohinejad // Trends in Food Science & Technology, Vol. 64, June 2017, p. 48–59.
2. Renchinvanjil Ya. Geometry and kinematic analyses of eccentric drum mixer / Ya. Renchinvanjil, D. Lkhanag, Ch. Baasandash // «Механики XXI века» № 14. – 2015. – С. 309-315.
3. Ostroukh A.V. Optimization of parameters dry construction mixtures in the horizontal drum mixer / A.V. Ostroukh, Ph.A. Wai // International Journal of Advanced Studies. 2014. Т. 4. № 2. p. 38-44.
4. Ivanets V.N. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers / V.N. Ivanets, D.M. Borodulin, A.B. Shushpannikov, D. V. Sukhorukov // Foods and Raw Materials, 2015, no. 3(1), p. 62-69.
5. Комаров С.С. Разработка и исследование барабанного смесителя непрерывного действия для приготовления сухой йогуртной основы : дис. канд. техн. наук : 05.18.12 / С.С. Комаров // Кемерово, 2016.
6. Пат. 2643962 РФ, МПК В01 F9/06 / Барабанный смеситель / Д.М. Бородулин, В.Н. Иванец, А.А. Андрюшков, Д.В. Сухоруков; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности» (Ru). – № 2016149974; заявл. 19.12.2016; опубл. 06.02.2018, Бюл. № 4.
7. Андрюшков А.А. Определение рациональных параметров работы винтового смесителя вибрационного типа / А.А. Андрюшков, Д.В. Сухоруков, С.В. Злобин // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств». – 2016. – С. 136-139.



8. Бородулин Д.М. Разработка и математическое моделирование непрерывно-действующих смесительных агрегатов центробежного типа для переработки сыпучих материалов. Обобщенная теория и анализ (кибернетический подход) / Д.М. Бородулин // ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». – 2013. – С. 201.
9. Андрюшков А.А. Разработка и исследование новых конструкций смесителей непрерывного действия центробежного типа для получения комбинированных продуктов дис. канд. техн. наук : 05.18.12 / А.А. Андрюшков // Кемерово, 2013
10. Бородулин Д.М. Определение сглаживающей способности барабанного смесителя непрерывного действия с регулируемыми лопастями / Д. М. Бородулин, С.С. Комаров // «Техника и технология пищевых производств» № 4 (31). – 2013. – С. 107-112.
11. Чупшев А.В. Влияние конструктивных параметров барабанного смесителя на неравномерность смеси / А.В. Чупшев, Н.В. Дмитриев // «Образование, наука, практика: инновационный аспект» Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия". 2015. С. 130-134.
12. Бородулин Д.М. Исследование работы барабанного смесителя для определения его геометрических размеров, при получении сухих комбинированных продуктов / Д.М. Бородулин, В.Н. Иванец, С.С. Комаров // «Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств» материалы II Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 84-87.
13. Остроух А.В. Имитационное моделирование неоднородности строительной смеси в горизонтальном барабанном смесителе / А.В. Остроух, П. Вэй, Л.А. Мью, Н.Е. Суркова // «В мире научных открытий» № 12-2 (60). - 2014.. - С. 766-778.
14. Коновалов В.В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Дмитриев, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс» Т. 1. № 9 (13). – 2013. – С. 77-84.
15. Коновалов В.В. Оптимизация параметров барабанного смесителя / В.В. Коновалов, Н.В. Дмитриев, А.В. Чупшев, В.П. Терюшков // «Нива Поволжья» № 4 (29). – 2013. – С. 41-47.

## REFERENCES

1. Musina O. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: A case study / O. Musina, P. Putnik, M. Koubaa, F.J. Barba, R. Greiner, D. Granato, and Sh. Roohinejad // Trends in Food Science & Technology, Vol. 64, June 2017, p. 48–59.
2. Renchinvanjil Ya. Geometry and kinematic analyses of eccentric drum mixer / Ya. Renchinvanjil, D. Lkhanag, Ch. Baasandash // «The mechanics of the XXI century» № 14. – 2015. – С. 309-315.
3. Ostroukh A.V. Optimization of parameters dry construction mixtures in the horizontal drum mixer / A.V. Ostroukh, Ph.A. Wai // International Journal of Advanced Studies. 2014. Т. 4. № 2. p. 38-44.
4. Ivanets V.N. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers / V.N. Ivanets, D.M. Borodulin, A.B. Shushpannikov, D. V. Sukhorukov // Foods and Raw Materials, 2015, no. 3(1), p. 62-69.
5. Komarov S.S. Development and research of continuous drum mixer for preparation of dry yogurt base :dis. kand. Techn. Sciences: 05.18.12 / S. S. Komarov // Кемерово, 2016.
6. Pat. 2643962 of the Russian Federation, IPC B01 F9/06 / Drum mixer / D.M. Borodulin, V. N. Ivanets, A.A. Andryushkov, Sukhorukov D.V.; applicant and patentee of the GOU VPO "Kemiowski technological Institute of food industry" (EN). No 2016149974; Appl. 19.12.2016; publ. 06.02.2018, Byul. No. 4.
7. Andryushkov A.A. determination of rational parameters of the screw mixer of vibration type / A.A. Andryushkov, D.V. Sukhorukov, S.V. Zlobin // Collection of materials of the II International scientific and practical conference "transport Phenomena in processes and apparatus of chemical and food production". - 2016. - P. 136-139.
8. Borodulin D.M. Development and mathematical modeling of continuous mixing units of centrifugal type for processing of si-beam materials. Generalized theory and analysis (cybernetic approach) / D.M. Borodulin // Кемерово Institute of food industry technology (University). - 2013. - P. 201.
9. Andryushkov A.A. Development and research of new designs of continuous centrifugal type mixers for the production of combined dis products. kand. Techn. Sciences: 05.18.12 / A.A. Andryushkov // Кемерово, 2013

10. Borodulin D.M. Determination of the smoothing ability of the drum mixture of continuous action with adjustable blades / D.M. Borodulin, S.S. Komarov // "Technology and technology of food production" № 4 (31). - 2013. - P. 107-112.
11. Cusaw A.V. Influence of design parameters of rotary drum mixer to the unevenness of the mixture / A.V. Capshaw, N.In. Dmitriev // "Education, science and practice: the innovative aspect," proceedings of the International scientific-practical conference devoted to Day of Russian science. Fsbei HPE "Penza state agricultural Academy". 2015. P. 130-134.
12. Borodulin D.M. investigation of the drum mixer to determine its geometric dimensions, in the preparation of dry combined products / D.M. Borodulin, V.N. Ivanets, S.S. Komarov // "transport Phenomena in processes and apparatus of chemical and food production" materials of the II International scientific-practical conference. - 2016. - P. 84-87.
13. Ostroukh A.V. Simulation modeling of heterogeneity of the construction mixture in a horizontal drum mixer / A.V. Ostroukh, P. Wei, L.A. Myo, N.E. Surkova // "in the world of scientific discoveries" № 12-2 (60). - 2014.. - P. 766-778.
14. Modeling the quality of mixing of bulk materials with a BA-RAB mixer / V. V. Konovalov, N.In. Dimitriev, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // "XXI century: results of the past and problems of the present plus" Vol. 1. № 9 (13). - 2013. - Pp. 77-84.
15. Konovalov V.V. Optimization of parameters of the rotary drum mixer / V. V. Konovalov, N.In. Dimitriev, A.V. Capshaw, V.P. Truskov // "Niva Povolzhya" № 4 (29). - 2013. - P. 41-47.

Поступило в редакцию 26.03.2019

Received 26 March 2019