

К ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УДАРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ

**Алексей Михайлович Золотарев
Виктор Васильевич Труфанов
Роман Александрович Дружинин
Михаил Николаевич Яровой**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Ведущим оборудованием в области дробления зерновых кормов являются молотковые дробилки, обладающие большой металлоемкостью и энергоемкостью процесса измельчения. Поэтому наиболее актуальными в последнее время становятся измельчители ударно-центробежного типа действия, которые позволяют получать продукт с выровненным гранулометрическим составом и меньшими затратами энергии, внедрение которых в производство сдерживается отсутствием методик расчета по определению рациональных параметров. В данной работе представлена усовершенствованная конструкция ударно-центробежной дробилки, для определения рациональных режимных параметров которой был поставлен многофакторный эксперимент по плану Хартли Н4. Исследования были проведены по специальной разработанной методике на лабораторной установке, подача материала в которую осуществлялась с помощью тарельчатого дозатора ДТК, частоту вращения загрузочного и отбойного дисков изменяли преобразователем частоты Altivar 31 с последующим замером с помощью тахометра Т 410-Р. Для определения энергоемкости процесса дробления использовали трехфазные электронные счетчики с погрешностью измерения не более 0,5%. Масса отобранных проб готового продукта взвешивалась на весах ВП-50, а остаток на ситах классификатора – на весах ВНУ. Фракционный состав готового продукта определялся на ситовом классификаторе. По результатам экспериментальных исследований были получены математические модели и графические зависимости модуля помола и удельной энергоемкости процесса дробления от параметров ударно-центробежной дробилки, а также установлены рациональные режимные параметры (частота вращения загрузочного и отбойного дисков соответственно 600 и 2500 об/мин, подача материала – 800 кг/ч, зазор – 6 мм), позволяющие осуществлять процесс дробления с меньшими затратами и получением конечного продукта высокого качества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ударно-центробежная дробилка, модуль помола, удельная энергоемкость, зазор, подача, дробление.

ON THE RATIONALE OF OPERATING PARAMETERS OF AN IMPACT CENTRIFUGAL CRUSHER

**Aleksey M. Zolotarev
Viktor V. Trufanov
Roman A. Druzhinin
Mikhail N. Yarvoy**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The leading equipment in the field of grain feed crushing are hammer crushers that are characterized by a large specific amount of metal per structure and a high power consumption for the crushing process. Therefore, in recent years the most contemporary equipment has been represented by impact centrifugal crushers that allow obtaining products with a uniform grain size distribution and lower energy costs, but their manufacturing application is constrained by the lack of calculation methods for determining the rational parameters. In this work the authors present an improved design of an impact centrifugal crusher. Its rational operating parameters were determined in a multi-factor experiment according to the Hartley's H4 test. The studies were performed using a specially developed technique in a laboratory setup, to which the material was fed from the DTK rotary table feeder. The rotation speed of the feeding and crushing disks was adjusted by the Altivar 31 speed drive and then measured with the T 410-P speed indicator. To determine the power consumption of the crushing process the authors used three-phase electronic counters with the measurement error of not more than 0.5%. The mass of samples of the finished product was weighed on the VP-50 balance, and the sieve residual was weighed on the VNU balance. The fractional composition of the final product was determined on a sieve separator. Based on the results of experimental studies the authors have obtained the mathematical models and graphical dependences of the crushing module and specific power consumption of the crushing process from the parameters of the impact centrifugal crusher. The authors have also established the rational operating parameters (the rotation speed of the feeding and crushing disks – 600 and 2500 rpm, respectively; material feed – 800 kg/h; clearance – 6 mm) that allow carrying out the process of crushing with lower costs and obtaining a high-quality final product.

KEY WORDS: impact centrifugal crusher, crushing module, specific power consumption, clearance, feed, crushing.

Введение

Для нормального функционирования отрасли животноводства необходимо создание прочной кормовой базы, около 70% которой составляют комбикормовые смеси. Самой ответственной операцией при производстве комбикормов является измельчение фуражного зерна, на долю которой расходуется до 75% электроэнергии от всего процесса. В фермерских хозяйствах России для приготовления комбикормов, в основном, используются молотковые дробилки, которые нашли свое широкое распространение из-за простоты конструкции и удобства технического обслуживания, а также высокой надежности их работы. Но они обладают и рядом серьезных недостатков – высокая металло- и энергоемкость процесса дробления (от 20 до 35 кВт на тонну измельчаемого продукта), низкое качество конечного продукта [1, 2, 6, 8, 9, 12].

При интенсификации процесса разрушения материалов проводятся разработка и внедрение новых рабочих органов и машин. К таковым машинам можно отнести измельчители ударно-центробежного типа действия, которые обладают низкими затратами энергии на процесс измельчения фуражного зерна, малой металлоемкостью и достаточно высоким качеством получаемого продукта. Ударно-центробежные дробилки - это новое слово и новый тип машин в области получения комбикормовых смесей [3, 4, 6].

Материалы и методы

На кафедре безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета разработана и внедрена в производство конструкция ударно-центробежной дробилки, представленная на рисунке 1.

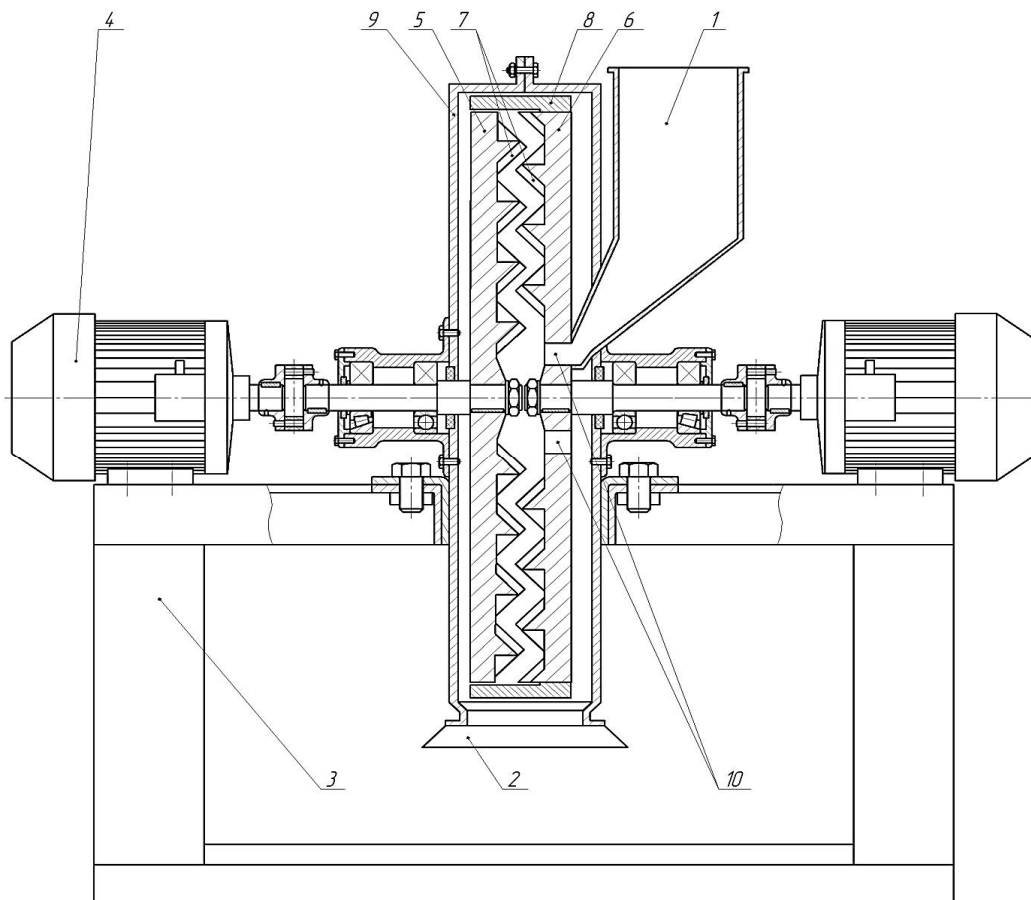


Рис. 1. Ударно-центробежная дробилка: 1 – бункер; 2 – выгрузное устройство; 3 – рама; 4 – электродвигатель; 5 – отбойный диск; 6 – загрузочный диск; 7 – ножи; 8 – лопатка; 9 – корпус измельчителя; 10 – загрузочные окна

Ударно-центробежная дробилка содержит бункер для загрузки исходного материала 1, в корпусе которой расположены приводные диски 5 (отбойный) и 6 (загрузочный), на которых установлены ножи 7, выгрузное устройство 2, корпус измельчителя 9, раму 3, электродвигатель 4, разгонные лопатки 8, загрузочные окна 10.

Для повышения равномерности подачи зерна ножи правого диска входят во впадины левого диска с образованием зазора S из условия изменения модуля помола M :

- $S = 3$ мм, $M = 0,6-0,8$ мм – тонкий помол;
- $S = 4$ мм, $M = 1,0-1,6$ мм – средний помол;
- $S = 5$ мм, $M = 1,8-2,2$ мм – крупный помол.

Диски 5, 6 закреплены на валах электродвигателя с возможностью вращения в противоположные стороны. Цилиндрический корпус измельчителя закрыт кожухом.

Зерно подается в корпус измельчителя 9 через бункер для загрузки исходного материала 1, далее поступает через загрузочные окна 10 диска 6 в центральную часть измельчителя, где захватывается ножами отбойного диска 5 и движется по поверхности этих ножей и образующей конуса, где начинается процесс его дробления. При сходе с последнего конуса отбойного диска 5 продукт попадает на дополнительные разгонные лопатки 8, которыми разгоняется и дополнительно измельчается. Далее готовый продукт выходит через выгрузное устройство 2. Выгрузное устройство позволяет отбирать пробы готового продукта в процессе работы устройства для измельчения сыпучих материалов [5, 7, 11].

Основными факторами, влияющими на процесс дробления зерновых культур, являются следующие:

- подача материала (Q);
- зазор между дисками (S);
- частота вращения загрузочного (N_1) диска;
- частота вращения отбойного (N_2) диска.

Учитывая значение этих факторов, были намечены пределы их варьирования (табл. 1).

Таблица 1. Пределы варьирования основных факторов, влияющих на процесс дробления

Наименование фактора	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования				
			- α	-1	0	+1	+ α
Частота вращения загрузочного диска N_1 , об/мин	X_1	50	600	850	900	950	1200
Частота вращения отбойного диска N_2 , об/мин	X_2	45	2500	2705	2750	2795	3000
Зазор, мм	X_3	0,3	3	4,2	4,5	4,8	6
Подача материала, кг/ч	X_4	40	400	560	600	640	800

Результаты исследований

Для получения математических моделей и графических зависимостей удельной энергоемкости и модуля помола от заданных параметров (подачи материала, зазора, частот вращений загрузочного и отбойных дисков) была проведена серия опытов по плану Хартли Н4.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований

№	S	N ₁ , об/мин	N ₂ , об/мин	Q, кг/ч	W _{сум} , Вт	Остаток на решетках					M, мм	λ	Эи, кВт·ч/ т·е.с.и.	Aud, кВт·ч/т
						дно	0,2	1,2	2	3				
1	4,8	952	2793	635	2538,95	160	112	256	120	29	1,34	3,13	1,28	4,00
2	4,8	848	2793	565	2295,00	153	108	223	101	33	1,32	3,18	1,28	4,06
3	4,8	848	2707	635	2371,50	120	91	240	140	60	1,57	2,68	1,39	3,73
4	4,8	952	2707	565	2269,50	141	95	230	114	35	1,39	3,02	1,33	4,02
5	4,2	952	2793	635	2567,00	210	132	268	109	22	1,20	3,50	1,16	4,04
6	4,2	848	2793	565	2462,45	175	125	309	131	30	1,34	3,13	1,39	4,36
7	4,2	848	2707	635	2443,75	154	112	281	123	32	1,37	3,07	1,25	3,85
8	4,2	952	2707	565	2346,00	207	142	314	122	30	1,27	3,31	1,25	4,15
9	4,5	900	2750	600	2380,00	118	86	220	109	24	1,40	3,00	1,32	3,97
10	4,5	600	2750	600	2304,35	124	98	243	203	74	1,67	2,51	1,53	3,84
11	4,5	1200	2750	600	2346,00	152	98	201	75	14	1,19	3,53	1,11	3,91
12	4,5	900	2500	600	2091,00	131	104	294	170	68	1,59	2,64	1,32	3,49
13	4,5	900	3000	600	2422,50	211	137	338	96	13	1,19	3,53	1,14	4,04
14	3,0	900	2750	600	2672,40	241	159	356	132	27	1,23	3,41	1,31	4,45
15	6,0	900	2750	600	2006,00	253	160	365	127	29	1,22	3,44	0,97	3,34
16	4,5	900	2750	400	1982,20	201	156	289	141	23	1,27	3,31	1,50	4,96
17	4,5	900	2750	800	2669,00	211	134	266	84	16	1,13	3,72	0,90	3,34

В результате статистической обработки вышеприведенных экспериментальных данных получены математические модели и графические зависимости модуля помола и удельной энергоёмкости от различных параметров [10].

Математическая модель модуля помола:

$$M = 8,1948391864 - 0,0000008130 \cdot N_1 N_2 + 0,0000007730 \cdot N_1 - 0,0000022657 \cdot Q^2 + 0,0026984127 \cdot S Q - 0,0574611620 \cdot S^2 - 0,0099929634 \cdot Q - 1,0551538661 \cdot S,$$

где N₁ – частота вращения загрузочного диска, об/мин;

N₂ – частота вращения отбойного диска об/мин;

Q – подача материала, кг/ч;

S – зазор между дисками, мм.

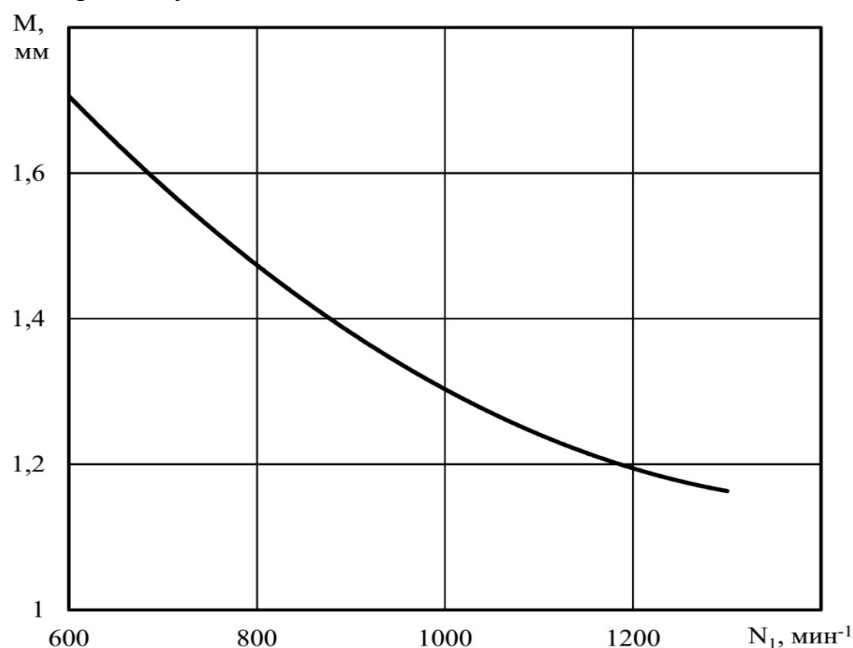


Рис. 2. Зависимость модуля помола M (мм) от частоты вращения загрузочного диска N₁, при N₂ = 2750 об/мин, Q = 600 кг/ч, S = 4,5 мм

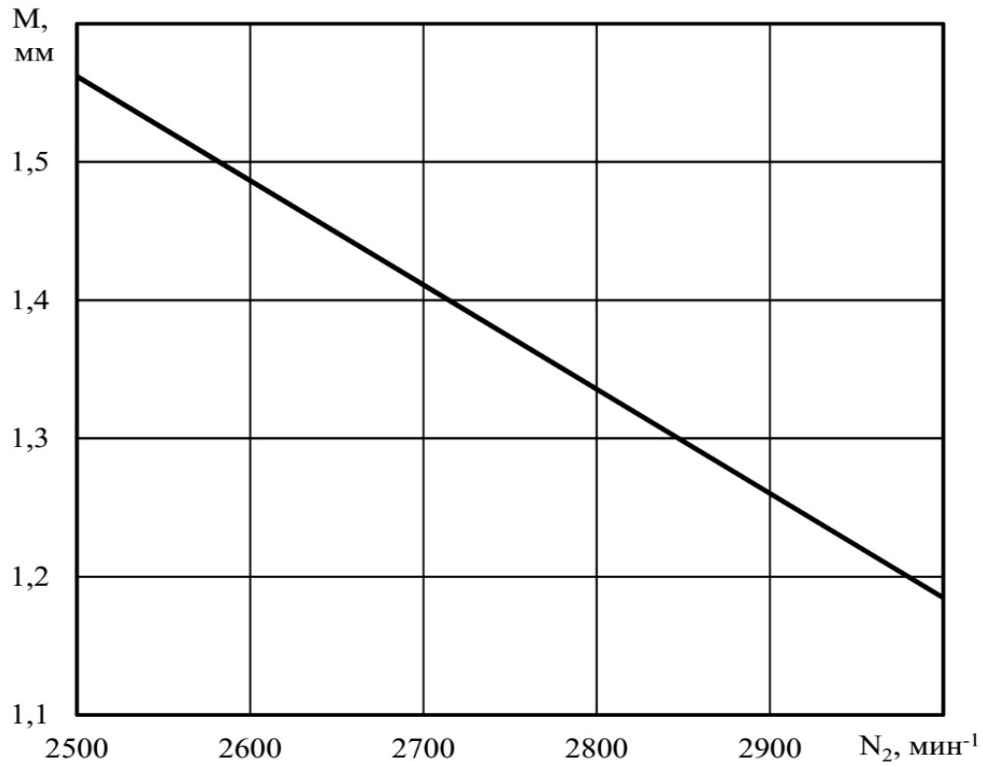


Рис. 3. Зависимость модуля помола M (мм) от частоты вращения отбойного диска N_2 , при $N_1 = 600$ об/мин, $Q = 600$ кг/ч, $S = 4,5$ мм

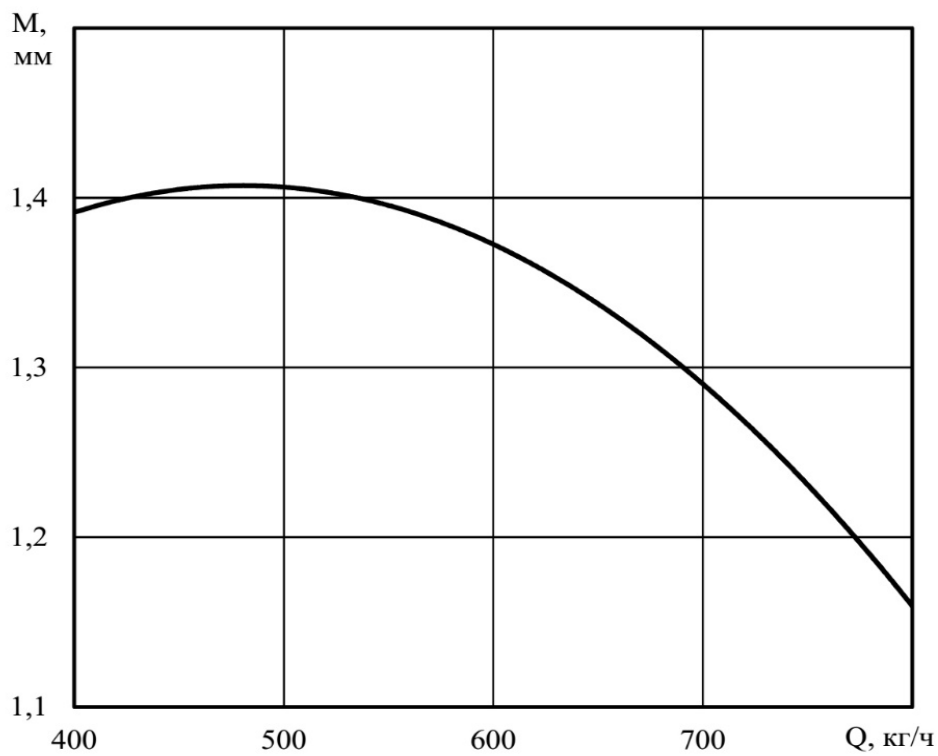


Рис. 4. Зависимость модуля помола M (мм) от подачи материала Q , при $N_1 = 600$ об/мин, $N_2 = 2750$ об/мин, $S = 4,5$ мм

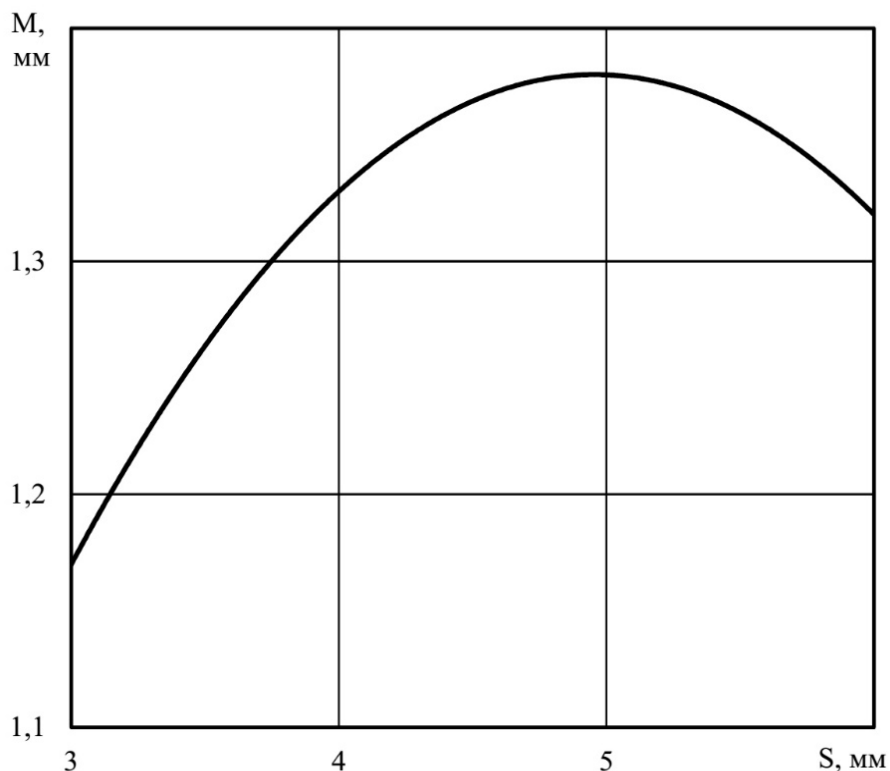


Рис. 5. Зависимость модуля помола М (мм) от зазора между дисками S, при Q = 600 кг/ч, N₁ = 600 об/мин, N₂ = 2750 об/мин

Математическая модель удельной энергоёмкости процесса измельчения:

$$A_{ud} = -28,04 - 0,0016 \cdot S \cdot Q + 0,00233N_2 + 0,000984 \cdot S \cdot N_1 - 0,00000399N_2^2 - 0,00000223N_1^2 + 0,00000266Q^2 - 0,0338S^2.$$

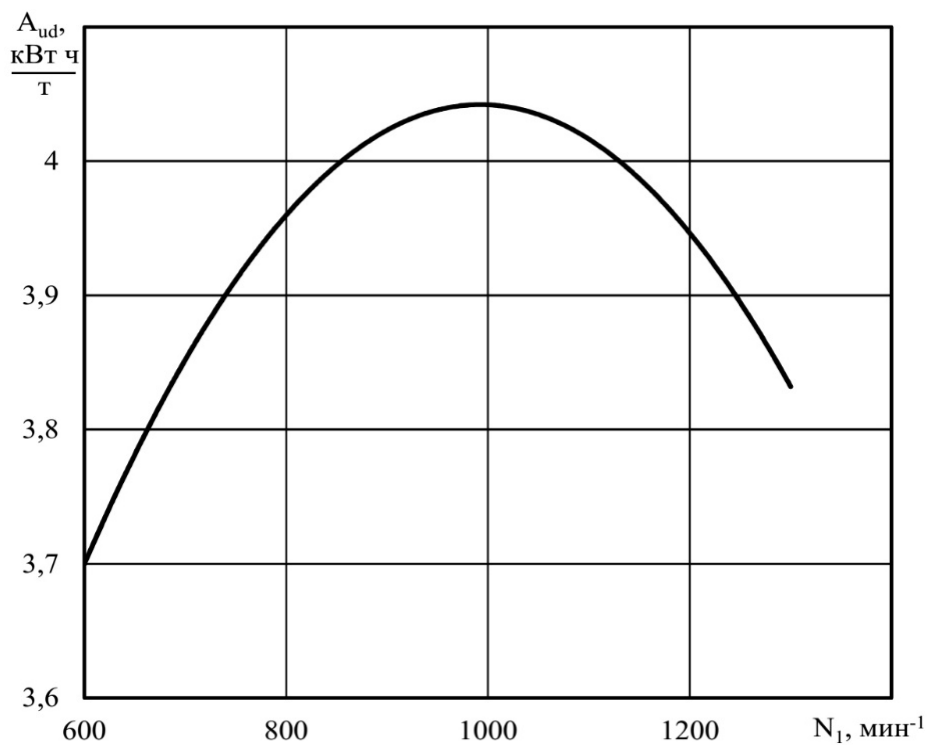


Рис. 6. Зависимость удельной энергоёмкости процесса измельчения A_{ud} (кВт·ч/т) от частоты вращения загрузочного диска N₁, при N₂ = 2750 об/мин, Q = 600 кг/ч, S = 4,5 мм

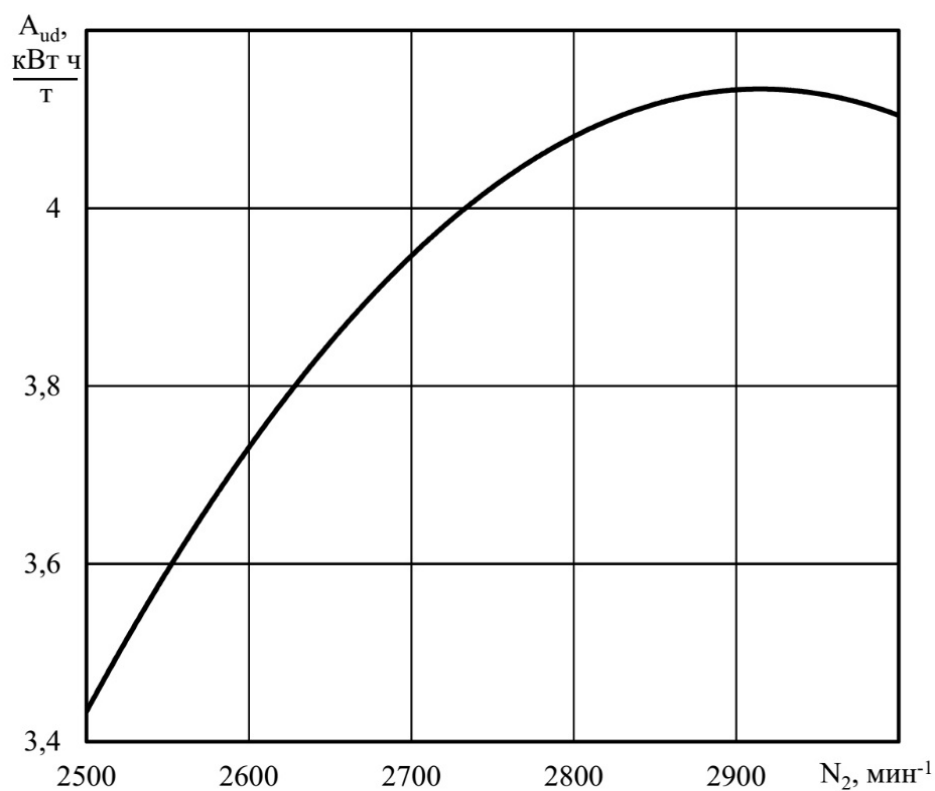


Рис. 7. Зависимость удельной энергоёмкости процесса измельчения A_{ud} (кВт·ч/т) от частоты вращения отбойного диска N_2 , при $N_1 = 600$ об/мин, $Q = 600$ кг/ч, $S = 4,5$ мм

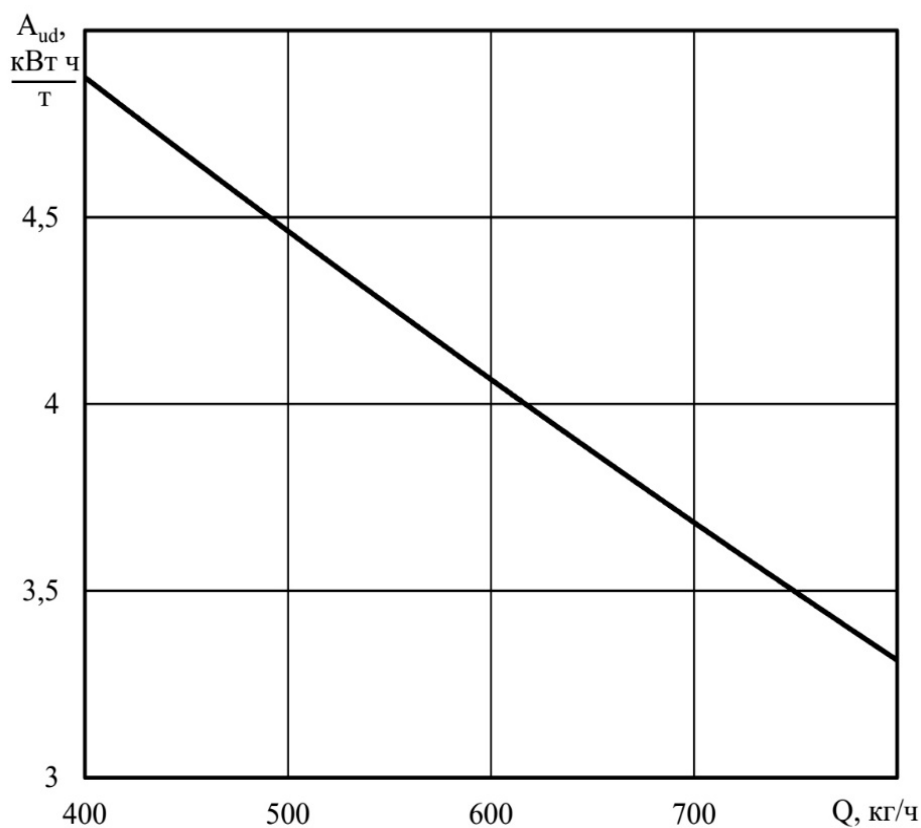


Рис. 8. Зависимость удельной энергоёмкости процесса измельчения A_{ud} (кВт·ч/т) от подачи материала Q , при $N_1 = 600$ об/мин, $N_2 = 2750$ об/мин, $S = 4,5$ мм

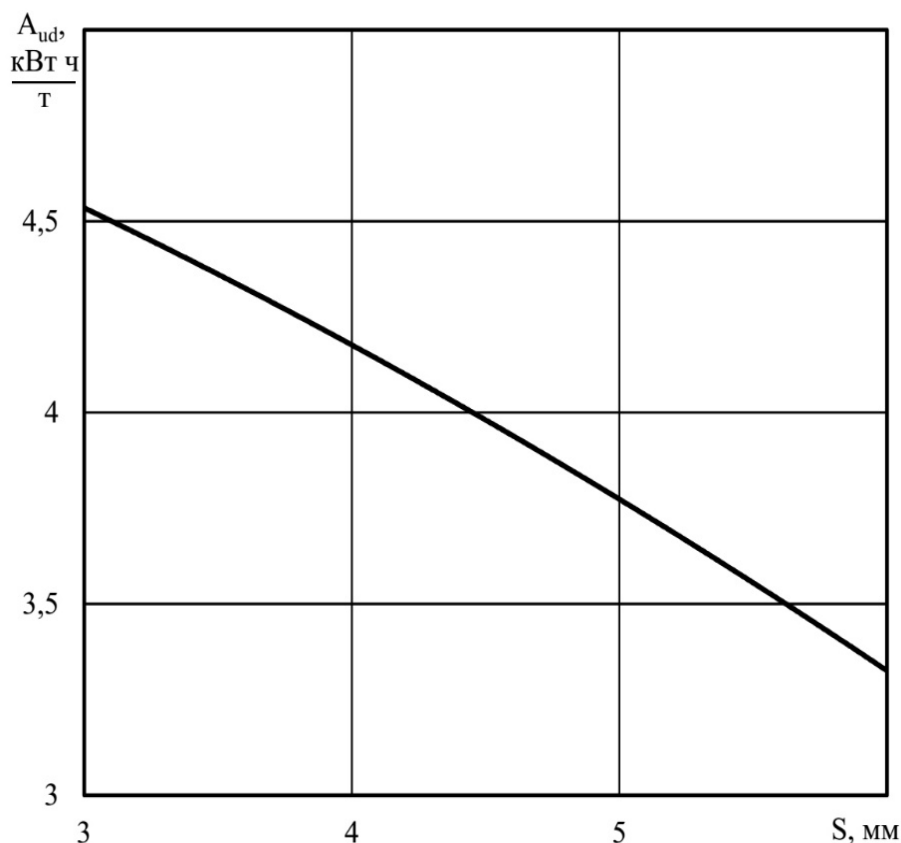


Рис. 9. Зависимость удельной энергоёмкости процесса измельчения $A_{уд}$ (кВт·ч/т) от зазора между дисками S , при $Q = 600$ кг/ч, $N_1 = 600$ об/мин, $N_2 = 2750$ об/мин

Заключение

Наиболее рациональными режимными параметрами, обеспечивающими меньшую энергоёмкость процесса измельчения, являются:

- частота вращения загрузочного диска $N_1 = 600$ об/мин;
- частота вращения отбойного диска $N_2 = 2500$ об/мин;
- подача материала $Q = 800$ кг/ч;
- зазор $S = 6$ мм,

Варьируя зазором и частотами вращения дисков, можно достичь нужного модуля помола.

Таким образом, можно сделать вывод, что ударно-центробежные измельчители являются наиболее целесообразным для использования оборудованием в области комбикормового производства.

Библиографический список

1. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов дробилки и мельницы / В.Я. Борщев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ci.kpi.ua/Books/borchev.pdf> (дата обращения: 12.02.2017).
2. Денисов В.А. Исследование процесса измельчения фуражного зерна в высокоскоростной центробежной дробилке и обоснование режимов ее работы : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В.А. Денисов. – Москва, 1979. – 215 с.
3. Демский А.Б. Совершенствование комбикормового оборудования промышленных предприятий / А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев. – Москва : Колос, 1982. – 127 с.
4. Дробилки зерновые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.remz.uu.ru/drobilki.htm> (дата обращения: 10.02.2017).

5. Дружинин Р.А. Совершенствование рабочего процесса ударно-центробежного измельчителя : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Р.А. Дружинин. – Воронеж, 2014. – 133 с.
6. Золотарев С.В. Ударно-центробежные измельчители фуражного зерна (основы теории и расчета) / С.В. Золотарев. – Барнаул : ГИПП «Алтай», 2001. – 200 с.
7. Золотарев А.М. Совершенствование конструкции ударно-центробежного измельчителя / А.М. Золотарев, В.В. Труфанов, Р.А. Дружинин // Молодежный вектор развития аграрной науки : матер. 67-й студ. науч. конф. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – Ч. II. – С. 174–178.
8. Ишков В.И. Исследование влияния основных параметров безрешетной молотковой дробилки на производительность зерна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В.И. Ишков. – Воронеж, 1982. – 20 с.
9. Мацупа В.П. Увеличение производительности молотковых дробилок / В.П. Мацупа // Техника в сельском хозяйстве. – 1971. – № 1. – С. 82–83.
10. Математическая модель удельной энергоемкости процесса измельчения зерна / В.В. Труфанов [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 2 (33). – С. 129–131.
11. Пат. 2438782 Российская Федерация, МПК В 02 С 7/02 (2006.01). Устройство для измельчения сыпучих материалов / Труфанов В.В. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – № 2010113075/03; заявл. 05.04.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. – 5 с.
12. Тарасенко А.М. Исследование влияния конструктивных параметров молотковой дробилки на эффективность измельчения зерновых кормов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.М. Тарасенко. – Воронеж, 1976. – 24 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Алексей Михайлович Золотарев – магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-70-03, e-mail: 79515669957@yandex.ru.

Виктор Васильевич Труфанов – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8 (473) 253-70-03, e-mail: kafmg@agroeng.vsau.ru.

Роман Александрович Дружинин – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-70-03, e-mail: roman.druzhinin@mail.ru.

Михаил Николаевич Яровой – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-70-03, e-mail: jromi@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 28.02.2018

Дата принятия к печати 16.03.2016

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Aleksey M. Zolotarev – Master's Degree Student, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel: 8(473) 253-70-03, e-mail: 79515669957@yandex.ru.

Viktor V. Trufanov – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel: 8(473) 253-70-03, e-mail: kafmg@agroeng.vsau.ru.

Roman A. Druzhinin – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel: 8(473)253-70-03, e-mail: roman.druzhinin@mail.ru.

Mikhail N. Yarovoy – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh tel: 8(473) 253-70-03, e-mail: jromi@mail.ru.

Received February 28, 2018

Accepted March 16, 2018