

УДК 62-111.1

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МЕШАЛКИ И ДЛИНЫ ЕЕ ЛОПАТОК НА КАЧЕСТВО СМЕСИ

Фомина Мария Владимировна, аспирант кафедры «Технический сервис машин», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Чупшев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Терюшков Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Ключевые слова: смесь, частота, вращение, мешалка, лопасти, смеситель, качество.

Цель исследований – повышение качества приготавливаемой смеси и обоснование конструктивно-технологических параметров лопастного смесителя периодического действия. Задачами является установление функциональных зависимостей показателей качества приготавливаемой смеси и эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего длину лопаток, от числовых значений частоты вращения мешалки и длины лопаток порционного смесителя, а также определение рациональной длины лопаток мешалки. Повышение качества смеси требует как внесения в объем приготавливаемой порции смеси всех потребных питательных элементов и кормовых компонентов, заложенных рецептом приготавливаемой смеси, так и равномерного распределения компонентов по всему объему приготавливаемого корма. Равномерность распределения частиц компонентов смеси определяется конструкцией и работой смесителей. Одним из эффективных типов существующих смесителей, качественно перемешивающих ингредиенты смесей, являются лопастные смесители периодического действия. В статье представлена конструктивная схема лопастного смесителя. Определены показательные функции качества смеси и входящий в их состав эмпирический коэффициент интенсивности смешивания, учитывающий длину лопаток в зависимости от частоты вращения мешалки. Даны графические результаты экспериментальных исследований по влиянию длины лопаток и частоты вращения мешалки на качество приготавливаемой смеси. Увеличение длины лопаток и частоты вращения повышает качество смеси. Рекомендуемая длина лопаток составляет 75..80 мм. С ростом частоты вращения и длины лопаток абсолютная величина эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего влияние длины лопаток, снижается, постепенно замедляясь. Это характерно для полученной гиперболической зависимости.

THE INFLUENCE OF MIXER ROTATION FREQUENCY AND ITS BLADES LENGTH ON THE QUALITY OF THE MIXTURE

Fomina M. V., Postgraduate Student of the department «Technical service of machines», FSBEI HE Penza SAU. 440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Chupshev A. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Technical service of machines», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Teryushkov V. P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Technical service of machines», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Kononov V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Technology of mechanical engineering», FSBEI HE Penza STU.

440039, Penza, Baydukova travel/Gagarina street, 1a /11.

E-mail: kononov-penza@rambler.ru

Keywords: mixture, frequency, rotation, agitator, blades, mixer, quality.

The aim of the study is the quality improvement of the feed mixture prepared and substantiation of the design and technological parameters of blade mixer batch- operated. The task is to set the functional dependence between the prepared mixtures quality and the empirical ratio of the intensity of mixing, taking into account the blades length in regard to values of the rotation frequency and the length of the blade of the batch-operated mixer, as well as the definition of rational length of the mixer blades. Improving the quality of mixture requires both the adding of all necessary nutrients and feed components into the volume of prepared portion of the mixture as stipulated by the recipe for mixture, and smooth distribution of components throughout the volume of ready feed. Smooth distribution of the mixture components is related to the design and operation of the mixer. Blade mixer batch- operated is one of the effective types of existing mixers, mixing the ingredients of feed with good quality. The article presents the result oriented design scheme of the blade mixer. Positive functions of the mixture quality and the empirical coefficient of mixing intensity included in their composition are assessed taking into account the length of the blades, depending on the rotation speed and frequency of the mixer. The graphic results of experimental studies taking into account the influence of the blade length and the speed of the mixer on the quality of the prepared mixture are given. The increase of blade length and rotation speed improves the quality of the mixture. Recommended blade length is 75...80 mm. With frequency of rotation increase and the length of the blades the total value of the empirical coefficient of the intensity of mixing, depending on the effect of the length of the blades decreases at a slower pace. This is typical of the obtained hyperbolic dependence.

Развитие животноводства требует улучшения кормовой базы, в том числе используя качество приготавливаемой смеси [1, 9]. Повышение качества смеси требует как внесения в объем приготавливаемой порции смеси всех потребных питательных элементов и кормовых компонентов, заложенных рецептом приготавливаемой смеси, так и равномерного распределения компонентов по всему объему приготавливаемого корма. Равномерность распределения частиц компонентов смеси определяется конструкцией и работой смесителей [2, 3]. Согласно зоотехническим требованиям, для сухих смесей равномерность (однородность) распределения компонентов должна быть не менее 90 % (НТП АПК 1.10.16.001-02 Нормы технологического проектирования кормоцехов для животноводческих ферм и комплексов).

Цель исследований – повышение качества приготавливаемой смеси и обоснование конструктивно-технологических параметров лопастного смесителя периодического действия.

Задачи исследований – установление функциональных зависимостей качества приготавливаемой смеси и эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего длину лопаток, от числовых значений частоты вращения мешалки и длины лопаток порционного смесителя, а также обоснование рациональной длины лопаток мешалки.

Материалы и методы исследований. Одним из эффективных типов существующих смесителей, качественно перемешивающих ингредиенты смесей, являются лопастные смесители периодического действия [2, 3, 4]. Разработанный лопастной смеситель изображен на рисунке 1 [5]. Он выполнен в виде вертикальной емкости 2 диаметром D , внутри которой на днище и в крышке, в установленных подшипниковых опорах 6 (на рисунке 1 показана одна опора), установлен вращающийся вертикальный вал 1. Внутри емкости у нижней опоры 6 на валу 1 крепится лопастная мешалка 5. Ее лопасти 4 расположены радиально и повернуты под углом α относительно горизонтальной плоскости. На концах лопастей 5 установлены накладки – лопатки 3. При вращении мешалки 5 компоненты смеси вовлекаются как во вращательное движение в горизонтальной плоскости, так и циркулируют в вертикально-радиальной плоскости: лопастями 4 мешалки частицы смеси откидываются от вала к стенкам емкости 2, далее лопатками 3 частицы поднимаются вверх и скатываются вниз по образуемой воронке материала к нижней части вращающегося вала 1. По

завершении такта смешивания в результате циркуляции частиц материала, загруженного в емкость 2, образуется смесь.

Методика исследований соответствовала СТО АИСТ 19.2-2008 (СТО АИСТ 19.2-2008 Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных показателей). При определении качества смеси контрольным компонентом были зерна ячменя с долей 1 % от массы смеси. Количество взятых проб – 20 шт., с массой пробы 100 г. Длительность смешивания компонентов смеси 120 с. В качестве критерия качества приготовленной смеси использовался показатель – неравномерность смеси ν , как коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах [7]. Обработка данных результатов исследований осуществлялась компьютерной программой Statistica.

Результаты исследований. В работе [5] опубликованы результаты проведенных исследований, описанные полиномиальной функцией второго порядка. При этом изменение частоты вращения мешалки соответствовало интервалу $n=500\dots 1000$ мин⁻¹, а длина лопаток, крепящихся на лопасти, соответствовала размеру $L=0\dots 75$ мм ($0\dots 0,075$ м). Часть длины лопаток накладывалась на лопасть шириной $l_s=D/60=15$ мм. Поэтому увеличение площади контакта лопастно-лопаткового рабочего органа мешалки с материалом было пропорционально не полной длине L , а только дополнительной длине лопатки ($L'=L-l_s$, мм).

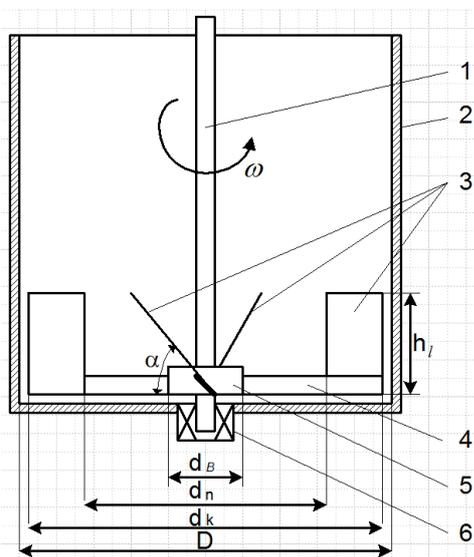


Рис. 1. Принципиальная схема смесителя:

1 – вал; 2 – емкость; 3 – лопатки; 4 — лопасть; 5 – мешалка; 6 – подшипниковая опора

Полиномиальное уравнение регрессии неравномерности смеси ν , %, (рис. 2) описывалось выражением [5]:

$$\nu = 153,9891 - 1,8906 L' - 0,18455 n + 0,003108 (L')^2 + 5,34 E^{-05} n^2 + 0,001933 L' \cdot n. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции расчетных и опытных значений соответствует $R=0,9203119$.

Повышение частоты вращения мешалки и увеличение длины лопаток улучшает качество смеси. На рассматриваемом интервале значений факторов (частота вращения от 300 до 1000 мин⁻¹, длина лопаток, накладываемых на лопасти, от 0 до 80 мм) лучшее качество смеси наблюдается при частоте вращения около 400 мин⁻¹ и наибольшей исследованной длине лопаток L' (т. е. 75...80 мм). Согласно графику функции полиномиальной модели второго порядка (1) (рис. 2) при частоте вращения 1000 мин⁻¹ и длине лопаток 70...80 мм незначительно (в пределах погрешности) снижается качество смеси.

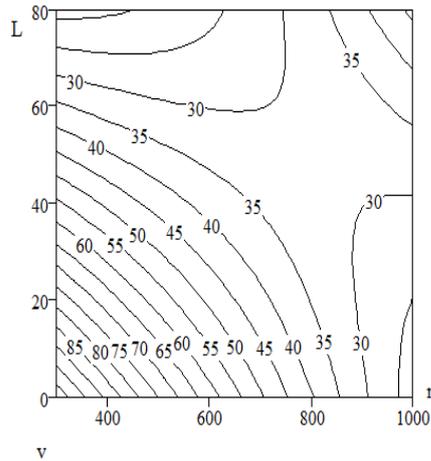


Рис. 2. Двухмерное сечение поверхности отклика неравномерности смеси v (%) в зависимости от частоты вращения n (мин⁻¹) и длины лопаток L (мм)

Ряд авторов рекомендует использовать для описания качества смеси не полиномиальную, а показательную функцию [6]. Тогда равномерность смеси V_p (0,01%) запишется:

$$V_p = 1 - e^{-k \cdot T}, \quad (2)$$

где k – эмпирический коэффициент интенсивности смешивания (рис. 3); T – длительность смешивания компонентов смеси, с [7].

При этом показатель равномерности смеси (как «относительная равномерность» [7], 0,01%) можно записать через коэффициент вариации v (0,01%) содержания контрольного компонента в пробах:

$$V_p = 1 - v. \quad (3)$$

Коэффициент вариации контрольного компонента в смеси (неравномерность смешивания) v_{nL} (рис. 4, а), 0,01%:

$$v_{nL} = 0,01 \cdot e^{\left[11,5618 \cdot \left(\frac{8,0373}{n} \right)^{0,261775} \cdot (0,815978 L)^{28,13775} \right]}, \quad (4)$$

где L – длина лопаток вне лопастей, м; n – частота вращения мешалки, мин⁻¹.

Коэффициент корреляции расчетных и опытных значений неравномерности смешивания составил $R=0,96709$.

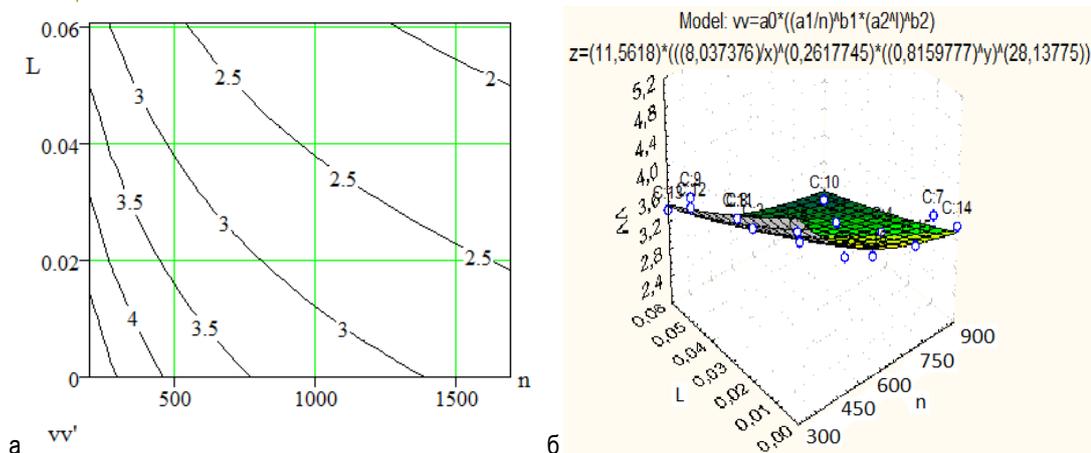


Рис. 3. Влияние частоты вращения мешалки n (мин⁻¹) и длины лопаток L (м) на функцию показателя степени показательной функции качества смеси:
а – двухмерное сечение поверхности отклика; б – пространственное изображение поверхности отклика

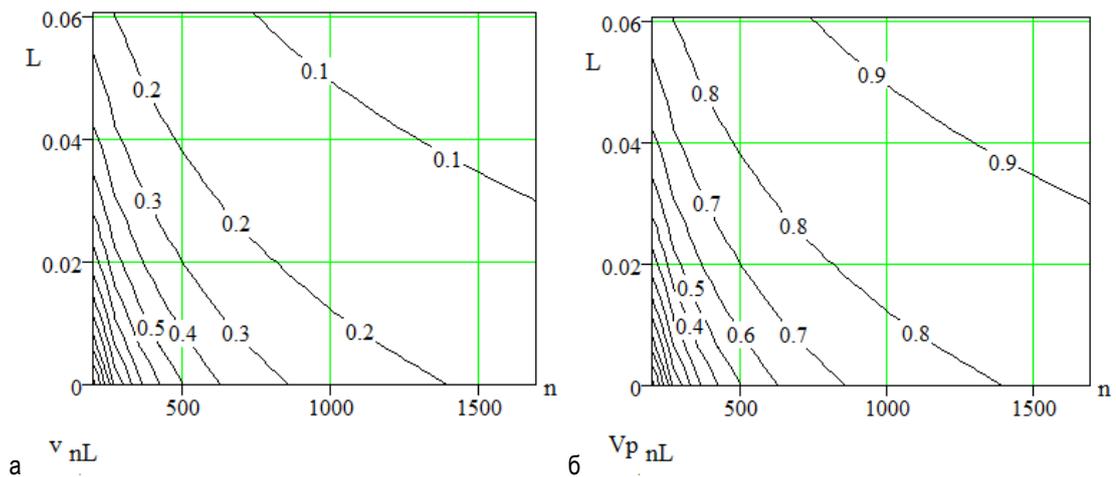


Рис. 4. Влияние частоты вращения мешалки n (мин^{-1}) и длины лопаток L (м) вне лопастей: а – на неравномерность смеси v_{nL} , 0,01%; б – на равномерность смеси V_{pnL} , 0,01%

Равномерность смеси V_{pnL} (0,01%) описывается выражением (рис. 4, б):

$$V_{pnL} = 1 - 0,01 \cdot e^{\left[11,5618 \cdot \left(\frac{8,0373}{n} \right)^{0,261775} \cdot (0,815978L)^{28,13775} \right]} \quad (5)$$

Увеличение частоты вращения наиболее интенсивно влияет на качество смеси. При частоте вращения менее 500 мин^{-1} качество смеси резко ухудшается. Наилучшее качество смеси (соответствует технологическим требованиям) при частоте вращения мешалки более 800 мин^{-1} и длине лопаток лопастей не менее $0,035 \text{ м}$. На исследуемом участке наилучшее качество при длине лопаток вне лопастей $0,06 \text{ м}$ и частоте мешалки около 1500 мин^{-1} . В работах [5, 8] были обоснованы параметры мешалки смесителя: $n=340 \text{ мин}^{-1}$ и $L=0,06 \text{ м}$. На основании соотношения функции степени для переменных частоты вращения и угла установки лопастей с обоснованными параметрами в функции степени показательной функции рассчитано выражение эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего влияние длины лопаток и частоты вращения (рис. 5):

$$k = K_{nL} = \frac{0,1542453}{\left(\frac{1}{n} \right)^{0,261775} \cdot (0,815978L)^{28,13775}} \quad (6)$$

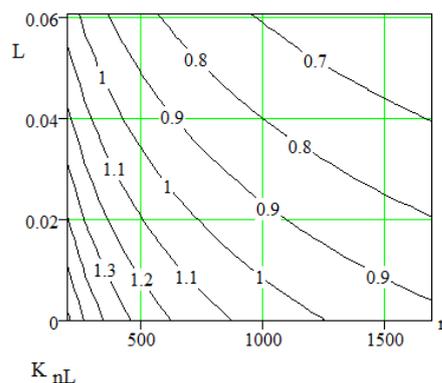


Рис. 5. Влияние частоты вращения мешалки n (мин^{-1}) и длины лопаток L (м) вне лопастей на эмпирический коэффициент, учитывающий длину лопаток K_{nL}

Характер изменения значений эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего влияние длины лопаток и частоты вращения, соответствует вышеуказанным тенденциям изменения качества смеси. С улучшением качества смеси числовые значения коэффициента снижаются.

Заключение. Качество приготавливаемой смеси описывается показательной функцией в зависимости от частоты вращения мешалки и длины лопаток порционного смесителя. Увеличение

длины лопаток и частоты вращения мешалки повышает качество смеси. С ростом длины лопатки уменьшается улучшение качества смеси. Рекомендуемая длина лопаток вне лопастей составляет 60 мм (75...80 мм с учетом ширины лопастей). Функциональная зависимость эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего длину лопаток, для показательной функции качества смеси имеет вид гиперболы от числовых значений частоты вращения мешалки и длины лопаток порционного смесителя. С ростом частоты вращения и длины лопаток абсолютные величины эмпирического коэффициента интенсивности смешивания, учитывающего влияние длины лопаток, снижаются, постепенно замедляясь.

Библиографический список

1. Коба, В. Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба, Н. В. Брагинец, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич. – М. : Колос, 2000. – 526 с.
2. Сыроватка, В. И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов в хозяйствах // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 6. – С. 22-25.
3. Завражных, А. И. Механизация приготовления и хранения кормов / А. И. Завражных, Д. И. Николаев. – М. : Агропромиздат, 1990. – 336 с.
4. Коновалов, В. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя сухих кормов с плоскими лопастями / В. В. Коновалов, В. Ф. Дмитриев, М. В. Коновалова // Научное обозрение, 2011. – №1. – С. 24-28.
5. Фомина, М. В. Обоснование длины лопаток лопастного смесителя / М. В. Фомина, В. В. Коновалов, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – №5 (33). – С. 47-52.
6. Стукалкин, Ф. Г. Исследование кормосмесителей непрерывного действия и методика их расчета : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Стукалкин Ф. Г. – Л., 1965. – 21 с.
7. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей : монография / А. Г. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник [и др.]. – Запорожье : ОАО «Мотор-Сич», 2009. – 468 с.
8. Коновалов, В. В. Моделирование изменения качества смеси лопастного смесителя на основе технологических параметров / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, М. В. Фомина // Инновационная техника и технология. – 2016. – № 3 (08). – С. 56-66.
9. Петрова, С. С. К вопросу определения качества смеси у барабанного смесителя / С. С. Петрова, С. А. Кшникаткин, Н. В. Дмитриев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 67-72.

Referencis

1. Koba, V. G., Braginets, N. V., Murusidze, D. N., & Nekrashevich, V. F. (2000). *Mekhanizaciya i tekhnologiya proizvodstva produkcii zhivotnovodstva* [Mechanization and technology of production of livestock products]. Moscow: Kolos [in Russian].
2. Syrovatka, V. I. (2011). Resursosberezheniye pri proizvodstve kombikormov v hozyajstvakh [Resource saving in the production of animal feed in farms]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela – Machinery and equipment for the village*, 6, 22-25 [in Russian].
3. Zavrazhnov, A. I., & Nikolayev D. I. (1990). *Mekhanizaciya prigotovleniya i khraneniya kormov* [Mechanization of preparation and storage of feed]. M.: Agropromizdat [in Russian].
4. Konovalov, V. V., Dmitriev, V. F., & Konovalova, M. V. (2011). Obosnovanie konstruktivno-rezhimnykh parametrov smesitelia sukhikh kormov s ploskimi lopastiyami [Substantiation of constructive regime parameters of the mixer of dry feed with flat blades]. *Nauchnoe obozrenie – Scientific Review*, 1, 24-28 [in Russian].
5. Fomina M. V., Konovalov V. V., Teryushkov V. P., & Chupshew A. V. (2016). Obosnovanie dliny lopatok lopastnogo smesitelia [Justification of the length of the blades for blade mixer]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoiashchego plyus – XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*, 5 (33), 47-52 [in Russian].
6. Stukalkin, F. G. (1965). Issledovaniye kormosmesitelei nepreryvnogo dejstviya i metodika ikh rascheta [Study of feed mixers continuous action, and the method of their calculation]. *Candidate's thesis*. Leningrad [in Russian].
7. Boguslaev, A. G., Oleynik, Al. A., Oleynik, An. A., Pavlenko, V. D., & Subbotin, S. A. (2009). *Progressivnyye tekhnologii modelirovaniya, optimizacii i intellektualnoi avtomatizacii etapov zhiznennogo cikla aviacionnykh dvigatelei* [Advanced technologies of modeling, optimization and intelligent automation of the life cycle of aircraft engines]. D. V. Pavlenko, S. A. Subbotin (Ed.). Zaporozhye: public corporation «Motor Sich» [in Russian].
8. Konovalov, V. V., Chupshew, A. V., & Fomina, M. V. (2016). Modelirovanie izmeneniya kachestva smesi lopastnogo smesitelia na osnove tekhnologicheskikh parametrov [Modeling of changes in the quality of the mixture, paddle mixer, based on the processing parameters]. *Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya – Innovative machinery and technology*, 3 (08), 56-66 [in Russian].

9. Petrova, S. S., Kshnikatkin, S. A., & Dmitriev, N. V. (2012). K voprosu opredeleniia kachestva smesi u barabannogo smesitelia [To the question of determining the quality of a mixture of a drum mixer]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 67-72 [in Russian].