

Пути развития машин для измельчения зерновой массы

Е.М. Асманкин, д.т.н., профессор, А.А. Петров, к.т.н., А.Ф. Абдюкаева, к.т.н., Д.В. Наумов, аспирант, А.Н. Фёдоров, магистр, ФГБОУ ВО Оренбургского ГАУ

Обеспечение населения высококалорийными продуктами питания — мясом, молочными и другими пищевыми производными животноводства — является одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса России. В связи с этим успешное развитие животноводческой отрасли АПК предполагает создание прочной кормовой базы, совершенствование технологии и средств механизации, а также оптимизацию процесса производства и переработки кормов.

Государственные программы, направленные на организацию рационального и полноценного кормления, эффективны и имеют целью укрепление здоровья сельскохозяйственных животных, достижение высокой их продуктивности и воспроизводительной способности, а также обеспечение успешного роста и развития молодняка. Реализация подобных целевых программ способствует интенсивному развитию малых форм хозяйствования, в том числе крестьянских

фермерских хозяйств и личных подворий. По данным Росстата, доля мелкофермерских хозяйств в производстве мясной и молочной продукции в последние годы увеличилась до 11,1%, что является характерным показателем значимости данной категории производителей в условиях рыночной экономики.

Как следствие, в настоящий период актуализируются и вопросы технического обеспечения сельскохозяйственных предприятий с малой и средней численностью поголовья животных компактным оборудованием, обладающим небольшой металлоёмкостью и низкими энергозатратами.

Среди оборудования для измельчения зерна в комбикормовой промышленности особое внимание уделяется молотковым дробилкам, получившим наибольшее распространение. Приоритетными являются решётные дробильные устройства закрытого типа, которые постоянно модернизируются под специфику реального производственного сектора.

В настоящее время создаются методологические основы, разрабатываются новые способы и внедряются новые энергосберегающие конструкции, обеспечивающие реализацию процесса дробления,

рассчитанные на объекты сырья для переработки с производительностью свыше 2 т. Как показывает практика, использование мощного высокотехнологического оборудования в фермерских хозяйствах не является рентабельным. В свою очередь внедрённое малогабаритное зернодробящее оборудование, спроектированное для аутентичного замещения энергонасыщенных машин, не лишено ряда существенных недостатков, приводящих к снижению качества получаемого продукта и повышению энергоёмкости процесса дробления зерна [1].

Концептуальный анализ комплексной проблемы по формированию процесса дробления (разрушения) зернового материала выявил тенденциозный аспект, заключающийся в совершенствовании дробилок посредством оптимизации режима взаимодействия ударного механизма с частицами зерноматериала и собственно конфигурации ударного элемента. Достоверность такого подхода сомнений не вызывает, но в практике развития дробильных машин он является не единственным, поскольку эффективность работы любого устройства определяется завершённостью и технологичностью каждого такта в функциональном цикле этого процесса.

В этой связи современные исследования направлены на изучение и устранение факторов, препятствующих формированию кондиционного состояния готового продукта. Т.е. речь идёт об улучшении технологических свойств всех функциональных элементов в системе циклового обеспечения базового технологического процесса с целью изменения его структуры и режимных параметров. В свою очередь такой подход конструктивно скажется на совершенствовании всей технологической системы кормоприготовления в малом и среднем агропромышленном бизнесе, где проблема внедрения энергосберегающего, но высокопроизводительного оборудования требует постоянного внимания и оперативного решения.

Тенденция интенсификации производственной сферы животноводческой отрасли должна рассматриваться в разрезе непрерывного развития научно-технического прогресса. Организация поиска путей и направлений модернизации зернодробящего оборудования ориентирована на совершенствование технологической базы производства комбикормов, а также обеспечение стабильности режимных характеристик реализуемого процесса. Сложность и энергоёмкость процесса измельчения предполагает проведение системного анализа всей технологической цепи до выхода в фазу кондиционного продукта.

Технологический процесс получения продукта в измельчителях состоит из трёх последовательных этапов, таких, как подача исходного материала, переработка материала в дробильной камере и отвод готового продукта из рабочей камеры. Однако на режим дробления оказывает влияние большое количество факторов, начиная с геометрических характеристик измельчаемых частиц, их физико-

химических и структурно-механических свойств и заканчивая геометрическими параметрами рабочих органов измельчающих машин, вплоть до материала их изготовления.

Следует отметить, что анализ научно-технической литературы и патентные исследования указывают не только на сложность технического обеспечения процессов разрушения, но и объясняют причины локализации исследовательских подходов при проведении факторных экспериментов. В итоге многие технологические вопросы на сегодняшний день имеют частно-прикладное решение, а выводы и рекомендации по практической реализации не позволяют концептуально изменить направления инноваций в области разработки и создания высокотехнологичных измельчающих устройств, обеспечивающих завершённость функционального цикла реализуемого процесса с заданным уровнем производительности и эффективности.

В свою очередь эффективность технологического процесса определяется степенью реализации его целевой задачи. Конкретно эффективность процесса измельчения оценивается по степени измельчения, удельной энергоёмкости процесса и удельной нагрузке на измельчающую машину.

Однако, как отмечают Г.А. Егоров, В.С. Крюков, А.Р. Демидов и др., значительную роль играет гранулометрический состав готового продукта [2]. Это связано с тем, что степень измельчения характеризует лишь некоторую среднеарифметическую величину изменения геометрической характеристики частиц в результате их разрушения.

Современное животноводство, как потребитель, выдвигает всё более жёсткие требования к качеству кормов. С точки зрения измельчения кормового сырья качественная характеристика определяется физическими величинами частиц конечного продукта измельчения. Фактически задача состоит в получении продукта, однородного по гранулометрическому составу со степенью измельчения, отвечающей зоотехническим требованиям физиологии кормления сельскохозяйственных животных в зависимости от их вида и возрастной группы [2]. Так, для свиней лучшим признаётся комбикорм, содержащий зерно мелкого помола с преобладанием частиц размером 0,2–1,0 мм, для крупного рогатого скота – среднеразмолотое зерно с преобладанием частиц размером 1,0–1,8 мм, для птиц – зерно крупного помола (размер частиц 1,8–2,6 мм).

Несмотря на то что при измельчении зерна энергетический фактор имеет наибольшее технико-экономическое значение, сам процесс разрушения, являясь достаточно сложной и энергоёмкой операцией в технологическом цикле современных измельчителей, до настоящего времени не описан теорией, которая бы достоверно объясняла физику процесса измельчения с математической формулировкой расчёта энергии, необходимой для разрушения молекулярной структуры зерноматериала [3].

Исторически для определения работы при измельчении (дроблении) ещё в XIX в. были предложены поверхностная гипотеза П. Риттингера (гипотеза поверхностей) и объёмная гипотеза В.Л. Кирпичёва (гипотеза объёмов). Согласно гипотезе Риттингера энергия, необходимая для измельчения, пропорциональна вновь образованной поверхности измельчённого материала или степени измельчения. Риттингер считал, что полезная работа измельчения полностью переходит в поверхностную энергию.

По гипотезе В.Л. Кирпичёва, которая впоследствии была применена к процессам дробления полезных ископаемых немецким профессором Ф. Кикком, расход энергии определяется как адекватный упругой деформации материала, а вновь образованные поверхности не учитываются.

Обе гипотезы имеют системно-факторное ограничение, т.е. не учитывают влияния всех конкретных условий реализации процесса измельчения на его энергоёмкость.

Позже академик П.А. Ребиндер предложил единую теорию измельчения, согласно которой энергия, затрачиваемая на измельчение, равна сумме энергий, затрачиваемых на деформацию разрушаемого тела и на образование новых поверхностей.

Возможность применения данной теории к измельчению зернового сырья впервые была доказана профессором Я.Н. Куприцем, в дальнейшем эта гипотеза нашла подтверждение в работах профессора А.Р. Демидова.

Наиболее полно процесс измельчения зерна, с учётом его упругих свойств, исследовал В.И. Сыроватка. Согласно его выводам, полная энергия, сообщаемая зерну при разрушении рабочим органом, определяется суммой энергии, расходуемой на работу пластических деформаций и кинетической энергии, которой обладает зерновка.

Академик В.П. Горячкин, изучая проблему измельчения зернового сырья, указывал, что наиболее эффективным способом разрушения является динамическое воздействие на зерно рабочими органами в механике свободного удара. Такой вид нагружения наиболее распространён в измельчителях молоткового типа, где кроме ротора с молотками основными рабочими органами являются решето и дека, обеспечивающие реализацию принципа измельчения ударом и истиранием. Молотки барабана и создаваемый ими воздушный поток увлекают материал в круговое вращательное движение, располагая его по периферии камеры слоем переменной плотности.

Экспериментальные исследования процесса измельчения, которые в разное время провели В.И. Сыроватка, Ф.Г. Плохов и Г.И. Шуб, показали, что в дробильной камере частицы материала, находясь на разных стадиях разрушения, формируют воздушно-продуктовый поток (ВПП), представляющий собой неоднородную, разнофракционную массу, движущуюся у поверхности решета или деки, дифференцированную по слоям. Достоверно

установлено, что толщина ВПП составляет от 20 до 32 мм в зависимости от величины загрузки дробилки. Скоростная киносъёмка идентифицировала расширение границы интервала до 15–35 мм. При этом скорость слоя в зоне деки составила 20–25%, а у поверхности решета она равна почти половине скорости молотков. В то же время опытным путём был доказан отрицательный эффект высокоскоростного движения продукта по решету, так как ухудшается его просеивающая способность и снижается интенсивность ударного воздействия молотков по частицам зерносмеси.

В результате проведённых опытов при категорировании слоёв было выделено несколько технологических фракций, начиная от целых зерновок, до погибших – переизмельчённых частиц.

В процессе сепарации частицы с непроходным калибром располагаются по периферии потока и препятствуют эвакуации из рабочей камеры частиц, размер которых меньше диаметра решета, что сопровождается излишним истиранием материала и непроизводительным расходом энергии. Это не только приводит к пролонгированию периода эксплуатации решёт и молотков в режиме интенсивного износа, но и не позволяет снизить удельную энергоёмкость измельчения, стабилизировать показатели качества корма, а также осуществить оптимальную организацию зернового потока в технологическом цикле рабочего процесса.

Фактически функционально-лабораторные испытания и производственные исследования показали, что в серийных измельчителях энергия расходуется не только на полезную работу измельчения, но и на непродуктивное перемещение материала по рабочей камере. Поэтому совершенствование теоретических основ и технического обеспечения процесса разрушения зерно материала не будет являться эффективным средством развития сферы кормоприготовления без разработки методов совершенствования механизмов вывода готового продукта из зоны измельчения, позволяющих сохранить его от чрезмерного истирания.

В том случае, когда процесс переработки зерна реализуется в замкнутом ограниченном пространстве камеры дробящего устройства целесообразно акцентировать внимание на организацию воздушно-продуктовых потоков с возможностью гранулометрической дифференциации и переменным вектором траекториального перемещения ингредиентных частиц рабочей смеси.

Литература

1. Абдюкаева А.Ф., Огородников П.И. Оптимизация энергозатрат процесса измельчения зернового сырья путём совершенствования конструкций рабочих органов // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 1. С. 30–36.
2. Егоров Г.А., Мельников Е.М., Журавлёв В.Ф. Технология и оборудование мукомольно-крупянного и комбикормового производства. М.: Колос, 1979.
3. Петров А.А. Повышение производительности кормодробилки за счёт оптимизации конструктивных параметров молотка / А.А. Петров, И.Д. Алямов, А.П. Козловцев, В.С. Стеновский, Д.В. Наумов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 1 (57) С. 43–45.