

Обоснование конструктивных параметров горизонтального роторного агрегата для дробления фуражного зерна

Анатолий Тимофеевич Лебедев,
доктор технических наук, профессор кафедры,
e-mail: lebedev.1962@mail.ru;

Рамиль Рашидович Искендеров,
кандидат технических наук;
Александр Сергеевич Шумский,
аспирант

Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Реферат. Горизонтальная роторная дробилка позволяет качественно измельчать зерновые материалы и получать готовый продукт, выравненный по гранулометрическому составу до 98 процентов. Эффективность работы дробилки определяют следующие параметры: частота вращения ротора, рабочий зазор, интенсивность и плотность заполнения дробильной камеры, длительность воздействия на исходный продукт, конструктивные особенности рабочих органов и геометрическое исполнение их рифленых поверхностей. *(Цель исследования)* Обосновать конструктивные параметры горизонтальной роторной дробилки фуражного зерна. *(Материалы и методы)* Исследовали влияние количества рифлей статора на качество измельченного продукта по трем показателям: степень измельчения, модуль помола, фактическая результативность процесса измельчения. Выявили, что при увеличении количества рифлей модуль помола и степень измельчения меняются незначительно, а фактическая результативность измельчения снижается. При этом готовый продукт соответствует грубому помолу. Провели сравнительный эксперимент двух конструктивных вариантов исполнения рабочих поверхностей при одном противорезе статора для проверки эффективности изменения формы рифлей ротора и статора. *(Результаты и обсуждение)* Определили, что геометрические параметры рифлей рабочих органов горизонтальной роторной дробилки можно вычислить, используя предложенную модель теоретического расчета, исходя из вида измельчаемого материала и зоотехнических требований. Придание угловой формы пазам ротора также оказывает положительное влияние на общие показатели процесса измельчения. *(Выводы)* Представили теоретическое обоснование конструктивных особенностей нарезки рифлей рабочих поверхностей горизонтальной роторной дробилки и расчет диаметра ротора. Предложили модель определения этих параметров исходя из вида измельчаемой зерновой культуры. Провели экспериментальное сравнение различных форм исполнения и количества противорезов статора относительно качества получаемой продукции. Основные параметры изготовления пазов ротора рассчитали для наиболее распространенных зерновых культур (пшеница, ячмень, овес, кукуруза) и теоретически обосновали их оптимальные значения.
Ключевые слова: роторная дробилка, измельчение зерновых материалов, рифленая рабочая поверхность, ротор, статор.

■ **Для цитирования:** Лебедев А.Т., Искендеров Р.Р., Шумский А.С. Обоснование конструктивных параметров горизонтального роторного агрегата для дробления фуражного зерна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №5. С. 9-13. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-5-9-13.

Determination of Design Parameters for Horizontal Rotary Crushers for Feed Grain

Anatoly T. Lebedev,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: lebedev.1962@mail.ru;

Ramil R. Iskenderov,
Ph.D.(Eng.);
Aleksandr S. Shumsky,
postgraduate student

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

Abstract. A horizontal impact crusher provides for high-quality grinding of grain materials and getting the finished product equalized by particle size distribution to 98 percent. The effectiveness of the crusher is determined by the following parameters: rotor speed, operating clearance, intensity and full filling of the crushing chamber, the duration of impact on the original product, the design features of the working bodies and the geometric design of their corrugated surfaces. (Research

purpose) To determine the design parameters of a horizontal rotary crusher for feed grains. (Materials and methods) The influence of the stator flute number on the quality of the crushed product has been studied by three indicators: the grinding degree, the grinding module, the actual effectiveness of the grinding process. It has been found that as the flute number increases, the grinding module and the degree of grinding change insignificantly, and the actual effectiveness of grinding decreases. In this case, the finished product corresponds to coarse grinding. A comparative experiment has been conducted with two design variants of the working surfaces with one stator contradiction to check the effectiveness of changing the shape of the rotor and stator flutes. (Results and discussion) It has been determined that the geometrical parameters of flute working elements of a horizontal rotary crusher can be calculated using the proposed model of theoretical calculation based on the type of material crushed and zootechnic requirements. An angular shape of the rotor grooves also has a positive effect on the overall performance of the grinding process. (Conclusions) The authors present theoretical substantiation of the design features of cutting flute working surfaces of a horizontal rotary crusher and the calculation of the rotor diameter. They have proposed a model for calculating these parameters basing on the type of crushed grain crops. They have experimentally compared various design forms and the number of stator contradictions with respect to the quality of the products obtained. The main manufacturing parameters of rotor grooves have been calculated for the most common grain crops (wheat, barley, oats, and corn) and their optimal values have been theoretically substantiated.

Keywords: impact crusher, grinding of grain materials, corrugated working surface, rotor, stator.

■ **For citation:** Lebedev A.T., Iskanderov R.R., Shumsky A.S. Determination of the design parameters for horizontal rotary crusher for feed grain. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(5). 9-13. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-5-9-13. (In Russian).

Эффективность работы измельчителя оценивают по производительности, качеству измельчения, удельной энергоёмкости и материалоемкости. Эти показатели в значительной мере обусловлены конструктивно-режимными параметрами дробилки [1-4].

Горизонтальная роторная дробилка позволяет качественно измельчать зерновые материалы и получать готовый продукт, выравненный по гранулометрическому составу до 98%, с минимальным количеством 1-3% пылевидных фракций [5-7].

В ней используются принципы разрушения исходных материалов, заложенные в конструкциях молотковых, центробежно-роторных и вальцовых измельчителей. К основным параметрам, характеризующим эффективность ее работы, относят: частоту вращения ротора, рабочий зазор, интенсивность и плотность заполнения дробильной камеры, длительность воздействия на исходный продукт, конструктивные особенности рабочих органов и геометрическое исполнение их рифленых поверхностей.

Вид, количество, взаимная ориентация, острота, ресурс и другие параметры рифлей ротора и статора горизонтальной роторной дробилки оказывают ключевое влияние на качественную сторону измельчения, которая в современном кормопроизводстве определяет итоговую эффективность этого технологического процесса.

Цель исследования – обосновать конструктивные параметры горизонтальной роторной дробилки фуражного зерна.

Материалы и методы. В соответствии с методикой повышения эффективности технологических

процессов и средств механизации горизонтальная роторная дробилка для переработки зерновых материалов представлена самостоятельной сложной технической системой [8-10]. Процесс измельчения зерновых материалов относится к одному из наиболее распространенных на практике ключевому процессу – разделению материалов на части. Поэтому целевым назначением рабочих поверхностей стало создание условий разделения исходных зерновок на заданное количество частиц до достижения ими необходимого модуля помола и степени измельчения зернофуража в соответствии с зоотехническими требованиями. Рабочие поверхности остальных деталей корпуса в меньшей степени оказывают влияние на результативность процесса.

Рассматривая рифленые поверхности ротора и статора можно сказать, что пазы ротора больше влияют на процесс измельчения. Они обеспечивают доставку продукта в зону разрушения и создают условия захвата зерновок и необходимое напряжение в зоне контакта с противорезами статора для их скола. Поэтому форма рифлей статора должна выполняться идентично геометрическим параметрам рифлей ротора, не нарушая схемы взаимодействия «острие по острию» [6].

В ходе поисковых экспериментов на зернах пшеницы грубого помола ($M = 1,5-3$ мм) исследовано влияние количества противорезов (рифлей) статора $n_{п.с}$ на качество измельченного продукта по трем показателям: степени измельчения λ , модулю помола M и фактической результативности процесса измельчения $\Phi_{ри}$ при рабочем зазоре 0,8 мм и при частоте вращения ротора 1400 мин⁻¹ (рис. 1).

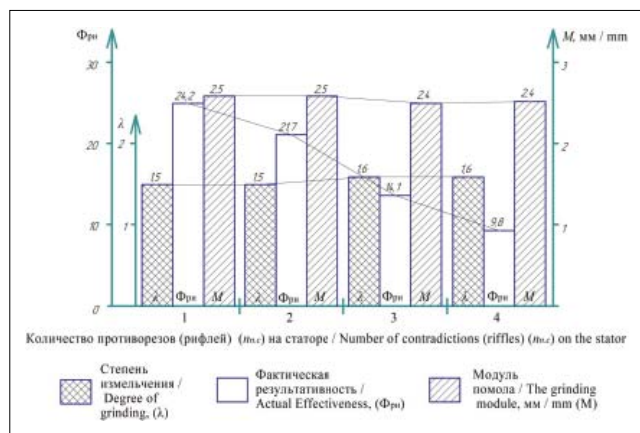


Рис. 1. Зависимость качественных показателей процесса измельчения от количества рифлей $n_{п.с.}$ на статоре

Fig. 1. Dependence of the qualitative indices of the grinding process on the number of ruffles $n_{п.с.}$ on the stator

Исследования показали, что при увеличении количества рифлей модуль помола M и степень измельчения λ меняются незначительно, а фактическая результативность измельчения $\Phi_{ри}$ снижается с 24,2 до 9,8. По этим трем оценочным показателям готовый продукт соответствует грубому помолу, но при этом предложенный показатель $\Phi_{ри}$ чувствительнее при изменении выравненности размера частиц в измельченной массе зерна. Данный опыт подтвердил возможность разделения исходного продукта на части при одном противорезе на статоре для среднего и грубого помола. При тонком помоле рекомендовано увеличить количество рифлей статора в пределах $n_{п.с.} = 3-4$.

Для проверки эффективности изменения формы рифлей ротора и статора провели сравнительный эксперимент двух конструктивных вариантов исполнения рабочих поверхностей при одном противорезе статора (рис. 2).

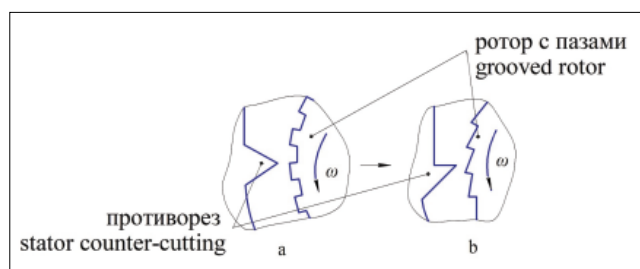


Рис. 2. Схема выполнения уклона: а – противореза статора, б – паза ротора

Fig. 2. Scheme of the gradient: a – the stator counter-cutting element, b – rotor slots

Наибольшее количество фракций, соответствующих зоотехническим требованиям, получено в варианте с уклоном паза ротора, что характеризуется изменением показателей степени измельчения с 1,6 до 1,5, модуля помола – с 2,4 до 2,5 мм и

фактической результативности процесса измельчения – с 16,9 до 36.

Для теоретического обоснования такого профиля рифлей ротора определим расстояние (шаг) t между двумя вершинами рифлей и их высоту h , измеряемую по радиусу. Поскольку искомые показатели зависят от геометрических параметров зернового материала, руководствовались эквивалентным диаметром исходного продукта D_3 и значением рабочего зазора δ . Величину площадки ΔS и радиус закругления ΔR рифлей, как трудноконтролируемые и не заданные правилами, не учитывали (рис. 3).

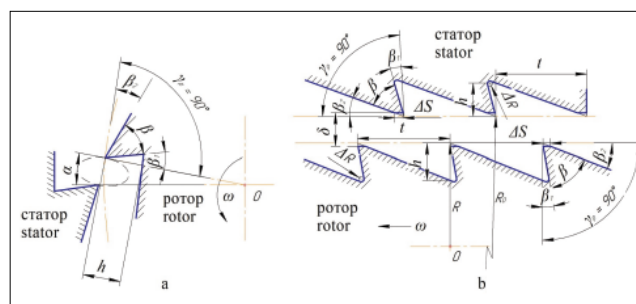


Рис. 3. Схема нарезки рифлей ротора и статора: а – при сколе зерновки в поперечном срезе, б – в развернутом виде

Fig. 3. Scheme of cutting grooves of the rotor and the stator: a – with caryopsis cleavage in a cross-section, b – in an unfolded state

Из рисунка 3 видно, что рифли горизонтальной роторной дробилки имеют две неравные боковые грани острия – узкую и широкую. Если из центра ротора провести радиус к вершине рифли, то можно увидеть, что угол острия β , угол наклона стенки паза β_1 и угол наклона спинки паза β_2 образуют угол резания $\gamma_p = 90^\circ$. При этом профиль рифли противореза позволяет дополнительно контролировать размер получаемых частиц готового зернового продукта. Например, за счет сужения канала между режущими поверхностями вблизи разгрузочного окна.

В принятой схеме выполнения паза под углом шаг фактически равен ширине паза a_n , то есть $t \approx a_n$. Тогда, исходя из геометрии зерновок различных культур, можно записать $t \approx 2D_3$, где D_3 – эквивалентный диаметр зерновки [2, 11].

Используя шаг нарезки рифлей t , можно узнать количество рифлей (пазов) ротора n_n :

$$n_n = \pi R / D_3 \quad (1)$$

Далее определим высоту рифлей h для паза ротора с учетом ее влияния на размер готового продукта:

$$h = t \sin 2\beta_1 / 2\lambda, \quad (2)$$

где λ – требуемая степень измельчения:

$$\lambda = D_3 / M, \quad (3)$$

Таблица КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ DESIGN PARAMETERS OF THE HORIZONTAL ROTOR CRUSHER Table					
Измельчаемая культура / Показатель Grindable crop / Indicator	D_3 , мм mm	D_{min} , мм mm	t , мм mm	h , мм mm	n_n , шт. pcs
Пшеница / Wheat	3,8	62	7,6	1,4	26
Ячмень / Barley	4,2	75	8,4	1,5	25
Овес / Oats	3,7	80	7,4	1,3	34
Кукуруза / Corn	6,9	110	13,8	1,7	25

где M – заданный модуль помола, мм.

На примере расчета вальцовых дробилок, зная значение зазора δ и размер исходной частицы зернового материала D_3 , можно вычислить диаметр ротора горизонтальной дробилки [2]:

$$D_{min} = D_3 - \delta / (1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

где D_{min} – минимальный теоретический диаметр ротора горизонтальной дробилки, мм; α – угол заклинивания зерновки между режущей кромкой противореза статора и паза ротора, зависящий от радиуса ротора и размера зерновки, град.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Используя предложенную модель теоретического расчета геометрических параметров рифлей рабочих органов горизонтальной роторной дробилки, можно вычислить их с учетом вида измельчаемого материала и зоотехнических требований. Например, при измельчении пшеницы, эквивалентный диаметр которой равен $D_3 = 3,8$ мм, до соответствия ее измельченных частиц среднему модулю помола ($M = 1,2-1,8$) с минимальным рабочим зазором $\delta (0,1$ мм) и значением углов наклона стенки и спинки паза $\beta_1, \beta_2 = 15^\circ$, а также острия $\beta = 60^\circ$; получим: $t = 7,6$ мм, $h = 1,2$ мм, $D_{min} = 62$ мм и $n_n = 26$ шт. [2].

В таблицу 1 внесены соответствующие параметры для других зерновых культур (ячмень, овес, кукуруза).

При измельчении в горизонтальной роторной дробилке всех четырех видов фуражного зерна можно рекомендовать $D = 100$ мм.

Рабочие поверхности (рифли) ротора и статора изготавливают с учетом геометрических параметров измельчаемого материала. Угловая форма пазов ротора положительно сказывается на общих показателях процесса измельчения. Предложенная теоретическая модель расчета основных конструктивных параметров профиля рифлей ротора позволяет определить шаг, высоту и количество пазов ротора в соответствии с видом измельчаемой зерновой культуры.

Выводы. Дальнейшее исследование и выявление наиболее оптимальных конструктивных параметров поверхностей рабочих органов измельчителей фуражного зерна, в том числе и с точки зрения их ресурса, позволит получить высокое качество готовой продукции, снизить энергоемкость процесса и производить высокотехнологичные измельчающие агрегаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драгилев А.И., Дроздов В.С. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей. М.: Колос. 2001. 352 с.
2. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос. 1978. 560 с.
3. Искендеров Р.Р., Очинский В.В., Лебедев А.Т. Измельчение зерновых материалов: проблемы и способы их решения. Ставрополь. 2015. С. 19-22.
4. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: ВНИИМЖ. 2010. 248 с.
5. Лачуга А.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А., Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Артюшин А.А., Лобачевский Я.П., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. М.: ВИЭСХ. Т. 2. 304 с.
6. Барабашкин В.П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация). М.: Стройиздат. 1963. 132 с.
7. Лебедев А.Т., Искендеров Р.Р., Шумский А.С. Влияние рабочего зазора на эффективность процесса измельчения зерновых материалов в горизонтальной роторной дробилке // Наука в центральной России. 2017. N5(29). С. 36-43.
8. Искендеров Р.Р., Очинский В.В., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В. Элементы проектирования роторной дробилки // Научная жизнь. 2014. N6. С. 42-49.
9. Лебедев А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК. Ставрополь: Агрус. 2012. 376 с.
10. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Марченко О.С., Ценч Ю.С. Создание инновационной техники и ресур-



собирающих технологий производства кормов – основа развития животноводства // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. 2017. №6 (82). С. 23-26.

11. Искендеров Р.Р., Очинский В.В., Лебедев А.Т., Пав-

люк Р.В. Методологический подход к обоснованию принципа работы роторной дробилки // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. 2015. №3(67). С. 24-28.

REFERENCES

1. Dragilev A.I., Drozdov B.C. Tekhnologicheskoye oborudovaniye predpriyatiy pererabatyvayushchikh otrasley [Technological equipment of enterprises of processing industries]. Moscow. Kolos. 2001. 352. (In Russian).

2. Mel'nikov S.V. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm [Mechanization and automation of livestock farms]. Leningrad. Kolos. 1978. 560. (In Russian).

3. Iskenderov R.R., Ochinskiy V.V., Lebedev A.T. Izmel'cheniye zernovykh materialov: problemy i sposoby ikh resheniya [Grinding of grain materials: problems and ways of their solving]. Stavropol'. 2015. 19-22. (In Russian).

4. Syrovatka V.I. Mashinnyye tekhnologii prigotovleniya kombikormov v khozyaystvakh [Machine technology for animal feed preparation on farms]. Moscow. VNIIMZH, 2010. 248. (In Russian).

5. Lachuga A.F., Gorbachev I.V., Yezhevskiy A.A., Izmaylov A.Yu., Yelizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskiy Ya.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Beylis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Yevtyushenkov N.Ye., Zhalnin E.V., Zhuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [The system of machines and technologies for the integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. M.: VIESKH. Vol. 2. 304. (In Russian).

6. Barabashkin V.P. Molotkovyye i rotornyye drobilki (konstruktsiya, raschet, montazh i ekspluatatsiya) [Hammer and impact crushers (design, calculation, installation and

operation)]. Moscow. Stroyizdat. 1963. 132. (In Russian).

7. Lebedev A.T., Iskenderov R.R., Shumskiy A.S. Vliyaniye rabochego zazora na effektivnost' protsessa izmel'cheniya zernovykh materialov v gorizonta'noy rotornoy drobilke [The influence of the operating clearance on the efficiency of a grinding process of grain materials in a horizontal rotary crusher]. *Nauka v tsentral'noy Rossii*. 2017. 5(29). 36-43. (In Russian).

8. Iskenderov R.R., Ochinskiy V.V., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V. Elementy proyektirovaniya rotornoy drobilki [Design elements of a rotary crusher]. *Nauchnaya zhizn'*. 2014. 6. 42-49. (In Russian).

9. Lebedev A.T. Resursosberegayushchiye napravleniya povysheniya nadezhnosti i effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov v APK [Resource-saving areas of increasing the reliability and efficiency of technological processes in the farm industry]. Stavropol': Agrus. 2012: 376. (in Russian)

10. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Marchenko O.S., Tsench Yu.S. Sozdaniye innovatsionnoy tekhniki i resursosberegayushchikh tekhnologiy proizvodstva kormov – osnova razvitiya zhivotnovodstva [Developing innovative technology and resource-saving technologies for the production of feed as the basis for livestock breeding development]. *Vestnik MGAU im. V.P. Goryachkina*. 2017. 6(82): 23-26. (In Russian).

11. Iskenderov R.R., Ochinskiy V.V., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V. Metodologicheskiy podkhod k obosnovaniyu printsipa raboty rotornoy drobilki [Methodological approach to determining the operating principle of a rotary crusher]. *Vestnik MGAU im. V.P. Goryachkina*. 2015. 3(67). 24-28. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 03.04.2018

The paper was submitted

to the Editorial Office on 03.04.2018

Статья принята к публикации 25.05.2018

The paper was accepted

for publication on 25.05.2018

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.