

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРАЦИОННО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ

В. Н. НИКОЛАЕВ,
кандидат технических наук, доцент,
М. С. АХМЕТВАЛИЕВ,
инженер,
А. В. ЛИТАШ,
инженер,
Южно-Уральский государственный аграрный университет
(454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 75)

Ключевые слова: пивная дробина, вибрационная центрифуга, лопастной ротор, фильтрование, влаговыделение, вибрация.

Данная статья затрагивает проблему утилизации пивной дробины с целью получения высококонцентрированного корма для сельскохозяйственных животных, что на сегодня является актуальной задачей. На основании анализа конструкций центрифуг, разработана вибрационно-центробежная установка для разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции. Повышение эффективности процесса и срока службы устройства достигается за счет применения дифференциации (распределения) жидкого потока в процессе разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции и обеспечение на этой основе равноутолщенного слоя фильтруемого материала по всей поверхности лопастей вращающегося ротора с осевыми колебаниями, а также реверсивное движение ротора позволят повысить эффективность фильтрации. Проведены предварительные исследования по выявлению нулевых (базовых) значений кинематических параметров: частоты вращения ротора ω_e , амплитуды колебания ротора A_k , частоты колебаний ротора ω_k , влияющих на конечную влажность осадка. Произведена оценка влияния каждого фактора на обезвоживание осадка в лопастном роторе вибрационно-центробежной установки спланирован четырехфакторный эксперимент на 3 уровнях варьирования. Получено уравнение нелинейной множественной регрессии второго порядка, представляющее собой математическую модель зависимости влажности осадка пивной дробины от основных параметров вибрационно-центробежной установки, определяющее ее рациональные параметры: частота вращения ротора $\omega_e = 500$ об./мин; амплитуда колебаний ротора $A_k = 4$ мм; частота колебаний ротора $\omega_k = 600$ об./мин; площадь живого сечения подачи $S_{жс} = 0,00072$ м², при которых влажность осадка пивной дробины минимальна и составляет 56–58 %.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A VIBRATING-CENTRIFUGAL DEVICE FOR THE SEPARATION OF BREWER'S GRAINS

V. N. NIKOLAEV,
candidate of technical science, associate professor,
M. S. AKHMETVALIEV,
engineer,
A. V. LITASH,
engineer,
South Ural State Agrarian University
(75 Lenin Avenue, 454080, Chelyabinsk)

Keywords: brewer's grains, vibratory centrifuge, blade rotor, filtration, collecting moisture, vibration.

This article touches upon the problem of utilization of beer grains for the purpose of obtaining highly concentrated feed for farm animals, which is an actual problem for today. Based on the analysis of designs of centrifuges, developed a vibration-centrifugal unit for the separation of brewer's grains on a liquid and thick fraction. Improving the efficiency of the process and lifetime of the device is achieved through the use of differentiation (distribution) of the fluid stream in the separation process of brewer's grains on liquid and dense fraction and on that basis still thickened layer of filtered material on the surface of the blades of the rotor rotating with axial vibration, as well as reverse movement of the rotor will improve the filtration efficiency. Conducted preliminary research to identify the zero (baseline) values of kinematic parameters: frequency of rotation of the rotor ω_e , the amplitude of oscillation of the rotor A_k , the oscillation frequency of the rotor ω_k affecting the final sludge moisture content. The assessment of the impact of each factor on the sludge dewatering in centrifugal rotor vibration and centrifugal installation planned four factor experiment at 3 levels of variation. The resulting nonlinear equation of multiple regression of the second order, which is a mathematical model based on the sediment's moisture spent grains from the main parameters of vibration-centrifugal setting specifying management settings: rotation frequency of the rotor $\omega_e = 500$ rpm; amplitude of vibration of the rotor $A_k = 4$ mm; the oscillation frequency of the rotor $\omega_k = 600$ rpm; the area of the discharging flow $S_{жс} = 0,00072$ м², in which the sludge moisture content of brewer's grains is 56 – 58%.

Положительная рецензия представлена А. Д. Тошевым, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой технологии и организации общественного питания Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

Повышение продуктивности животных и птицы – одна из основных задач животноводства, которая реализуется за счет применения новых видов кормов и внедрения передовых ресурсосберегающих машин и технологий для качественного их приготовления [1, 2, 3, 4].

В настоящее время очень остро стоит проблема реализации отходов пивного производства из-за нехватки финансовых средств в хозяйствах. Поэтому пиво-комбинаты зачастую просто избавляются от ценной по питательности пивной дробины из-за непрерывного производства. При этом несут убытки как сами пиво-комбинаты, так и хозяйства, что в конечном итоге приводит к сокращению сельскохозяйственной продукции. Одним из путей решения этой проблемы может быть обезвоживание пивной дробины с последующей сушкой или прессованием, что позволит длительное время хранить сухой корм до его реализации.

Однако осуществление этого перспективного направления сдерживается из-за его недостаточной изученности и отсутствия высокотехнологичного отечественного оборудования. Сложность и многогранность процессов переработки пивной дробины

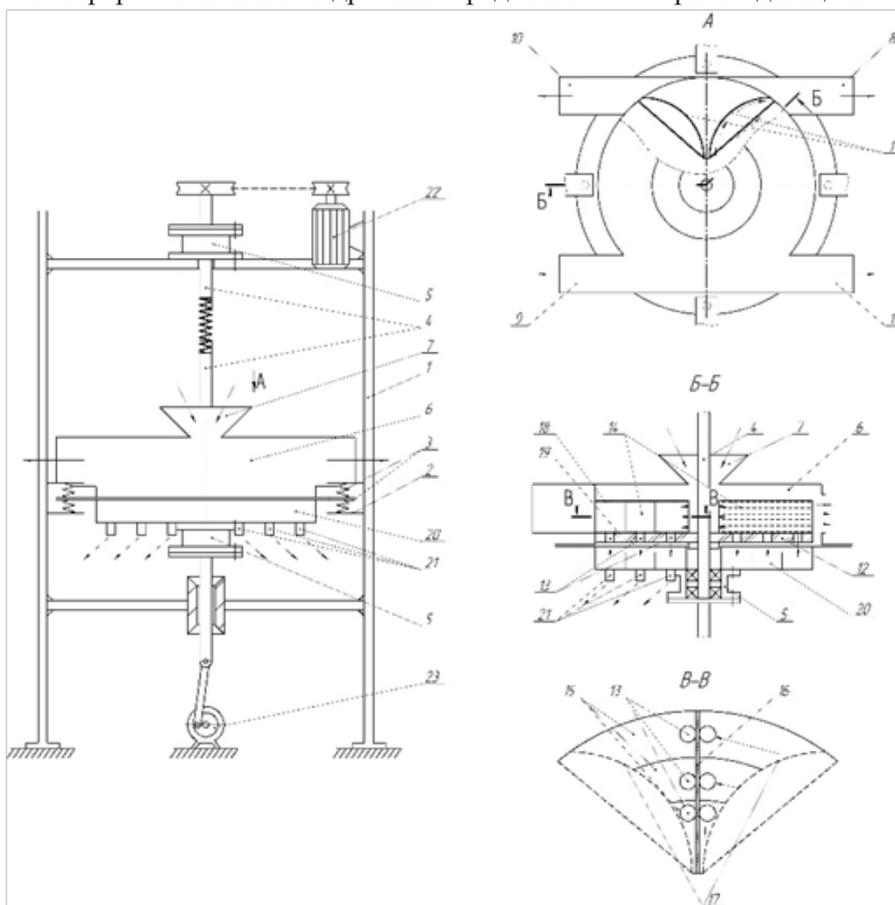
требует объединения современных научно-технических достижений различных отраслей знаний, усиления квалифицированных специалистов (по механике и гидравлике, физике, химии и экономике).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что проблема утилизации пивной дробины с целью получения высококонцентрированного корма для сельскохозяйственных животных остается на сегодня актуальной.

Цель и методика исследований. Цель исследования – экспериментальное обоснование конструктивно-режимных параметров вибрационно-центрифужной центрифуги непрерывного действия для разделения пивной дробины на густую и жидкую фракции.

Для достижения цели и на основании анализа конструкций центрифуг на кафедре ТМЖ и ИГ Южно-Уральского ГАУ разработана вибрационно-центрифужная установка для разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции [5, 6, 7, 8].

Предлагаемое устройство для обезвоживания пивной дробины (рис. 1) состоит из корпуса 6 с входным 7 и выходными 8, 9, 10, 11 патрубками и радиально-секторного днища 20 с отводящими вла-



1 – рама; 2 – опора; 3 – пружина; 4 – вал; 5 – подшипниковая опора; 6 – корпус; 7 – входной патрубок; 8, 9, 10, 11 – выходные патрубки; 12, 13 – диск с отверстиями; 14 – лопасть; 15 – сектора; 16 – пластина; 17 – перфорированное сито; 18, 19 – верхний и нижний сектор круга; 20 – радиально-секторное днище; 21 – трубки; 22, 23 – привода.

1 – frame; 2 – support; 3 – spring; 4 – axle; 5 – bearing support; 6 – case; 7 – entrance branch pipe; 8, 9, 10, 11 – output branch pipes; 12, 13 – a disk with openings; 14 – blade; 15 – sectors; 16 – plate; 17 – the punched sieve; 18, 19 – the top and lower sector of the circle; 20 – the radial and sector bottom; 21 – tubes; 22, 23 – the drive.

Рис. 1. Устройство для обезвоживания пивной дробины
Fig. 1. A device for separating brewer's grains

гу трубками 21, расположенных с зазором, соосно на валу 4 в подшипниковых опорах 5 и упруго посредством пружин 3 на опорах 2 закреплены на раме 1 с возможностью осуществления осевых колебаний от привода 23. Внутри корпуса 6 соосно установлен с возможностью совершать вращение от привода 22 и осевые колебания от привода 23 диск 12 с отверстиями 13, на котором жестко закреплены разделенные на сектора 15 криволинейные лопасти 14, снабженные перфорированными ситами 17. Каждая лопасть 14 выполнена в виде верхнего 18 и нижнего 19 секторов круга, боковые радиальные стороны которых искривлены внутрь. Сектора 18, 19 по центру жестко прикреплены к противоположным сторонам прямоугольной пластины 16, а нижний 19 сектор лопасти 14 жестко закреплен на диске 12.

Исходная пивная дробина через входной патрубок 7 корпуса 6 подается на вращающийся от привода 22 и совершающий осевые колебания от привода 23 диск 12 с криволинейными лопастями 14 и под действием центробежной силы перемещается вдоль перфорированных сит 17 криволинейных лопастей 14 от центра к периферии вращения диска 12. Влага проходит через перфорированное сито 17, попадая в сектора 15 забора влаги криволинейной лопасти 14, упирается в перегородку 16 и стекает через отверстия 13 диска 12 в радиально-секторное днище 20, откуда по отводящим влагу трубкам 21 попадает в приемник влаги. Выделенный осадок под действием центробежной силы, осевых колебаний и подпора поступающей массы пивной дробины движется к периферии вращения диска 12 с криволинейными лопастями 14, откуда через выходные патрубки 8, 9 корпуса 6 попадает в приемник осадка.

При ухудшении влаговыделения устройство останавливают и включают реверсный ход привода 22, который приводит во вращение диск 9 с криволинейными лопастями 14 в противоположную сторону и

процесс повторяется. При этом в работе участвует вторая сторона криволинейной лопасти 14, а первая сторона за счет осевых колебаний самоочищается от частиц пивной дробины, осадок выводится через выходные патрубки 10, 11.

Повышение эффективности процесса и срока службы устройства достигается за счет применения дифференциации (распределения) жидкого потока в процессе разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции и обеспечения на этой основе равнотолщенного слоя фильтруемого материала по всей поверхности лопастей вращающегося ротора с осевыми колебаниями, а также реверсивное движение ротора позволят повысить эффективность фильтрации.

Перед началом проведения спланированных экспериментов были проведены предварительные исследования по выявлению нулевых (базовых) значений кинематических параметров: частоты вращения ротора ω_e , амплитуды колебания ротора A_k , частоты колебаний ротора ω_k , влияющих на конечную влажность осадка.

При проведении предварительных экспериментов все значения кинематических параметров фиксировались на нулевом уровне, кроме одного, что позволило выявить характер его воздействия на процесс вибрационно-центробежного фильтрования жидкой пивной дробины.

С целью более точно оценить влияние каждого фактора на обезвоживание осадка в лопастном роторе вибрационно-центробежной установки спланирован четырехфакторный эксперимент на 3 уровнях варьирования. Факторы в кодированном виде представлены в табл. 1.

В качестве математической модели функции отклика рассмотрим полином второго порядка [9, 10]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j>i}^K b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} x_i^2$$

Таблица 1
Факторы, интервалы и уровни варьирования
Table 1
Factors, interval, variation levels

Обозначение фактора <i>Factor description</i>		Наименование фактора <i>Factor title</i>	Уровень варьирования <i>Level of variation</i>			Шаг варьирования <i>Variation step</i>	Формула перехода <i>Transfer equation</i>
Код. <i>Coded</i>	Нат. <i>Original</i>		Верх. <i>Top</i> -1	Опт. <i>Medium</i> 0	Ниж. <i>Bottom</i> +1		
X_1	ω_e , c^{-1}	Частота вращения ротора <i>Frequency of rotation</i>	41,89	52,36	62,83	10,47	$\omega_e = 10,47X_1 + 52,36$
X_2	A_k , m	Амплитуда колебаний ротора <i>Amplitude of rotor fluctuations</i>	0,002	0,004	0,006	0,002	$A_k = 0,002X_2 + 0,004$
X_3	ω_k , c^{-1}	Частота колебаний ротора <i>Frequency of rotor fluctuations</i>	41,89	62,83	83,77	20,94	$\omega_k = 20,94X_3 + 62,83$
X_4	$S_{жс}$, m^2	Площадь живого сечения подачи <i>Live feed section</i>	0,00064	0,00072	0,00080	0,00008	$S_{жс} = 0,00008X_4 + 0,00072$

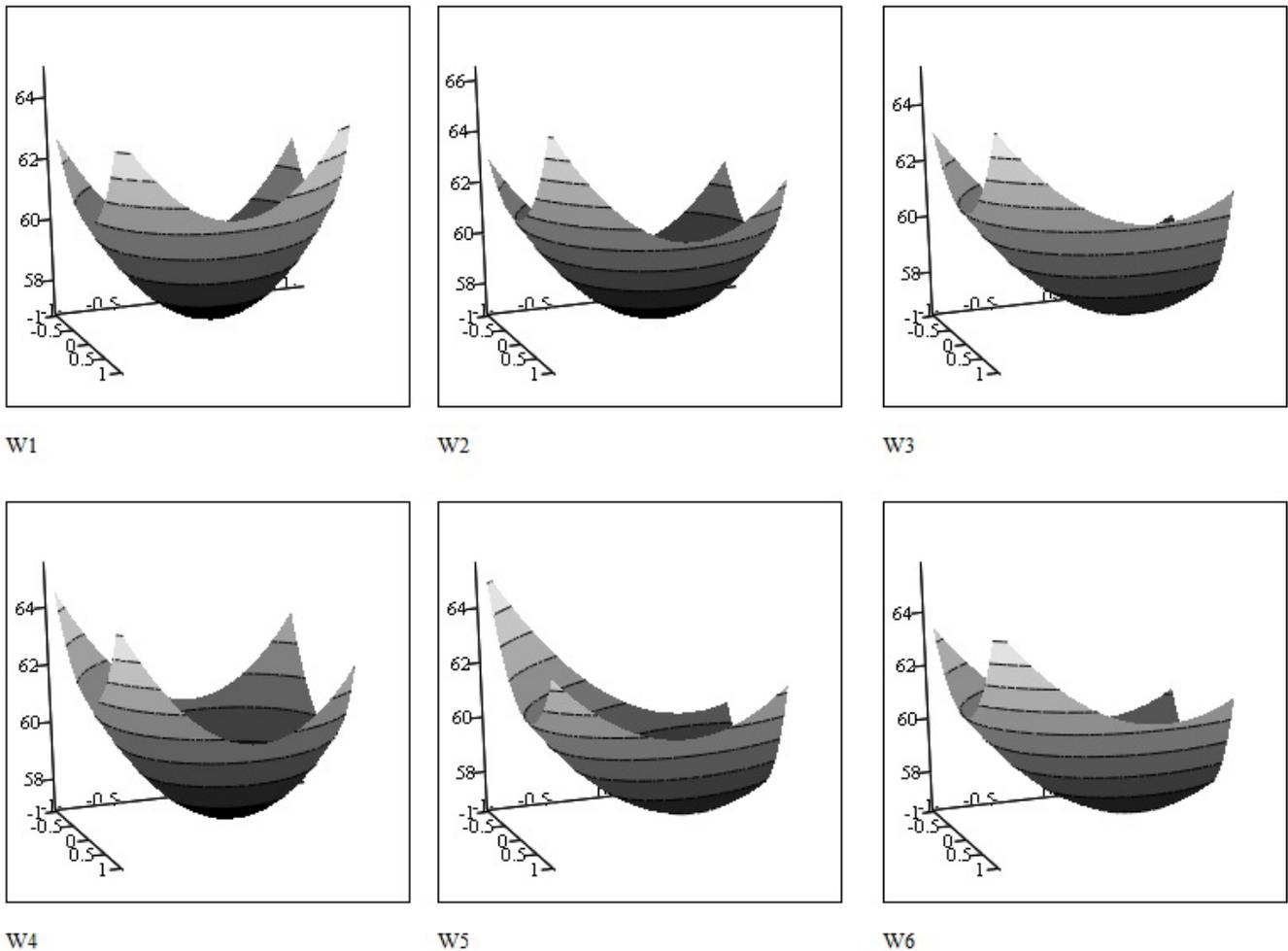


Рис. 2. Поверхности отклика изменения влажности от конструктивно-режимных параметров
 Fig. 2. The response surface humidity changes from constructive-regime parameters

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты полинома;
 x_i, y – значения приведенных факторов в кодированном виде (табл. 1).

Матрица планирования состоит из 25 опытов с трехкратной повторностью. При этом, согласно ВІВ – схеме, каждый блок содержит по 6 малых блоков (по 4 опыта в каждом) и 3 отдельных опыта на нулевом уровне факторов.

Результаты исследований. В результате экспериментальных исследований с применением методов математической статистики было получено уравнение регрессии, характеризующее изменение влажности W от основных конструктивно-режимных параметров $\omega_e, A_k, \omega_k, S_{жс}$, адекватно описывающее процесс обезвоживания осадка пивной дробины в лопастном роторе вибрационно-центробежной установки.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$W(\omega_e, A_k, \omega_k, S_{жс}) = 176,537 - 0,278\omega_e - 8,338A_k - 0,016S_{жс} + 2,952 \cdot 10^{-4}\omega_e^2 + 0,836A_k^2 + 0,857 \cdot 10^{-4}\omega_k^2 + 0,059 \cdot 10^{-4}S_{жс}^2 + 0,117 \cdot 10^{-2}\omega_e A_k - 0,223 \cdot 10^{-4}\omega_e \omega_k + 0,033 \cdot 10^{-4}\omega_e S_{жс} - 0,035 \cdot 10^{-2}A_k \omega_k + 0,097 \cdot 10^{-2}A_k S_{жс} - 0,7 \cdot 10^{-6}\omega_k S_{жс}$$

Из основного уравнения регрессии были получены уравнения и построены по ним поверхности отклика (рис. 2).

Изменение влажности от частоты вращения и амплитуды колебаний ротора.

$$W1(\omega_e, A_k) = 57,238 + 1,23\omega_e - 0,205A_k + 2,952\omega_e^2 + 3,346A_k^2 + 0,235\omega_e A_k$$

Изменение влажности от частоты вращения и частоты колебаний ротора.

$$W2(\omega_e, \omega_k) = 57,238 + 1,23\omega_e - 0,983\omega_k + 2,952\omega_e^2 + 3,429\omega_k^2 + 0,447\omega_e \omega_k$$

Изменение влажности от частоты вращения ротора и площади живого сечения подачи.

$$W3(\omega_e, S_{жс}) = 57,238 + 1,23\omega_e - 1,745S_{жс} + 2,952\omega_e^2 + 2,146S_{жс}^2 + 0,199\omega_e S_{жс}$$

Изменение влажности от частоты и амплитуды колебаний ротора.

$$W4(A_k, \omega_k) = 57,238 + 0,205A_k - 0,983\omega_k + 3,346A_k^2 + 3,429\omega_k^2 + 0,139A_k \omega_k$$

Изменение влажности от амплитуды колебаний ротора и площади живого сечения подачи.

$$W5(A_k, S_{жс}) = 57,238 + 0,205A_k - 1,745S_{жс} + 3,346A_k^2 + 2,146S_{жс}^2 + 0,165A_k S_{жс}$$

Изменение влажности от частоты колебаний ротора и площади живого сечения подачи.

$$W6(\omega_k, S_{жс}) = 57,238 + 0,983\omega_k - 1,745S_{жс} + 3,429\omega_k^2 + 2,146S_{жс}^2 + 0,084\omega_k A_k S_{жс}$$

Исходя из полученных данных (2–8) и рис. 2, можно сделать вывод о том, что параметры ω_e (частота вращения ротора) и $S_{жс}$ (площадь живого сечения)

чения подачи) оказывают наибольшее влияние на процесс фильтрации, а параметры вибрации A_k (амплитуда колебаний ротора) и ω_k (частота колебаний ротора) также существенно влияют на этот процесс, но в меньшей степени.

Уравнение регрессии (2) имеет экстремум (min) и координаты, которого позволяют определить рациональные параметры установки: $\omega_e = 500$ об./мин; $A_k = 4$ мм; $\omega_k = 600$ об./мин; $S_{жс} = 0,00072$ м², при которых влажность осадка пивной дробины минимальна и составляет 56–58 %.

На изготовленном опытном образце вибрационно-центробежной установки фильтрующего типа с оптимальными параметрами были проведены про-

изводственные испытания, которые показали высокое качество разделения пивной дробины при низкой удельной энергоемкости процесса.

Выводы. Получено уравнение нелинейной множественной регрессии второго порядка, представляющее собой математическую модель зависимости влажности осадка пивной дробины от основных параметров вибрационно-центробежной установки, определяющее ее рациональные параметры: частота вращения ротора $\omega_e = 500$ об./мин; амплитуда колебаний ротора $A_k = 4$ мм; частота колебаний ротора $\omega_k = 600$ об./мин; площадь живого сечения подачи $S_{жс} = 0,00072$ м², при которых влажность осадка пивной дробины минимальна и составляет 56–58 %.

Литература

1. Федоренко И. Я., Садов В. В. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве : учебное пособие. СПб., 2012. 304 с.
2. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии : учебное пособие // Под ред. А. И. Завражнова. СПб., 2013. 496 с.
3. Голубев А. Г. Рециклинг отходов в АПК : справочник. М., 2011. 296 с.
4. Батищева Н. В. Инновационные способы утилизации пивной дробины // Научное обозрение. Технические науки. № 6. 2016. С. 10–14.
5. Патент РФ № 2015129920 20.07.2015. Устройство для обезвоживания пивной дробины // Патент России № 157095. 2015. Бюл. № 32.
6. Ахметвалиев М. С. Анализ процесса разделения суспензий и совершенствование вибрационно-центробежной центрифуги // АПК России. 2015. Т. 74. С. 9–14.
7. Litash A. V., Nikolaev V. N., Akhmetvaliev M. S. A device for removing moisture from brewer's grains // The strategies of modern science development : proc. of the intern. scient. and pract. symp. North Charleston, 2015.
8. Ахметвалиев М. С., Николаев В. Н., Фетисов Е. В. Совершенствование вибрационно-центробежного устройства для обезвоживания пивной дробины // Актуальные вопросы импортозамещения в сельском хозяйстве и ветеринарной медицине : мат. междунар. науч.-практ. конф. Челябинск, 2016.
9. Николаев В. Н., Гайнуллин Э. Н. Вибрационный смеситель сыпучих кормов с активными перемешивающими рабочими органами // АПК России. 2013. Т. 64. С. 49–52.
10. Сергеев Н. С., Николаев В. Н., Гайнуллин Э. Н. Взаимосвязь вибровязкости и качества смешивания сыпучих кормов в вибрационном смесителе // АПК России. 2013. Т. 66. С. 79–83.

References

1. Fedorenko I. Ya., Sadov V. V. Resource-saving technologies and the equipment in livestock production : manual. SPb., 2012. 304 p.
2. Modern problems of science and production in agroengineering : the manual // Ed. by A. I. Zavrzhnov. SPb., 2013. 496 p.
3. Golubev A. G. A recycling of waste in agrarian and industrial complex : reference book. M., 2011. 296 p.
4. Batishcheva N. V. Innovative ways of utilization of beer pellet // Scientific review. Technical science. № 6. 2016. P. 10–14.
5. The Russian Federation patent № 2015129920 20.07.2015. Device for dehydration of a beer pellet // Patent of Russia № 157095. 2015. Bulletin № 32.
6. Akhmetvaliyev M. S. Analysis of process of division of suspensions and improvement of the vibration and centrifugal centrifuge // Agrarian and industrial complex of Russia. 2015. Vol. 74. P. 9–14.
7. Litash A. V., Nikolaev V. N., Akhmetvaliev M. S. A device for removing moisture from brewer's grains // The strategies of modern science development : proc. of the intern. scient. and pract. symp. North Charleston, 2015.
8. Akhmetvaliyev M. S., Nikolaev V. N., Fetisov E. V. Improvement of the vibration and centrifugal device for dehydration of a beer pellet // Topical issues of import substitution in agriculture and veterinary medicine : proc. of the intern. scient. and pract. symp. Chelyabinsk, 2016.
9. Nikolaev V. N., Gaynullin E. N. The vibration mixer of loose forages with the active mixing working bodies // Agrarian and industrial complexes of Russia. 2013. Vol. 64. P. 49–52.
10. Sergeyev N. S., Nikolaev V. N., Gaynullin E. N. Interrelation of vibroviscosity and quality of mixing of loose forages in the vibration mixer // Agrarian and industrial complex of Russia. 2013. Vol. 66. P. 79–83.