

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ЗЕРНА

*Светлана Потапова*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

*Svitlana Potapova*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные типы измельчителей фуражного зерна, обоснован выбор рациональной конструкции измельчителя.

**Ключевые слова:** фуражное зерно, измельчители зерна, вальцевые дробилки, молотковые дробилки.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Зерновые корма используются для повышения уровня питательности и концентрации усваиваемых питательных веществ в рационах всех видов сельскохозяйственных животных и птицы. Эти корма являются основой рационов при кормлении свиней и птицы как составная часть комбикормов и обязательным компонентом кормовых смесей при кормлении КРС. В состав кормосмесей или комбинированных кормов зерно злаковых культур можно включать от 30-40% до 60-70% [1-5].

Процесс подготовки кормов к скармливанию может состоять из целого ряда операций (очистка, дозирования, смешивания, химическая, тепловая, биологическая и другие виды обработки кормов). При этом одной из обязательных технологических операций является измельчение кормового сырья. На той или иной стадии приготовления кормов измельчению подлежат все без исключения виды кормов и кормовых добавок, в том числе и зерно [5].

К решению вопроса о измельчении зерна и выборе измельчающей техники можно подходить с разных позиций. Во многих случаях за основу принимают показатели производительности и энергоемкости указанного технологического процесса, долговечность оборудования. Вместе с тем, вопросы обоснования целесообразности измельчения кормов, качественных показателей процесса и продуктов измельчения, требований

к машинам, а также критериев и методов оценки тех или иных машин должны рассматриваться и решаться, прежде всего, в зависимости от технологической и экономической эффективности использования кормов. Эти вопросы решены далеко не полностью.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технологическое оборудование для подготовки кормов к скармливанию обычно классифицируют по назначению, организацией процесса и конструктивным признакам. Измельчители, используемые для переработки зерна, различают:

- по назначению (специальные, универсальные и комбинированные);
- по принципу организации рабочего процесса (порционные и поточные);
- по типу рабочих органов (жерновые, шаровые, молотковые, центробежные, струйные, вихревые, вальцовые, дисковые, конусные и др.)
- по способу подачи материала в дробильную камеру (самотеком или принудительно)
- по способу отвода продуктов измельчения (самотеком, с механическим или пневматическим транспортером).

Конструкция, материал и форма рабочих органов машины определяют принцип ее действия на перерабатываемые материалы [6].

В зависимости от особенностей взаимодействия между рабочими органами и перерабатываемым материалом выделяют следующие основные способы измельчения [7-10]:

- а) раздавливания или плющения (сжатия) частиц между двумя поверхностями;

б) перетирания (сжатия и смещения) - при воздействии на частицу двух поверхностей, одна из которых подвижная;

в) разбивание ударом;

г) резки - при воздействии на частицу режущих кромок рабочих органов.

Так, плющилки перерабатывают зерновые корма по способу раздавливания, жерновые мельницы - перетирания. Принцип работы молотковых дробилок базируется на взаимодействии разбивания, перетирания и в незначительной степени резки-рубки (скалывания), вальцевых дробилок - раздавливания с резкой; ножевых измельчителей - резки.

В практике кормоприготовления преобладают именно измельчители комбинированного действия, в которых один из основных способов может проявляться в большей мере, чем другие. При выборе принципа действия измельчителя следует учитывать физико-механические и технологические свойства перерабатываемого сырья, его способность обеспечивать высокое качество получаемого продукта при минимизации удельных энергоемкости и материалоемкости процесса.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе поставлена задача обосновать выбор рациональной конструкции измельчителя зерновых кормов.

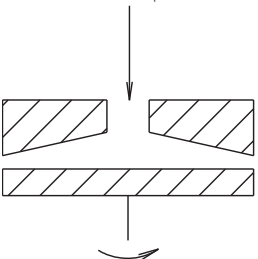
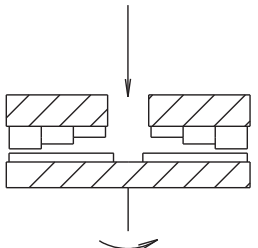
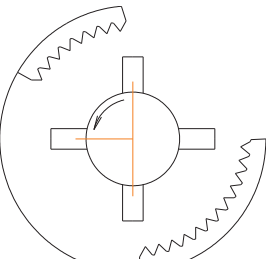
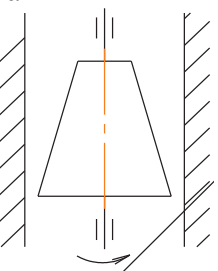
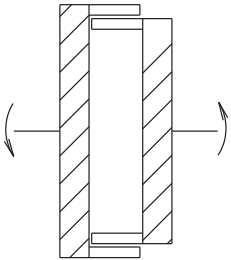
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Независимо от принципа действия, степени измельчения, а также физико-механических свойств исходного сырья измельчители должны обеспечивать: равномерность фракционного состава продуктов измельчения, не снижая при этом их потребительских качеств, своевременное удаление продуктов измельчения из рабочей зоны машины, возможность регулирования степени измельчения; минимальные выход целых зерен и образования пыли, рациональные затратные показатели (энерго-, металло- и трудоемкость); легкую замену быстроизнашивающихся рабочих органов; простоту конструкции и обслуживания; высокую износостойкость рабочих органов и надежность машины [11].

В табл. 1 приведена общая характеристика основных типов машин для измельчения зерна.

**Таблица 1.** – Основные типы и оценка измельчителей зерна  
**Table 1.** – Main kinds of grain mills and their evaluation

Тип измельчителей	Способ измельчения	Позитивные признаки	Недостатки
1. Вальцевый станок 	Раздавливания, резки	Высокая равномерность продуктов измельчения с незначительным выходом пылевидной фракции	Сложность восстановления рабочих поверхностей
2. Вальцедековая дробилка 	Раздавливания, перетирания, резки	Высокая равномерность продуктов измельчения. Низкое пылеобразование. Простота и надежность в эксплуатации	Сложность восстановления рабочих поверхностей
3. Плющилка 	Раздавливания	Простота конструкции и обслуживания, надежность в эксплуатации	Не пригодна для переработки сухого зерна и в случае приготовления комбикормов

Тип измельчителей	Способ измельчения	Позитивные признаки	Недостатки
<p>4. Жерновая мельница</p> 	<p>Раздавливания, перетиранья</p>	<p>Высокая степень измельчения</p>	<p>Неравномерность granulometric composition of products; significant dust yield; high energy consumption, complexity of maintenance</p>
<p>5. Ножевая мельница</p> 	<p>Резка, перетиранье</p>	<p>Низкая энергоёмкость, равномерное измельчение</p>	<p>Низкая надёжность и долговечность рабочих органов, сложность обслуживания.</p>
<p>6. Молотковая дробилка</p> 	<p>Разбивание, перетиранья, резка</p>	<p>Простота конструкции и обслуживания</p>	<p>Неравномерный фракционный состав с большим выходом пылевидных частиц, повышенная энергоёмкость, высокая металлоёмкость</p>
<p>7. Конусная дробилка</p> 	<p>Перетиранье, раздавливания</p>	<p>Простота конструкции, высокая степень измельчения</p>	<p>Высокая энергоёмкость; переизмельчение сырья с образованием пылевидных частиц</p>
<p>8. Дезинтегратор</p> 	<p>Разбивание, перетиранье</p>	<p>Высокая степень измельчения</p>	<p>Сложность конструкции и обслуживания; неравномерный фракционный состав продуктов измельчения, высокая энергоёмкость</p>

Тип измельчителей	Способ измельчения	Позитивные признаки	Недостатки
9. Диссепаратор 	Разбивание, перетирание	Простота конструкции, высокая степень измельчения	Низкая эксплуатационная надежность неравномерное измельчение с образованием пылевидных частиц, высокая энергоемкость
10. Роторная дробилка 	Разбивание, перетирание	Простота конструкции и обслуживания	Неравномерное измельчение с образованием пылевидных частиц, высокая энергоемкость
11. Центробежная дробилка 	Разбивание	Простота конструкции и обслуживания	Сложность регулирования крупности измельчения; перерабатывает только хрупкие материалы

Для измельчения зерна в сельском хозяйстве наиболее широкое распространение получили молотковые дробилки. В основу работы этих машин положен принцип разбивания ударом и растирания, частично скалывания. Реализуется этот принцип измельчения с помощью шарнирно закрепленных на роторе быстровращающихся молотков. При встрече с перерабатываемым продуктом молотки наносят удары по его частицам, разбивают их, отбрасывают к стенкам кожуха, деки, решета и затягивают в круговое движение по поверхности дробильной камеры. При этом происходит значительное растирание частиц вследствие трения о поверхности молотков, решета, деки и боковин дробильной камеры, а также трения частиц между собой, что приводит к перерасходу энергии. Пере-

измельчение зерна приводит к образованию пылевидной фракции, для отделения которой используют специальные пылеотделители, которые существенно усложняют конструкцию машин, увеличивают их габариты и делают их более металлоемкими. Кроме того, значительная часть энергии идет на измельчение, расходуется на нагрев измельчаемого материала [12].

Преимущества молотковых дробилок (такие как универсальность, возможность регулирования степени измельчения в относительно широких пределах, простота привода от быстроходных двигателей и др.) способствовали широкому распространению их в различных отраслях производства [13-17,11]. В сельском хозяйстве распространены как универсальные, так и специализированные

молотковые дробилки. Однако все вышеупомянутые варианты молотковых дробилок имеют существенные недостатки. Наиболее весомые из них - большая неравномерность фракционного состава продуктов измельчения, что в конечном итоге ведет к перерасходу зерна, а также завышенная энергоемкость процесса (12-20 кВт·ч на тонну). Исследования, проведенные С.В. Мельниковым и В.А. Елисеевым свидетельствуют, что содержание пылевидной фракции может составлять от 6 до 16% по весу (по другим данным до 30% [18]), причем на их образование расходуется от 60 до 70% всей энергии, используемой на измельчение [19]. В то же время при грубом измельчении конечный продукт может содержать до 20% не измельченных зерен. Наличие переизмельченной пылевидной фракции является нежелательным, поскольку она теряется при транспортно-погрузочных работах и при раздаче кормов за счет распыления, негативно влияет на дыхательные пути людей и животных, трудно смачивается водой и слюной животных и хуже усваивается их организмом [15]. Если в комбикормах для разных возрастных групп телят и поросят содержится более 25% переизмельченного мучнистого продукта, их эффективность при скармливании снижается [13]. Это приводит к повышению затрат корма в среднем на 10-15%. Число деформаций, необходимое для разрушения зерна в камере измельчения, составляет от 10 до 30 в зависимости от прочности материала и степени его измельчения. При этом измельчаемый материал должен осуществить 80-100-кратную циркуляцию по решетной поверхности камеры дробления, в результате чего непроизводительно расходуется значительная часть энергии измельчения [19].

Для измельчения зерна могут использоваться дезинтеграторы и дисмембраторы - измельчители ударного действия, на дисках роторов которых по концентрическим кругам размещены пальцы таким образом, что каждый ряд одного ротора входит между двумя рядами другого ротора или кольцевого диска. Степень измельчения регулируется скоростью вращения роторов. Дезинтеграторы и дисмембраторы применяют в комбикормовой промышленности для измельчения ингредиентов комбикормов, в мукомольной

промышленности при выработке из зерна обойной муки и при размалывании крупок, свободных от оболочек. Недостатками таких дробилок являются: относительная сложность строения и обслуживания, необходимость тщательной очистки сырья от твердых посторонних примесей, неравномерность фракционного состава переработанного продукта с повышенным пылеобразованием, сложность регулирования степени измельчения, высокая энергоемкость рабочего процесса [13].

Для жерновых мельниц характерен принцип растирания. Его можно применять только для измельчения сухих немаслянистых зерновых кормов. Рабочие органы жерновых мельниц - два плоских диска. Один из них может быть неподвижным, а другой приводится во вращение с круговой скоростью в пределах 10-12 м/с. Рабочие поверхности дисков могут иметь рифли (режущие и противорежущие ребра). Размещение дисков бывает как вертикальное так и горизонтальное. Между поверхностями жерновов есть рабочий зазор, в котором зерно подвергается сжатию, скалыванию и растиранию. За счет растирания можно получить различные степени измельчения зерна, однако этот способ имеет существенные недостатки: чрезмерное нагревание продукта, неравномерность измельчения с очень высоким выходом пылевидной фракции, высокая энергоемкость. Рабочие поверхности дисков сравнительно быстро изнашиваются. Жерновые мельницы имеют простую конструкцию, но громоздкие и малопродуктивные, поэтому для приготовления кормов в настоящее время используются редко.

Ножевые дробилки зерна для сельского хозяйства в нашей стране не выпускаются. Зарубежные фирмы выпускают ограниченное количество ножевых дробилок, в основном бытового назначения. Основным преимуществом таких измельчителей является низкая энергоемкость процесса измельчения и отсутствие пылевидной фракции. Однако они имеют существенные недостатки. В первую очередь это низкая надежность рабочих органов. Замена быстроизнашивающихся жестко закрепленных ножей представляет определенные неудобства при эксплуатации,



а также влияет на себестоимость измельчаемого кормов.

Вальцевые станки различаются по количеству пар валцов - с одной или двумя парами, много вальцовые (три и более валцов) встречаются также одновальцевые установки, в которых вместо второго вальца установлена дека. По назначению вальцевые станки бывают двух типов: плющилки и дробилки.

Принцип раздавливания или плющения зерна применяется в зерноплющилках, оборудованных двумя гладкими валцами, вращающимися с одинаковыми окружными скоростями. Зерно под действием сил трения затягивается валцами в зазор, сжимается и раздавливается, в результате чего получают продукт в виде хлопьев. Плющилки хорошо перерабатывают свежесобранное зерно повышенной влажности [20]. Сухое зерно перед плющением следует увлажнять, а еще лучше - подвергать влаготермической обработке. Недостатки плющилок: ограниченная область применения, плохо перерабатывают сухое зерно.

Во время работы вальцевых дробилок разрушение зерна происходит преимущественно в результате сдвига (резания) с элементами сжатия.

Поверхности валцов бывают гладкие, рифленые, ребристые и зубчатые (рифленые) (длинно- и короткозубчатые (длиннозубчатые при высоте зуба более 0,1 диаметра вальца, короткозубчатые - при высоте зуба менее 0,1 диаметра вальца)). Сочетание дробильных поверхностей может быть различным: например, оба вальца могут иметь гладкую поверхность или один гладкую, другой - рифленую [21].

Вальцы дробилок могут быть как с рифлеными (нарезными), так и с гладкими поверхностями, имеющими различные линейные скорости. Значительным преимуществом этих машин является высокая равномерность продуктов измельчения. Это имеет существенное значение, поскольку, например [19, 22] при кормлении свиней комбикормами с равномерным гранулометрическим составом затраты корма снижаются на 5...7%, что составляет в энергетическом пересчете экономию до 100...120 кВт·ч на тонну произведенных комбикормов. В связи с

отсутствием фактора перетирания в технологическом процессе выход пылевидной фракции сводится к минимуму. Вальцевые дробилки хорошо перерабатывают сухое зерно, которое не отличается высокими вязкопластическими свойствами. Эти машины удобны и надежны в эксплуатации. Рабочие органы достаточно долговечны - восстановление рифлей на валцах проводят один раз в 1,5-2 года.

Наиболее распространенным конструкторским решением является двухвальцевая дробилка. Ее рабочими органами являются два цилиндрических вальца, вращающихся с различными скоростями навстречу друг другу. Измельчение зерна или его частей происходит в клиновидном пространстве, образованном двумя цилиндрическими поверхностями. Разрушение зерна начинается несколько выше линии, соединяющей центры валцов. При этом медленно вращающийся валец как бы поддерживает зерно при действии на него поверхности быстро вращающегося вальца. Зерно в зоне измельчения подвергается одновременно деформации сжатия (вследствие постепенного уменьшения расстояния между поверхностями валков) и смещения за счет разности скоростей валцов. Корпуса подшипников вала одного из валцов опираются на пружины и могут перемещаться. В результате этого при попадании неизмельчаемого предмета один валец может отойти от другого и пропустить этот предмет, после чего под действием пружин вернется в исходное положение. Есть конструкции, в которых подпружинены оба вальца. Их используют там, где в материале много неизмельчаемых включений.

Вальцевые станки, используемые в мукомольной и крупяной промышленности представляют собой две пары валцов, расположенных одна над другой, то есть их можно рассматривать как две дробилки, смонтированные в одном корпусе.

Машиностроительная промышленность европейских стран, США и Канады выпускает большую номенклатуру вальцовых зернодробилок с четным количеством валцов в основном для мукомольной промышленности. Промышленно выпускаются вальцевые станки для шелушения проса и гречи, однако измельчители такой конструкции

практически не производятся, не смотря на то, что они имеют ряд преимуществ. Одно-вальцевые (вальцедековые) дробилки просты в конструкторском отношении и менее металлоемкие. Эти машины, как и многовальцевые измельчители, обеспечивают высокое качество измельчения при равномерном гранулометрическом составе продуктов измельчения и малом выходе пылевидной фракции, надежность работы и простоту эксплуатации.

В практике кормоприготовления преобладают дробилки с четным числом валцов, которые имеют производительность не менее 1,5-3 т/час. Между тем для небольших животноводческих предприятий рациональным типоразмером является измельчители зерновых кормов производительностью 350-400 кг/ час [23]. В этом случае проще с точки зрения конструкции и целесообразнее по эксплуатационным затратам будет вальцедековая (одновальцевая) дробилка.

По нашему мнению, среди рассмотренных конструкторских схем вальцовых дробилок для измельчения зерновых кормов, как на крупных животноводческих предприятиях, так и в небольших хозяйствах с целью получения продуктов измельчения высокого качества при небольших энергозатратах целесообразно использовать более дешевые вальцедековые дробилки.

В материалах научно-технической информации достаточно обоснованы основные параметры и условия обеспечения эффективной работы двухвальцевых станков. Одновальцевый вариант, который по сравнению с двухвальцевым имеет свои особенности, изучен недостаточно.

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ показывает, что для переработки концентрированных кормов в последние десятилетия в сельскохозяйственном производстве и комбикормовой промышленности широкое применение получили молотковые дробилки. Однако, как было отмечено выше, они имеют существенные недостатки.

По нашему мнению, среди рассмотренных конструкций измельчителей зерна как для больших животноводческих предприя-

тий так и для малых ферм с целью получения продуктов измельчения высокого качества целесообразно использовать вальцедековые зернодробилки.

Учитывая существенные преимущества вальцевых дробилок зерна по сравнению с другими типами измельчителей, целесообразно исследовать их более детально.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bogdanov G.A. 1990: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhyvotnykh / G.A. Bogdanov. – М.: Agropromizdat – 624.
2. Myand A.E. 1970: Kormoprigotovitelnyye mashyny i agregaty / A.E. Myand. – М.: Mashinostvroyeniye, – 256.
3. Normy i ratsiony kormleniya selskokhozyaystvennykh zhyvotnykh 1985: Spravochnoye posobiye /Pod red. A.P.Kalashnikova i N.I.Kleymenova. - М.: Agropromizdat, - 352 s.
4. Sokolov A.Ya. 1975: Tekhnologicheskoye obo-rudovaniye predpriyatiy po khraneniyu i pere-rabotke zerna / A.Ya. Sokolov. –М.: Kolos, – 496.
5. Spravochnik po prigotovleniyu, khraneniyu i ispolzovaniyu kormov 1986:/ Pod red. P.S.Avrachenko. – Minsk: Uradzhay, – 351.
6. Kovbasa V., Solomka V., Solomka A. 2012: Analiz protsessa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchatelya // MOTROL T.14 S, – Lublin – 47-55
7. Revenko I.I. 1999: Proyektuvannya mekhanizovanikh tekhnologichnii protsesiv tvarinnitskikh pidpriemstv. / I.I.Revenko, G.M.Kukta, V.M.Manko ta in.; za red..I.I. Revenka. – К.: Urozhay. - 190.
8. Revenko I.I. 2009: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: pidruchnik / I.I. Revenko, M.V. Braginets, V.I. Rebenko. – К.: Kondor, – 730 s.
9. Revenko I.I. 1994: Mekhanizatsiya virobnitstva produktsii tvarinnitstva / I.I.Revenko, G.M. Kukta, V.M. Manko ta in.; Za red. I.I. Revenko. – К.: Urozhay. – 264 s.
10. Revenko I.I. 2012: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: Posibnik-praktikum/ I.I. Revenko M.V.Braginets, O.O.Zabolotko ta in.; Vidannya druge. - К.: Kondor vidavnitst-vo, - 562s.

11. Syrovatka V.I., Kartashov S.G. 1991: Proizvodstvo kombikormov v khozyaystvakh. - M.: Rosagropromizdat,. - 39.
12. Merko I.T. 1985: Tekhnologiya mukomolnogo i krupyanogo proizvodstva / I.T. Merko. – M.: Agropromizdat. – 288.
13. Glebov L.A. 1984: Povysheniye effektivnosti izmelcheniya komponentov kombikormov. Kombikormovaya promyshlennost. Obzornaya informatsiya. M. -12.
14. Kukta G.M. 1987: Mashiny i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov. - M.: Agropromizdat, - 303.
15. Kulakovskiy I.V., Kirpichnikov F.S., Reznik Ye.I. 1987: Mashiny i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov. Ch.1. Spravochnik. - M.: Rosselkhozizdat. - 285.
16. Melnikov S.V. 1978: Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm. - L.: Kolos,. - 560.
17. Syrovatka V.I., Alyabyev Ye.V. 1970: Progressivnyye sposoby prigotovleniya i khraneniya kormov. - M.: Kolos,. - 224.
18. Baldanov, M.B. 2008: Obosnovaniye parametrov malogabaritnogo molotkovogo izmelchitelya furazhnogo zerna: avtoref. dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.20.01 – “Tekhnologii i sred-stva mekhanizatsii selskogo khozyaystva” / M.B. Baldanov. – Novosibirsk,. – 20 .
19. Sovremennyye sredstva razmola zerna 1982: – M.: Kolos,. – 132.
20. Yasenetskiy, V.A. 1990: Mashiny dlya izmelcheniya kormov. / V.A. Yasenetskiy, P.V. Goncharenko; Pod red. L.V. Pogorelogo. – K.: Tekhnika,. – 166.
21. Klushantsev, B.V. 1990: Drobilki. Konstruktsiya, raschet, osobennosti ekspluatatsii / B.V. Klushantsev, A.I. Kosarev, Yu.A. Muyzemnek. – M.: Mashinostroyeniye, – 320 s.
22. Boltyanskaya N. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurento-sposobnosti yeye produktsii / MOTROL, T.14 S, – Lublin - 164-175
23. Revenko I.I. 1999: Printsipi rozrobki ta vaboru kormoprigotuvvalnikh mashin dlya ma-likh ferm / Revenko I.I., Potapova S.Ye., Revenko Yu.I. // Tekhnika APK. – №3. – S. 26–27.

## CLASSIFICATION AND EVALUATION OF GRAIN MILLS

**Summary.** The main kinds of feed mills were described in this article. Their advantages and disadvantages were evaluated and compared. Some ways to improvement these mills are proposed. The choice of the rational grain mill's design was grounded.

**Key words:** feedstuffs, feed grain, grain mills, roller mills, hammer mills.