

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЖИДКОЙ ФРАКЦИИ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ В ВИБРАЦИОННО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ЦЕНТРИФУГЕ

М. С. АХМЕТВАЛИЕВ, инженер,  
В. Н. НИКОЛАЕВ, кандидат технических наук, доцент  
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, обезвоживание, вибрация.

В статье отражается процесс обезвоживания пивной дробины как один из путей решения утилизационной проблемы с целью получения высококонцентрированного корма для сельскохозяйственных животных, что является актуальной задачей. Рассмотрено обезвоживание пивной дробины с помощью эффективной конструкции вибрационно-центробежной центрифуги. Целью исследования является теоретическое обоснование взаимосвязи технологических и физических свойств пивной дробины для определения рациональных основных параметров вибрационно-центробежной центрифуги. Для обоснования основных параметров лопастной роторавибрационно-центробежной центрифуги разработана схема разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции с установкой перфорированных прямолинейных и криволинейных лопастей друг за другом по ходу вращения ротора, совершающего осевые вибрации в вертикальной плоскости. За счет этого происходят дифференциация (распределение) исходной массы жидкого потока и обеспечение на этой основе равноутолщенного слоя фильтруемого материала по всей поверхности лопастей. Прямолинейная лопасть имеет прямоугольные отверстия высотой до 2 мм, а криволинейная – отверстия высотой до 0,25 мм. Влажность является одной из важнейших характеристик любого корма, от содержания которой в нем зависят не только его агрегатное состояние и структурно-механические свойства, но и характер взаимодействия с рабочими органами машин. В результате исследований с применением аналитического метода определены технологические и физические свойства пивной дробины при взаимодействии с перфорированными лопастями ротора вибрационно-центробежной центрифуги. Получены уравнения выхода жидкой фракции пивной дробины через прямолинейную и криволинейную лопасти ротора, указывающие на взаимосвязь технологических и физических свойств пивной дробины, учет которых необходим для определения рациональных основных параметров предлагаемой вибрационно-центробежной центрифуги, при которых влажность осадка пивной дробины минимальна и составляет 56–58 %.

## THEORETICAL DETERMINATION OF THE YIELD OF THE LIQUID FRACTION OF BREWER'S GRAINS IN VIBRATION CENTRIFUGE

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

**Keywords:** brewer's grains, vibratory centrifuge, blade rotor, filtration, dewatering, vibration.

The article reflects the process of dewatering of brewer's grains as one of the ways to solve the problem of disposing with the aim of obtaining a highly concentrated feed for farm animals which is an actual problem. The process of dewatering of brewer's grains is considered by means of an effective design of vibration-centrifugal centrifuge. The aim of the research is the theoretical substantiation of links between technological and physical properties of brewer's grains to determine the rational of the main parameters of vibration-centrifugal centrifuge. The scheme of separation of brewer's grains on liquid and thick fraction with the perforated rectilinear and curvilinear blades on each other in the direction of rotation of the rotor, making axial vibration in a vertical plane, which is due to differentiation (distribution) of the initial mass of the fluid stream and providing on this basis of equilibrated layer of filtered material on the surface of the blades is developed to establish the basic parameters of rotor blade vibration and centrifugal centrifuges. The straight blade has a rectangular holes up to 2 mm, and the curved one – holes up to 0.25 mm. Moisture content is one of the most important characteristics of any feed, that determines not only its state of aggregation and structural-mechanical properties, but also the nature of interaction with the working bodies of machines. As a result of the research with application of an analytical method technological and physical properties of a beer pellet in the interaction with the perforated rotor blades vibration and centrifugal centrifuges are determined. The equations for the yield of the liquid fraction of brewer's grains through the straight and curved blades of the rotor are obtained. It indicates the relationship of the technological and physical properties of brewer's grains, which are necessary to determine rational major parameters of the proposed vibration- centrifugal centrifuge 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.

На сегодняшний день существует проблема утилизации пивной дробины в целях получения высококонцентрированного корма для сельскохозяйственных животных и разработки технических средств для этого. Высококонцентрированные корма входят в различные рационы животных и птицы в качестве биологически активных добавок [1, 2, 3, 4]. Одним из способов решения этой проблемы является обезвоживание пивной дробины в поле вибрационно-центробежных сил с последующими сушкой или прессованием. При этом при реализации этого способа возникают трудности, связанные с недостаточной изученностью процесса и отсутствием высокотехнологичного отечественного оборудования, поэтому данная проблема остается актуальной.

**Цель и методика исследований.** Цель исследования – теоретическое обоснование взаимосвязи технологических и физических свойств пивной дробины для определения рациональных основных параметров вибрационно-центробежной центрифуги.

Для достижения цели на основании анализа конструкций центрифуг на кафедре технологии и механизации животноводства и инженерной графики Южно-Уральского ГАУ разработана вибрационно-центробежная центрифуга для разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции [5, 6, 7, 8, 9].

Для обоснования основных параметров лопастной роторавибрационно-центробежной центрифуги представим схему разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции (рис. 1), на которой показана установка перфорированных прямолинейных и криволинейных лопастей друг за другом по ходу вращения ротора, совершающего осевые вибрации в вертикальной плоскости перпендикулярно плоскости его вращения. Из этой схемы видно, что исходная масса сначала поступает на прямолинейную лопасть с прямоугольными отверстиями высотой до 2 мм, на которой задерживаются и движутся для их выброса из центрифуги в направлении к периферии

ротора за счет центробежных сил частицы большей части густой фракции, а жидкая фракция с оставшимися частицами поступает на поверхность криволинейной лопасти, и там происходит окончательное обезвоживание пивной дробины. На криволинейной лопасти с прямоугольными отверстиями высотой до 0,25 мм также задерживаются и движутся в направлении к периферии ротора частицы более 0,25 мм, и очищенная от твердых частиц жидкая фракция поступает в патрубки для их сбора и удаления из центрифуги. Таким образом происходят дифференциация (распределение) исходной массы жидкого потока в процессе разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции и обеспечение на этой основе равнотолщенного слоя фильтруемого материала по всей поверхности лопастей вращающегося ротора с осевыми колебаниями.

**Результаты исследований. Рекомендации.** В результате исследований с применением аналитического метода определены технологические и физические свойства пивной дробины при взаимодействии с перфорированными лопастями ротора вибрационно-центробежной центрифуги.

Влажность является одной из важнейших характеристик любого корма, от содержания которой в нем зависят не только его агрегатное состояние и структурно-механические свойства, но и характер взаимодействия с рабочими органами машин.

Влажность исходной пивной дробины определяется по формуле [10]:

$$W_{\text{и}} = \frac{m_{\text{и}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{и}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{ж}}}{m_{\text{и}}} \cdot 100\%$$

где  $m_{\text{и}}$  – исходная масса пивной дробины, кг;

$m_{\text{с}}$  – масса сухого остатка, кг;

$m_{\text{ж}}$  – масса жидкой составляющей, кг.

Влажность осадка пивной дробины определяется по формуле:

$$W_{\text{ос}} = \frac{m_{\text{ж}}^{\text{ос}}}{m_{\text{ос}}^{\text{ос}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

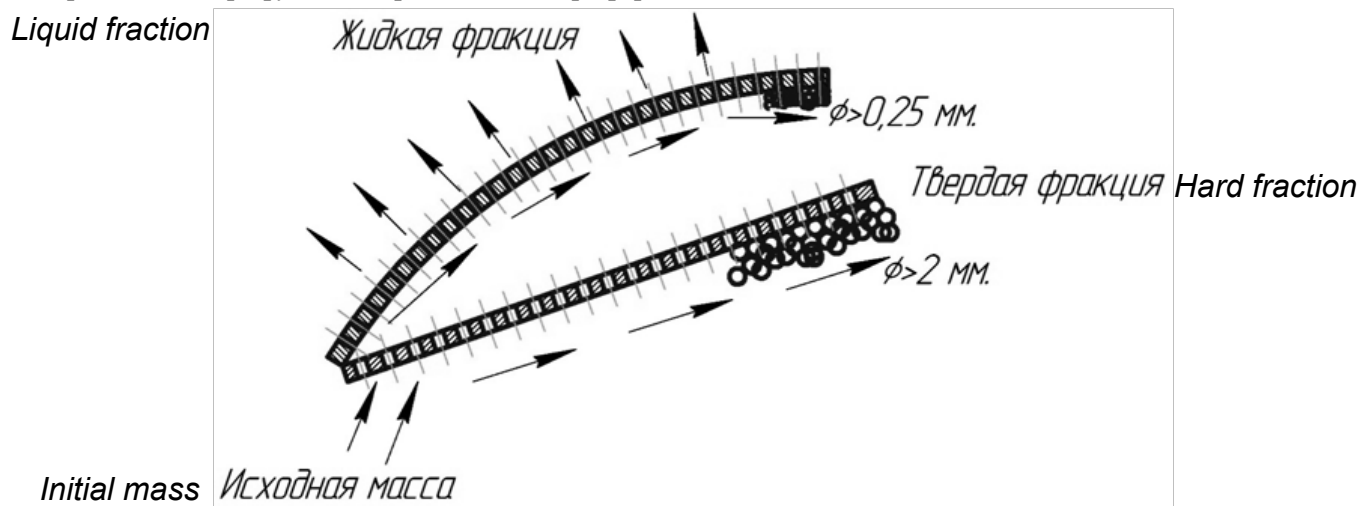


Рис. 1. Схема разделения потока пивной дробины на лопастях вибрирующего ротора  
Fig. 1. The scheme of separation of spent grains on the vibrating blades of the rotor

где  $m_{ж}^{ос}$  – масса жидкой составляющей в осадке, кг;  
 $m^{ос}$  – масса осадка, кг.

Масса жидкой фазы в пивной дробине определяется по формуле:

$$m_{ж} = \frac{m_{II} \cdot W_{II}}{100 \%} \quad (3)$$

Масса сухой составляющей в пивной дробине определяется по формуле:

$$m_{с} = \frac{100 \% - W_{II}}{W_{II}} \cdot m_{ж} \quad (4)$$

Содержание жидкой фазы и сухой составляющей в пивной дробине, проходящей через прямолинейную лопасть ротора предлагаемой центрифуги, определяется по формулам:

$$m_{ж,ос}^{пр} = m_{ж} - m_{ж,ф}^{пр} \quad (5)$$

$$m_{с,ос}^{пр} = m_{с} - K_{г} \cdot m_{с} = m_{с} \cdot (1 - K_{г}^{пр}) \quad (6)$$

где  $K_{г}^{пр}$  – гранулометрический коэффициент, который является соотношением частиц пивной дробины на прямолинейной и криволинейной лопастях.

Влажность осадка на выходе из прямолинейной лопасти определяется по формуле:

$$W_{ос}^{пр} = \frac{m_{ж,ос}^{пр}}{m^{ос}} 100 \% = \frac{100 \% \cdot m_{ж,ос}^{пр}}{m_{с,ос}^{пр} + m_{ж,ос}^{пр}} \quad (7)$$

Отсюда с учетом формул (1–7) масса выхода жидкой части фильтрата имеет следующий вид:

$$m_{ж,ф}^{пр} = \frac{m_{II} (W_{II} + W_{ос} \cdot (K_{г}^{пр} - \frac{100 \% - K_{г}^{пр} \cdot W_{II}}{100 \%}))}{100 \% - W_{ос}} \quad (8)$$

При этом масса выражается через производительность:

$$m = Q \cdot t \quad (9)$$

и сокращается время, так как процесс непрерывный, уравнение (8) можно представить в виде:

$$Q_{ж}^{пр} = \frac{Q_{II} (W_{II} + W_{ос} \cdot (K_{г}^{пр} - \frac{100 \% - K_{г}^{пр} \cdot W_{II}}{100 \%}))}{100 \% - W_{ос}} \quad (10)$$

Содержание жидкой фазы и сухой составляющей в пивной дробине, проходящей через криволинейную лопасть, определяется по формулам:

$$m_{ж,ос}^{кр} = m_{ж} - m_{ж,ос}^{пр} - m_{ж,ф}^{кр} \quad (11)$$

$$m_{с,ос}^{кр} = m_{с} - m_{с,ос}^{пр} - m_{с,ф}^{кр} \quad (12)$$

Формула влажности осадка на выходе из криволинейной лопасти имеет следующий вид:

$$W_{ос}^{кр} = \frac{m_{ж,ос}^{кр}}{m^{ос}} 100 \% = \frac{100 \% \cdot m_{ж,ос}^{кр}}{m_{с,ос}^{кр} + m_{ж,ос}^{кр}} \quad (13)$$

Отсюда с учетом формул (1–13) масса выхода жидкой части фильтрата вычисляется так:

$$m_{ж,ф}^{кр} = \frac{m_{ж,ф}^{пр} \cdot (100 \% - W_{ос}^{кр}) - m_{II} \cdot K_{г} \cdot W_{ос}^{кр} \cdot (1 - \frac{W_{II}}{100 \%})}{(100 \% - W_{ос}^{кр}) - \frac{W_{ос}^{кр} \cdot B_{в}}{\rho_{ж}}} \quad (14)$$

где  $B_{в}$  – содержание взвешенных веществ в фильтрате, кг/л;

$\rho_{ж}$  – плотность фильтрата, кг/л.

С учетом формул (8) и (9) уравнение (14) представим в виде:

$$Q_{ж}^{кр} = \frac{Q_{II} \left( \frac{(100 \% - W_{ос}^{кр}) (W_{II} + W_{ос} \cdot (K_{г}^{пр} - \frac{100 \% - K_{г}^{пр} \cdot W_{II}}{100 \%}))}{100 \% - W_{ос}} - K_{г} \cdot W_{ос}^{кр} \cdot (1 - \frac{W_{II}}{100 \%}) \right)}{(100 \% - W_{ос}^{кр}) - \frac{W_{ос}^{кр} \cdot B_{в}}{\rho_{ж}}} \quad (15)$$

Уравнения (10) и (15) указывают на взаимосвязь технологических и физических свойств пивной дробины, учет которых необходим для определения рациональных основных параметров предлагаемой вибрационно-центробежной центрифуги.

Экспериментальные исследования вибрационно-центробежной центрифуги подтвердили теоретические предпосылки к определению выхода жидкой фракции пивной дробины и определению ее рациональных основных параметров, при которых влажность осадка пивной дробины минимальна и составляет 56–58 % [11].

**Выводы.** Разработана схема разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции с установкой перфорированных прямолинейных и криволинейных лопастей друг за другом по ходу вращения ротора, совершающего осевые вибрации в вертикальной плоскости, за счет чего происходят дифференциация (распределение) исходной массы жидкого потока и обеспечение на этой основе равноутолщенного слоя фильтруемого материала по всей поверхности лопастей. Получены уравнения выхода жидкой фракции пивной дробины через прямолинейную и криволинейную лопасти ротора, указывающие на взаимосвязь технологических и физических свойств пивной дробины, учет которых необходим для определения рациональных основных параметров предлагаемой вибрационно-центробежной центрифуги.

### Литература

1. Федоренко И. Я., Садов В. В. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве : учебное пособие. СПб. : Лань, 2012. 304 с.
2. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии : учебное пособие / под ред. А. И. Заважнова. СПб. : Лань, 2013. 496 с.
3. Рециклинг отходов в АПК : справочник / И. Г. Голубев [и др.]. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с.
4. Батищева Н. В. Инновационные способы утилизации пивной дробины // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 6. С. 10–14.

5. Устройство для обезвоживания пивной дробины : патент № 157095. Рос. Федерация. № 2015129920 ; заявл. 20.07.2015 ; опубл. 20.11.2015. 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. Proceedings of the IX International scientific-practical conference. North Charleston, SC, USA (16–17 October 2015). P. 41–45.
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 : международная научно-практическая конференция, посвященная 110-летию со дня рождения доктора ветеринарных наук, профессора Есютина Александра Васильевича. Троицк : Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2016. С. 10–14.
9. Устройство для обезвоживания пивной дробины : пат. № 172014. Рос. Федерация. № 2016124822 ; заявл. 21.06.2016 ; опубл. 26.06.2017. Бюл. № 18.
10. Коваленко В. П. Механизация обработки бесподстилочного навоза. М. : Колос, 1984. 156 с.
11. Николаев В. Н., Ахметвалиев М. С., Литаш А. В. Результаты экспериментальных исследований вибрационно-центробежной установки для разделения пивной дробины // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 57–61.

#### References

1. Fedorenko I. Y., Gardens V. V. Resource-saving technologies and equipment in animal breeding : manual. SPb. : Lan, 2012. 304 p.
2. Modern problems of science and industry in agroengineering : manual / on the ed. of I. A. Zavrazhnova. SPb. : Lan, 2013. 496 p.
3. Recycling waste in agriculture : reference book / I. G. Golubev [et al.]. M. : FSBSI «Rosinformagrotech», 2011. 296 p.
4. Batishcheva N. V. Innovative ways of recycling of spent grains // Scientific review. Technical Sciences. 2016. № 6. P. 10–14.
5. Device for dewatering of brewer's grains : pat. № 157095. Russian Federation. № 2015129920 ; Appl. 20.07.2015 ; publ. 20.11.2015. Bull. № 32.
6. Ahmetvaliev M. S. Analysis of the process of separation of suspensions and improvement of vibration-centrifugal centrifuges // 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. Proceedings of the IX International scientific-practical conference. North Charleston, SC, USA (16–17 October 2015). P. 41–45.
8. Ahmetvaliev M. S., Nikolaev V. N., Fetisov E. V. Improving vibration-centrifugal device for dewatering of spent grains // Topical issues of import substitution in agriculture and veterinary medicine. International scientific-practical conference, devoted to 110-anniversary from birthday of doctor of veterinary sciences, professor Estina Alexander Vasilyevich. Troitsk : South Ural State Agrarian University, 2016. P. 10–14.
9. Device for dewatering of brewer's grains : pat. № 172014. Russian Federation. № 2016124822 ; Appl. 21.06.2016 ; publ. 26.06.2017. Bull. № 18.
10. Kovalenko V. P. The mechanization of the processing liquid manure. M. : Kolos, 1984. 156 p.
11. Nikolaev V. N., Ahmetvaliev M. S., Litas A. V. Results of experimental researches of vibration-centrifugal unit for separating spent grains // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. № 4 (158). P. 57–61.