

УДК 631.363.21

Классификация устройств для измельчения фуражного зерна и направления совершенствования конструкций

Киприянов Ф.А., Савиных П.А., Копейкин А.Д., Сухляев В.А.

Вологодская ГМХА

Аннотация

Подготовка зерна к скармливанию является одной из важнейших операций кормоприготовления. Наиболее распространенным способом подготовки зерна к скармливанию в настоящее время является его измельчение. На данный момент спектр измельчающих устройств довольно широк и характеризуется разнообразием конструктивных решений. Выбор конкретного конструктивного решения для нужд сельскохозяйственного предприятия зависит от задач, которые ставят перед собой сельхозтоваропроизводители при кормлении животных. В то же время, с научной точки зрения интерес представляют направления совершенствования и модернизации измельчающих устройств, с целью выбора направления научного исследования. В статье приведены результаты обзора конструкций дробилок фуражного зерна, применяемых в сельскохозяйственном производстве. Рассмотрены основные тенденции совершенствования конструкций, определены направления научного исследования.

Ключевые слова: ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ, ДРОБИЛКИ, КОНСТРУКЦИЯ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ, СЕПАРАЦИЯ ЗЕРНА, ВИБРАЦИЯ

Введение

Животноводство, являясь одной из основных отраслей агропромышленного кластера, нуждается не только в дешевых, но и качественных, хорошо усвояемых кормах. Зерновой корм является важнейшим источником энергии для роста и развития животного, обеспечивая основной приток энергии в организм. От качества его приготовления напрямую зависит усвояемость энергии, микроэлементов и витаминов. На данный момент наиболее распространенной операцией приготовления зернового корма является

измельчение. Благодаря измельчению, энергия и полезные компоненты, содержащиеся в корме, переходят в более доступную форму, ускоряется протекание различных обменных процессов в организме животного, кроме этого, повышается эффективность дальнейших процессов кормоприготовления.

Материалы и методы

При проведении обзора существующих конструкций дробилок использовались стандартные методы литературного поиска, а именно осуществлялся просмотр периодической и специальной литературы, просмотр интернет-источников, базы ФИПС, диссертаций и авторефератов. Применялись методы анализа, сравнения, обобщения и конкретизации, что позволило сделать обзор конструкций применяемых дробилок и рассмотреть направления их совершенствования.

Результаты исследования

При приготовлении зерновых кормов, используемых в составе кормовых смесей по зоотехническим требованиям, необходимы следующие операции:

очистка от всевозможных примесей (земля, песок, камни и пр.) - эти операции в большинстве случаев выполняются на зерносушильных пунктах;

измельчение материала до требуемой крупности различными способами на плющилках, мельницах или дробилках (для свиней частицы размером до 1 мм, для КРС не больше 3 мм, для птиц при условии сухого метода кормления 2 - 3 мм.) - эти операции выполняются непосредственно перед скармливанием и подачей измельченного материала в смеситель, играют одну из важнейших ролей при обеспечении эффективности кормления и требуют постоянного контроля работы измельчающей машины и оценки качества измельчения.

Оценка эффективности работы измельчающей машины определяется исходя из качества гранулометрического состава, производительности, удельной материалоемкости и энергоемкости. В основном эти показатели зависят от конструктивных параметров машины. Измельчение зернового материала разделяют на два типа: помол и дробление (рис. 1).

Принципиальное различие между двумя типами измельчения заключается в размере получаемой фракции, размер частиц при помоле значительно меньше, чем при дроблении. При помоле формируется большое количество мучной фракции, чего стараются избегать при кормлении некоторого вида животных, в частности крупного рогатого скота [1, 2]

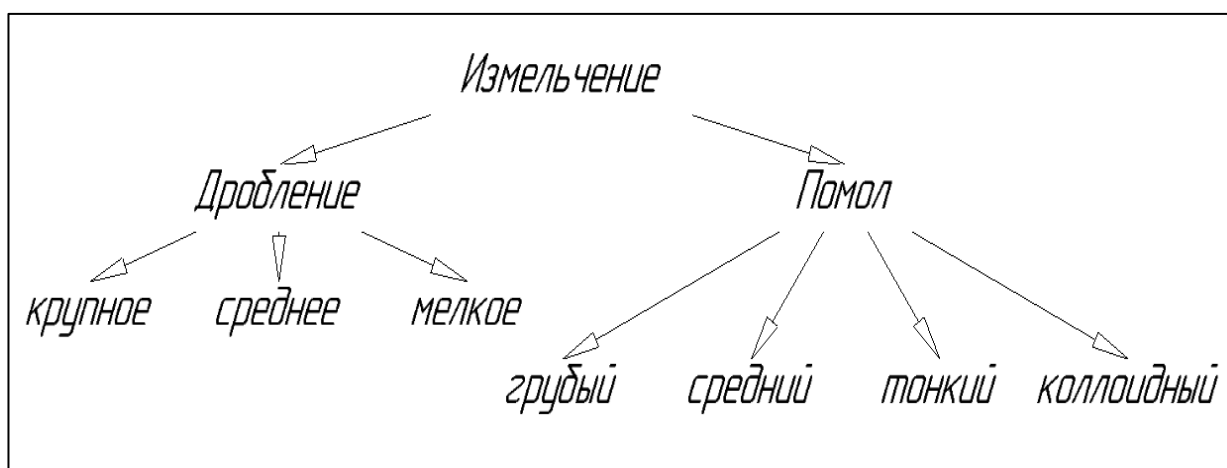


Рис. 1. Характеристика основных процессов измельчения

В целом для измельчения зерновых материалов в корм мельницы используются крайне редко, поскольку при обработке материала образуется мучнистый продукт, который не удовлетворяет зоотехническим требованиям и может быть использован только во влажной среде или же для операции гранулирования. Ввиду подавляющего использования дробилок при кормоприготовлении рассмотрим их основные виды и принцип действия.

Молотковые дробилки (рис. 2а) подходят для измельчения широкого спектра материалов. Измельчение материала происходит путем воздействия молотков, бил и рифлей 1, которые шарнирно закреплены на вращающемся рабочем органе (роторе) 2, а также при взаимодействии частичек материала друг с другом, с поверхностью статора (3) и деки (4). Степень измельчения материала в дробилках молоткового типа контролируется при помощи сепарирующей решета 5.

Дробилки роторного типа подобно молотковым (рис. 2б) также могут работать со многими материалами. При измельчении в таких машинах материал подвергается одновременному воздействию жестко закреплённых рабочих органов 2 (била, лопатки, рифли) и 3 (дека) на роторе 1 и статоре (корпусе) 4, путем быстрого массивного вращения ротора. Существуют также роторные центробежно-ударные дробилки, они отличаются

вертикально расположенным ротором, в них материал измельчается под действием центробежного разгона и ударами частей материала о самофутеровку [1, 2].

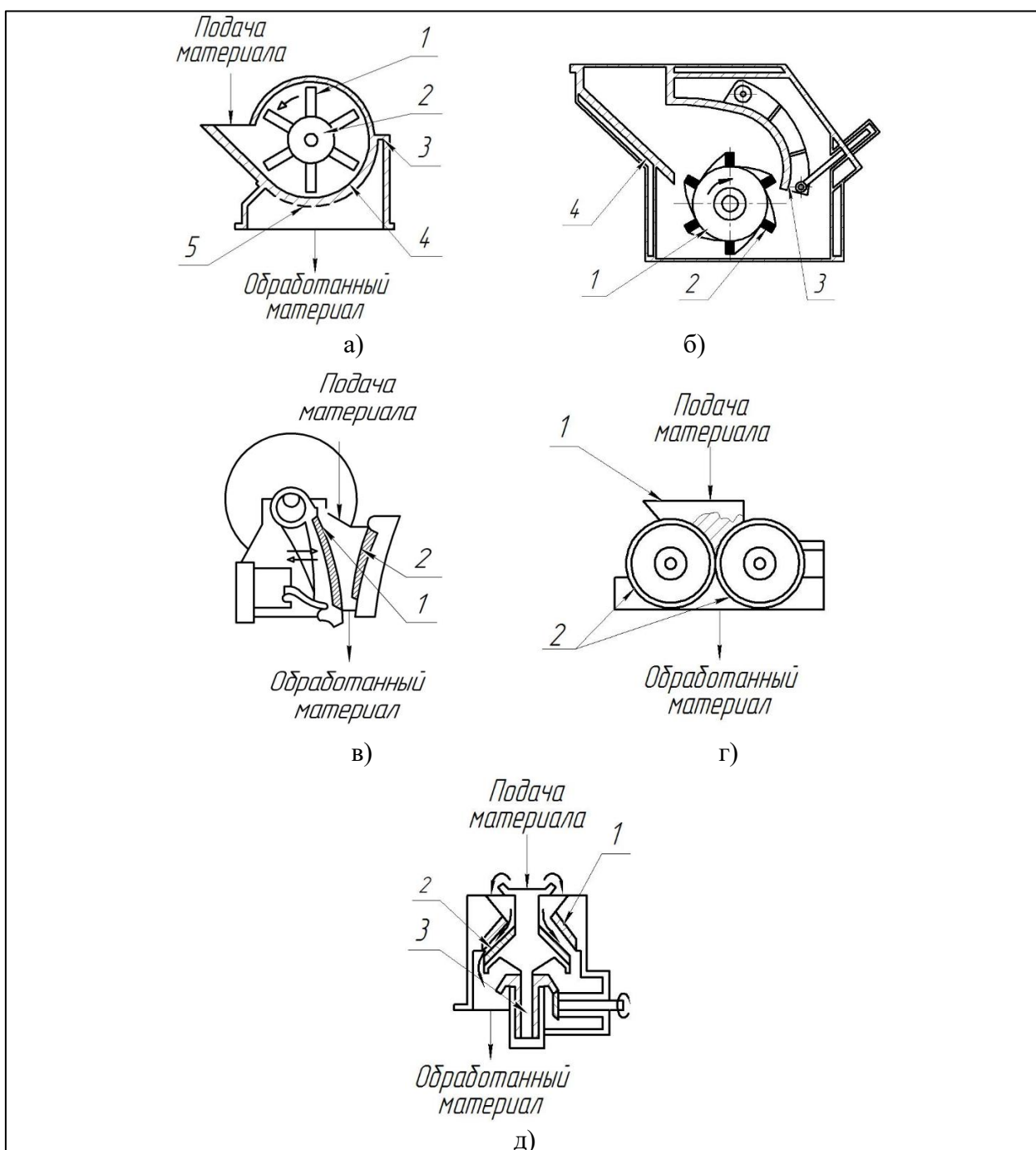


Рис. 2. Схемы дробилок: а) 1 – рабочий орган (молотки), 2 – ротор, 3 – корпус, 4 – дека, 5 – решето; б) 1 – ротор, 2 – рифли, 3 – дека, 4 – корпус; в) 1 – неподвижная щека, 2 – подвижная щека; г) 1 – бункер, 2 – вальцы; д) 1 – неподвижный конус, 2 – подвижный конус, 3 – вал.

Щековая дробилка (рис. 2в), является одной из самых универсальных машин для дробления материалов, она охватывает все классы дробления начиная от крупного и заканчивая мелким. Материал подвергается сжатию между рабочими поверхностями (щеками) 1 и 2 и разрушается вследствие возникновения больших напряжений сжатия и сдвига.

Вальцовая дробилка (рис. 2г) может быть использована для всех видов дробления, наиболее подходит для мелкого. Обычно она состоит из пары горизонтально расположенных зубчатых вальцов 2, вращающихся навстречу друг другу, чаще всего с одинаковой скоростью. Обрабатываемый материал, поступающий из бункера 1 подвергается сжатию, раздавливанию и истиранию, путем затягивания силой трения частичек материала в рабочую камеру дробилки, расположенную между двумя вальцами.

Конусная дробилка (рис. 2д) используется для дробления среднего и мелкого материала, но противопоказана к работе с материалом высокой влажности и вязкости. В процессе измельчения материал подвергается истиранию и раскалыванию при проходе через пару усеченных конусов, один из которых подвержен круговым качениям.

Наиболее распространённой дробилкой, используемой в сельскохозяйственных предприятиях при измельчении зернового корма, в настоящее время является молотковая дробилка, ее конструкция позволяет обеспечивать зоотехнические требования при приготовлении кормов. Основные схемы молотковых дробилок согласно классификации Мельникова С.В. [3] представлены на рис. 3.

В молотковых дробилках частицы обрабатываемого материала во время свободного падения в рабочую камеру подвергаются ударам стальных молотков (бичей) в результате чего распадаются на мелкие частицы. После чего процесс разрушения главным образом продолжается в процессе трения частиц о поверхность сита.

Молотковые дробилки в основном состоят из корпуса, загрузочной горловины, рабочего органа (молоткового барабана с шарнирно закрепленными молотками), деки и решета. Основное различие представленных дробилок заключается в способе организации рабочего процесса в рабочей камере. Дробилки открытого типа (рис. 3а), позволяют обрабатываемому материалу быстро удаляться из рабочей камеры, не совершая полный оборот по окружности. В таких дробилках предпочтительно измельчение преимущественно сухого, хрупкого, крупно-кускового и не мажущегося материала, такого как мел, гранулы,

соль и др. Главным механическим фактором воздействия на материал является свободный удар молотка по массе, состоящей из крупных частей.

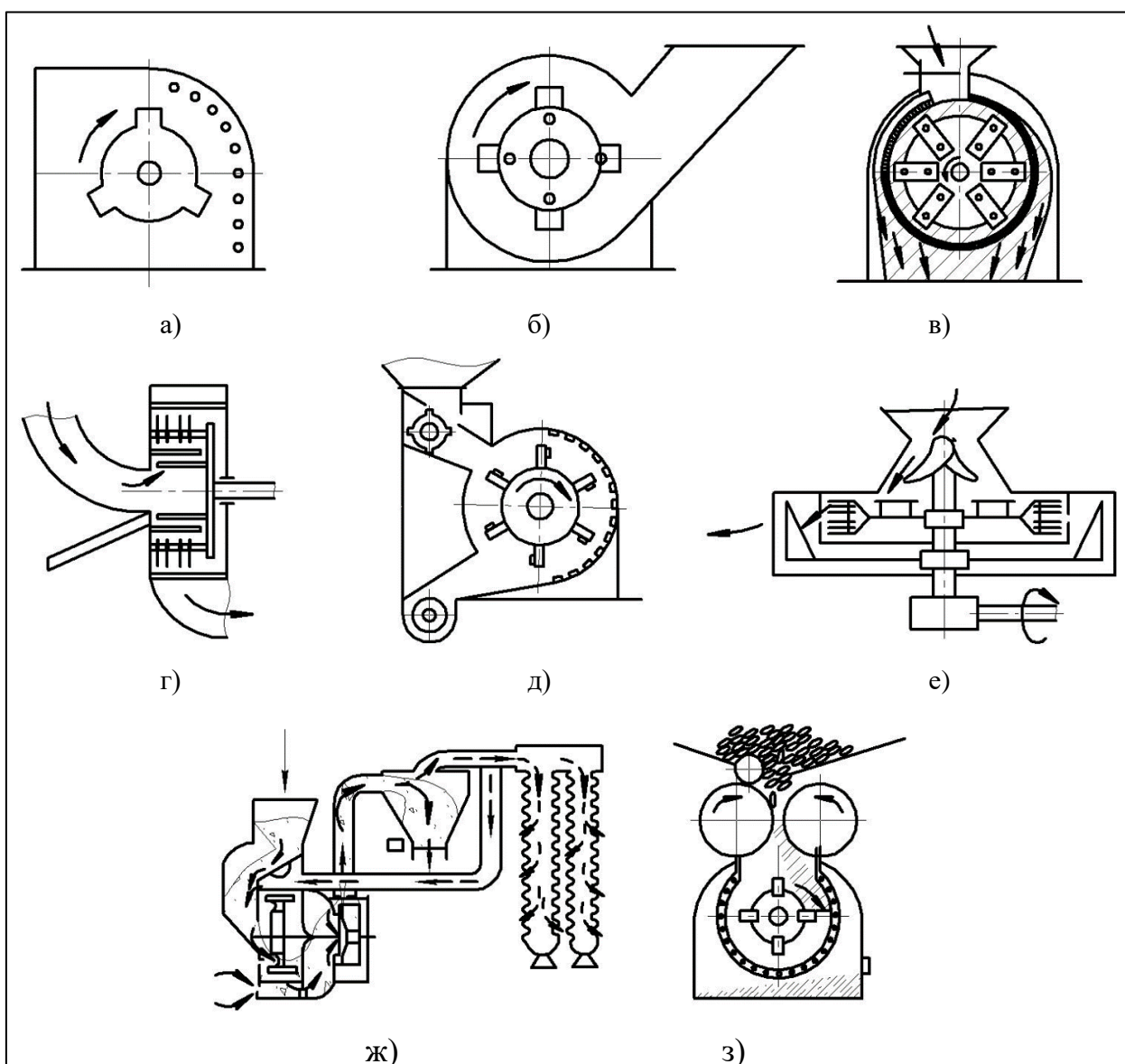


Рис. 3. Схемы молотковых дробилок: а – открытого типа; б – закрытого типа; в – с шарнирным креплением рабочих органов; г, з – двухстадийные; д – с жестким креплением рабочих органов; е – горизонтальные; ж – с замкнутым воздушным потоком.

В дробилках закрытого типа, в соответствии с названием замкнутый корпус, в таких дробилках решето и деки охватывают всю рабочую камеру. Обрабатываемый материал, попав в дробильную камеру перемещается по кругу, совершая многократные круговые движения, вращаясь в виде рыхлого продуктивно-воздушного слоя, пока его частицы не

достигнут крупности, которая позволит им выйти из камеры дробления через ячейки решета. Шарнирное закрепление молотков (рис. 3в) позволяет снизить вероятность деформации рабочих органов при ударе о твердые элементы, попавшие в дробильную камеру, например камни и другие трудно деформируемые частицы. Двухстадийные дробилки (рис. 3г, з) позволяют обеспечить тонкое и сверхтонкое измельчение. Дробилки с жестко закрепленными рабочими элементами (рис. 3д) требуют тщательной подготовки измельчаемого материала на предмет удаления недеформируемых примесей. Дробилки с замкнутым воздушным контуром (рис. 3ж) снижают запыленность окружающего пространства, улучшая условия работы оператора.

В целом, к достоинствам молотковых дробилок стоит отнести высокую эффективность, простоту в эксплуатации и обслуживании. Существенным недостатком дробилок данного типа является неоднородность получаемого продукта, а также достаточно высокая энергоемкость процесса измельчения, которая достигается за счет затрат энергии на движение кольцевого слоя материала в камере дробления.

Однако, несмотря на изученность и широкое распространение, совершенствование дробилок как класса в общем и молотковых дробилок, в частности, продолжается. Сформировался целый ряд направлений совершенствования конструкций молотковых дробилок, направленный на устранение недостатков и улучшения процесса измельчения. Совершенствованию подвергаются: горловина загрузки, рабочие органы, корпус, решета, горловина выгрузки.

Совершенствование горловины загрузки заключается, как правило, в установке питателей для обеспечения равномерной подачи зерна [4]. Конструктивные решения питателей отличаются довольно большим разнообразием, и направлены на решение как общих, таких как устранение гидравлического течения измельчаемого материала, так и частных проблем, таких как повышение эффективности измельчения рыхлого материала [5]. Так, например, для повышения эффективности измельчения рыхлых материалов, таких как лузга, целесообразно, чтобы питающее устройство производило предварительное уплотнение обрабатываемого материала [6]. Питатель представляет собой винтовой цилиндр с четырьмя желобами, форма которого позволяет не только подавать зерно в дробильную камеру, но и распределять его вдоль оси дробильной камеры.

Совершенствование формы рабочих органов направлено на повышение эффективности разрушения зернового материала, поступающего в камеру измельчения. Форма молотков, используемых в дробилках, может быть, как простой, так и ступенчатой на торцевых частях молотка [7-9]. Также использование, например, трапециевидного сечения молотка [10], позволяет снизить энергоемкость процесса измельчения. Кроме формы молотков в конструкции дробильной камеры предлагается установка противорежущих ножей (пластин), что способствует измельчению материала повышенной влажности, например пророщенного зерна, обладающего уникальными питательными свойствами [11, 12].

При совершенствовании рабочих органов, наряду с изменением формы и типа молотков, сформировалось направления научных исследований в области изменения вида и формы дек. Так некоторые исследователи [13] изменяют форму деки, добавляя пазы, перпендикулярные рифлям, или же с целью увеличения рабочей поверхности предлагают исполнение дек в виде колец [14], с дополнительным рифлением торцевой поверхности камеры дробилки. Использование дека-решета [15] позволяет повысить пропускную способность и качество готового продукта.

Изменения, вносимые в корпус дробилок, касаются, например, создания обводного канала, стенки которого переходят в деку [16]. Устройством в боковых стенках дробилок вихревых камер [17] с целью изменения направления движения воздушного потока внутри камеры измельчения для увеличения скорости соударения измельченных частиц и повышения интенсивности процесса.

Как отмечалось ранее, одним из недостатков молотковых дробилок является неоднородность получаемого продукта. При этом часть продукта переизмельчается, увеличивая количество мучной фракции. Снизить переизмельчение и количество мучной фракции можно за счет улучшения отделения измельченного зерна на сепарирующем решете.

Ряд ученых решал эту проблему путем изменения вида сепарирующего решета, так в качестве сепарирующего решета использовалась колосниковая решетка [18], в других работах предлагается использовать сепарирующие решета с изменяемой площадью отверстий в торцевых поверхностях дробильной камеры с одновременной установкой рифленой деки по периферии камеры [19]; при этом регулирование площади отверстий

позволяет изменять средний размер частиц готового продукта.

Использование жалюзийных сепараторов зерна в конструкции дробилки позволяет снизить энергоемкость процесса и качество готового продукта [20]. В то же время повышение эффективности сепарации зерна может быть достигнуто за счет изменения формы отверстий сепарирующего решета [21, 22].

Совершенствование процесса сепарации измельчения зерна возможно не только за счет вида решета и формы отверстий, но и за счет расположения выгрузных зон. Так, боковое расположение выгрузных зон [23, 24] позволяет повысить производительность за счет улучшения процесса сепарации.

Заключение

Таким образом улучшение сепарации измельченного зернового материала является довольно приоритетным направлением исследований многих ученых. Однако, изменение вида и формы сепарирующего решета, отмеченное ранее, не всегда дает желаемый эффект. Так, в дробилках закрытого типа вращающейся воздушно-продуктовый слой приводит к переизмельчению компонентов комбикорма, поэтому разработка технических средств позволяющих замедлить скорость его вращения является актуальной задачей.

Сепарирующее решето не всегда справляется с отделением измельченных частиц, поскольку ввиду интенсивности потока, измельченные частицы не успевают проваливаться сквозь отверстия сепаратора, происходит их переизмельчение вплоть до мучной фракции, отрицательно влияющей на усвояемость корма. Обеспечить лучшую степень сепарации и ускорить выход фракции, соответствующей зоотехническим требованиям можно за счет создания дополнительных вибрационных колебаний корпуса и сепарирующего решета.

Достижение желаемого эффекта дополнительной вибрации может быть обеспечено за счет установки дополнительного источника колебаний (вибратора), либо, согласно некоторым предварительным теоретическим исследованиям [25], за счет изменения характера привода ротора дробилки. В дальнейших исследованиях планируется проведение эксперимента по влиянию внешнего источника вибрации на процесс измельчения зерна и практическая апробация теоретических выкладок по изменению характера привода дробилки.

Список использованных источников

1. Сысуев В.А., Алешкин А.В., Савиных П.А. Кормоприготовительные машины: теория, разработка, эксперимент: [в двух томах]. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. – 639 с. – ISBN 978-5-7352-0124-3.
2. Сысуев В.А., Алешкин А.В., Савиных П.А. Кормоприготовительные машины: теория, разработка, эксперимент: [в двух томах]. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. – 496 с. – ISBN 978-5-7352-0124-3.
3. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
4. Мурзагалиев К.Г. Совершенствование технологического процесса подачи и измельчения грубых кормов бункерными измельчителями с молотковыми рабочими органами: дис. ... док. техн. наук. – Костанай, 1999. – 432 с.
5. Искендеров Р.Р., Лебедев А.Т. Молотковые дробилки: достоинства и недостатки // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – №1(17). – С. 27 – 30.
6. Елисеев М.С., Рыбалкин Д.А., Леонтьев А.А., Марадудин А.М. Обоснование конструктивно-кинематических параметров питающего устройства // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 9. – С. 50-56.
7. Молоток дробилки. - Авторское свидетельство СССР №1159630, кл. В02С 13/28, опубл. 07.06.1985 г., бюл. №21.
8. Патент № 2478008 С2 Российская Федерация, МПК В02С 13/28. Монолитный молоток универсального измельчителя кормов: № 2011108145/13: заявл. 02.03.2011: опубл. 27.03.2013 / И.Б. Шагдыров, М.Б. Балданов, М.Н. Сордонова, Е.А. Митрофанов.
9. Патент на полезную модель № 166614 U1 Российская Федерация, МПК В02С 13/28. Молоток дробилки: № 2016110503/13: заявл. 22.03.2016: опубл. 10.12.2016 / М.С. Елисеев, Д.А. Рыбалкин.
10. Петров А.А., Алямов И.Д., Козловцев А.П., Стеновский В.С., Наумов Д.В. Повышение производительности кормодробилки за счёт оптимизации конструктивных параметров молотка // Известия ОГАУ. - 2016. - №1 (57).
11. Вендин С.В., Саенко Ю.В. К расчёту конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – № 1(17). – С. 16-32.
12. Вендин С.В., Булавин С.А., Саенко Ю.В. Обоснование частоты вращения ножей дробилки пророщенного зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 4. – С. 9-12.
13. Патент №2519882 (RU) Дробилка молотковая безрешетная / Н.Ф. Васильев, А.В. Кобылкин, С.С. Ямпиллов, Г.Г. Алхунсаев, А.А. Алексеев, Э.Ц. Галсанова, опубл. в 2014, бюл. №17.
14. Пат. 2614990 РФ, МОК В02С 13/00 Молотковая дробилка / Н.Ф. Баранов, Л.А. Лопатин - №2016111801, заявл. 29.03.2016; опубл. 03.04.2017; Бюл. № 10.
15. Молотковая дробилка: пат. 2317146 Рос. Федерация. №2006121264/03; заявл.

15.06.2006; опублик. 20.02.2008; Бюл. №5.7.

16. Патент № 2279920 С2 Российская Федерация, МПК В02С 13/02. Молотковая дробилка: № 2004116613/03: заявл. 31.05.2004: опублик. 20.07.2006 / В.А. Сысуев, П.А. Савиных, А.В. Алешкин [и др.].

17. Пат. 2457034 Российская Федерация, МПК В02С13/12. Молотковая дробилка / Н.Ф. Баранов, А.Г. Сергеев, А.А. Зыкин - №2010149351/13, заявл. 02.12.2010; опублик. 27.07.2012; Бюл. № 21.

18. Халтурин В.С. Совершенствование конструктивных и технологических параметров молотковой дробилки зерна с колосниковой решеткой: автореф. дис. ... техн. наук: 05.20.01 / Халтурин Валерий Семенович – Киров, 1998. – 20 с.

19. Пат. № 2338441 Российская Федерация, МПК А 23 F 17/00. Малогабаритная комбикормовая установка / Савиных П.А., Палкин А.В., Турубанов Н.В., Лодыгин Д.Г. № 2007103954/13; заявл. 01.02.2007; опублик. - 20.11.2008, Бюл. № 32, 5 с., 118.

20. Поярков М.С. Совершенствование рабочего процесса молотковых дробилок с жалюзийными сепараторами при одно- и двухступенчатом измельчении зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Поярков Михаил Сергеевич – Киров, 2001. – 253 с.

21. Черепков А.В. Совершенствование процесса измельчения зерна с обоснованием конструктивно-режимных параметров молотковой дробилки: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Черепков Александр Викторович. – Воронеж, 2016. – 152 с.

22. Черепков А.В., Коношин И.В. Применение в молотковых дробилках решет с прямоугольными отверстиями // Главный механик. – 2013. – № 10. – С. 34-36.

23. Шахов В.А., Ушаков Ю.А., Петров А.А. Анализ функциональной специфики дробильных устройств с боковым расположением выгрузных зон [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4(72). – С. 181-184.

24. Патент на полезную модель № 173615 U1 Российская Федерация, МПК В02С 13/13. Дробилка зерна: № 2017102775: заявл. 27.01.2017: опублик. 04.09.2017 / Е.М. Асманкин, Д.В. Наумов, А.А. Петров [и др.]

25. Копейкин А.Д., Сухляев В.А., Киприянов Ф.А., Плотникова Ю.А. Разработка конструкции молотковой дробилки с периодическими колебаниями угловой скорости вращения рабочих органов // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 78-89. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-80-5-78-89.

Цитирование:

Киприянов Ф.А., Савиных П.А., Копейкин А.Д., Сухляев В.А. Классификация устройств для измельчения фуражного зерна и направления совершенствования конструкций [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_505.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202125505>.