

Совершенствование конструктивно-режимных параметров дробилки

М.М. Айтбаев, к.т.н., Костанайский СТУ; **А.К. Курманов**, д.т.н., профессор, **К.С. Рыспаев**, к.т.н., Костанайский ГУ; **Ю.А. Ушаков**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Создание прочной кормовой базы является одной из наиболее сложных задач обеспечения животных необходимым количеством протеина. Особое место в рационе животных занимают зернобобовые корма, отличающиеся высоким содержанием белка и минеральных веществ. В качестве корма для животных наиболее эффективно использование термообработанного зерна. В нём содержится большое количество протеина и аминокислот, в несколько раз больше, чем в зерновых злаковых кормах. Органическое вещество термообработанного зерна лучше переваривается животными. Включение такого зерна в рационы дойных коров приводит к повышению удоев и улучшению состава молока, а в рационы свиней на откорме способствует улучшению качества мяса и формированию плотного зернистого сала. Термообработанное зерно включают в кормовые смеси для телят при сокращении норм выпаивания цельного молока. Оно является весомым потенциалом расширения кормовой базы животноводства.

Совершенствование конструктивно-режимных параметров дробилки зерна представляет собой сложную и актуальную задачу, решение которой способствует повышению эффективности процесса измельчения [1–5].

Анализ исследований В.П. Горячкина, В.А. Елисеева, А.И. Завражнова, С.В. Мельникова, К.Г. Мурзагалиева, Ф.Г. Плохова, А. Рейнерс, Г. Эбергардт и других авторов позволил получить ценные рекомендации для совершенствования машин и их рабочего процесса при измельчении кормов [1, 6–10]. Наиболее значимые недостатки существующих дробилок – высокая энергоёмкость и переизмельчённость готового корма.

Цель настоящего исследования – совершенствование конструктивно-режимных параметров роторно-центробежной дробилки для снижения энергоёмкости и устранения переизмельчённости зерна.

Материал и методы исследования. Программа эксперимента состоит из общих и частных методик. Частной методикой предусмотрено определение работы разрушения. Исследование проводили на экспериментальной установке (рис. 1).

Работу разрушения определяли по формуле:

$$A = G \cdot l_0 (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (1)$$

где G – масса молотка, кг;

α_1 – угол подъёма молотка до разрушения, град;

α_2 – угол взлёта молотка после разрушения зерна, град;

l_0 – длина молотка, м.

Для определения закономерности изменения работы разрушения (A) подготовлено несколько молотков (табл. 1) с разной массой, длиной и толщиной.

1. Параметры экспериментальных молотков

Параметры	Молоток		
	1-й	2-й	3-й
Длина, мм	250	190	130
Ширина, мм	50	50	50
Толщина, мм	2	1,5	1
Масса, г	200	140	80

Массу молотка определяли с точностью 3 г. Величину вредных сопротивлений, действующих на молоток (силы трения на оси подвеса, сопротивление воздуха), определяли по методу В.А. Ворошка. Молоток отводили на 90° от устойчивого положения (вертикали) и отпускали. Добивались величины угла возврата молотка более 88°. В процессе эксперимента зерно (рис. 1) закреплялось в фиксаторе образца 6, молоток 3 поднимали на фиксированный угол, при освобождении молоток совершал удар по защемлённому зерну. После разрушения зерна на шкале 4 фиксировали угол взлёта молотка.

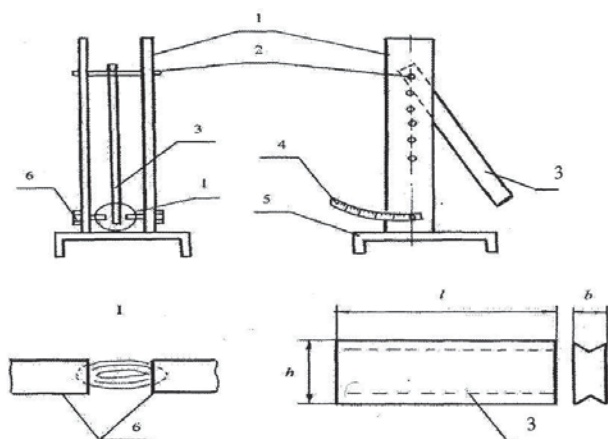


Рис. 1 – Лабораторная установка для определения работы разрушения:
1 – стойка; 2 – вал; 3 – молоток; 4 – шкала; 5 – основание; 6 – фиксатор образца

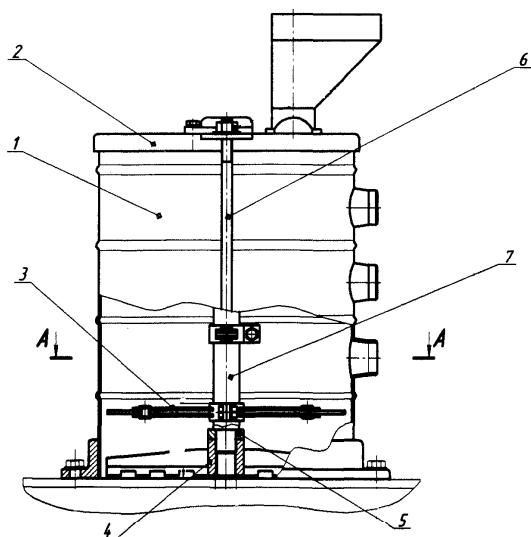


Рис. 2 – Схема устройства дробильной камеры

Для проведения эксперимента была изготовлена экспериментальная роторно-центробежная дробилка (рис. 2).

Молотки изготавливались из износостойких сталей (65, 65Г и др.) и подвергались закалке [11–13].

Молоток 3 и ворошитель 4 крепили соответственно на ступицах валов верхней и нижней опор. Верхнюю опору установили на крышке 2 камеры дробления, нижнюю опору 11 – на опорной плите рамы. Молотки установили в пазы, выполненные на валу 7 и крепили при помощи болтов 5 (рис. 2).

При проведении эксперимента изменяли подачу корма, частоту вращения вала, выход готовой продукции, скорость воздушного потока. Для изменения подачи корма в бункере устанавливали заслонку. Частоту вращения молотка изменяли передаточным отношением шкивов на электродвигателе и валу. Выход готовой продукции регулировали положением патрубков, а скорость воздушного потока – сменными лопатками (ворошителями) (табл. 2).

2. Уровни варьирования факторов

	Подача материала, Q, г/с	Частота вращения вала, ω, об/мин	Ширина лопатки, В, мм	Высота расположенных выгрузных отверстий, h, мм
+	X ₁ 24	X ₂ 2600	X ₃ 28	X ₄ 202
0	16	1750	20	147,5
-	8	900	12	93

Взвешивание подготовленного сырого и термообработанного корма проводили на лабораторных технических весах. После завершения эксперимента осуществляли контроль качества корма по гранулометрическому составу с помощью решётного классификатора Макарова.

В качестве критерия отклика эксперимента была выбрана удельная производительность.

Оптимизационные эксперименты были реализованы с применением программной среды MATLAB.

Результаты исследования. На величину работы разрушения зерна и критическую скорость витания оказывают влияние масса молотка, физико-механическое состояние зерна (сырое или термообработанное), толщина молотка (табл. 3, 4).

По таблице 4 видно, что скорость витания сырого зерна на 5% больше, чем термообработанного, работа, затраченная на разрушение сырого зерна, на 26% больше, чем работа, затраченная на разрушение термообработанного зерна. Результаты опытов явились основой для изготовления молотка с двумя режущими кромками. Влажность зерна после термообработки составляла 2,32% при сохранении качества (табл. 5).

Удельная производительность измельчения термообработанного зерна рассчитывается как:

3. Результаты экспериментов по разрушению зерна

Тип молотка	Угол подъёма молотка до разрушения зерна, α_1	Угол взлёта молотка после разрушения зерна, α_2
Сырое зерно		
1-й	70	10
2-й	90	30
3-й	115	50
Термообработанное зерно		
1-й	70	45
2-й	90	65
3-й	115	90

4. Результаты определения критической скорости витания, v_{cr} , м/с

Зерно	Опыт				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Термообработанное	9,8	10,0	10,2	9,9	10,1
Сырое	10,3	10,7	10,8	10,1	10,5

5. Результаты проверки качества зерна

Температура и время обработки зерна	Показатель качества зерна			
	влаж-ность, %	натура, г/л	масса, кг	стек-ловид-ность, %
4500, 15–20 сек	2,32	541	1,0	48
1000, 30 мин	6,09	602	1,0	48
Сырое зерно	12,57	699	1,0	48

$$Y_1 = 1,81 + 0,16X_1 + 0,17X_2 + 0,25X_3 + 0,28X_4 + 0,26X_{12} + 0,38X_{13} + 0,43X_{14} + 0,35X_{23} + 0,26X_{24} + 0,27X_{34} - 0,16X_1^2 - 0,18X_2^2 - 0,15X_3^2 - 0,16X_4^2 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{кВт}} \quad (2)$$

Удельная производительность измельчения сырого зерна имеет вид:

$$Y_2 = 1,79 + 0,25X_3 + 0,21X_4 + 0,58X_{12} + 0,32X_{13} + 0,28X_{14} + 0,31X_{23} - 0,22 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{кВт}} \quad (3)$$

Анализ результатов исследования по определению влияния частоты вращения ротора молотковой дробилки на удельную производительность выявил возможность её снижения. Частота вращения ротора ($\omega = 1750$ об/мин) экспериментальной дробилки в 1,6 раза меньше частоты вращения ротора базовой ($\omega = 2900$ об/мин) дробилки (рис. 3).

Анализ поверхностей отклика (рис. 4, 5, 6) позволил установить оптимальные значения параметров. Максимальное значение частоты вращения (1750 об/мин) достигается в точке 0. Ширина лопатки имеет максимальное значение (28 мм) в точке 0,06. Подача имеет максимальное значение (17,6 кг/с) в точке 0,07. Максимальное значение высоты выхода готовой продукции (147,6 мм) достигается в точке 0,39.

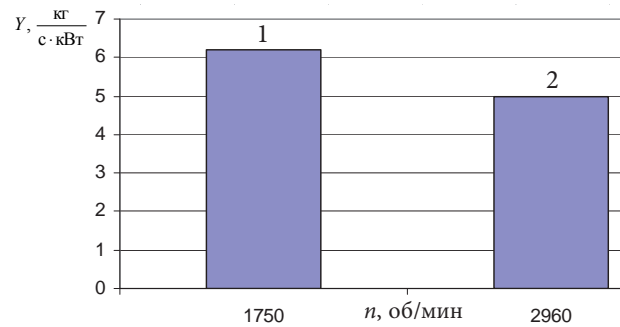


Рис. 3 – Зависимость удельной производительности базового и экспериментального измельчителей от частоты вращения ротора

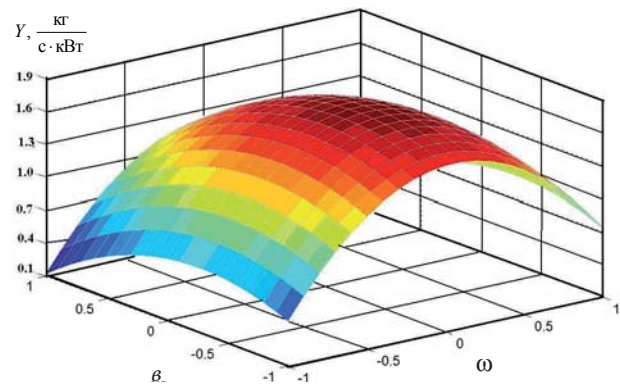


Рис. 4 – Поверхность отклика, характеризующая удельную производительность измельчения зерна Y в зависимости от частоты вращения и ширины лопатки: ω – частота вращения, об/мин; b – ширина лопатки, мм

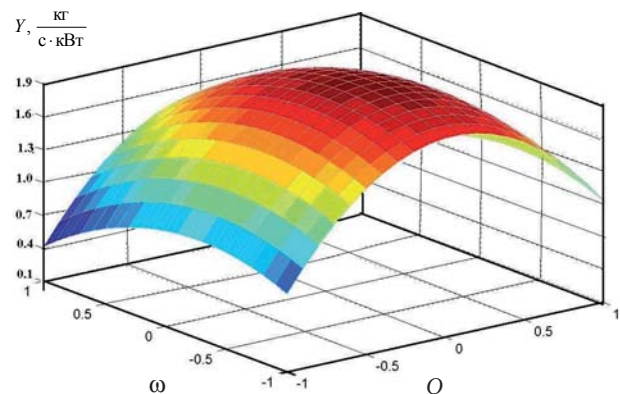


Рис. 5 – Поверхность отклика, характеризующая удельную производительность измельчения зерна Y в зависимости от частоты вращения и подачи: Q – подача, кг/сек; ω – частота вращения, об/мин

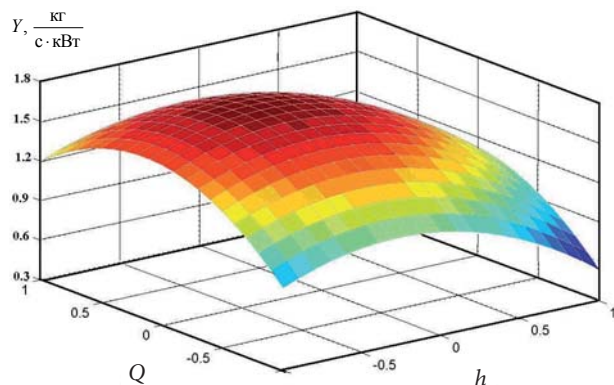


Рис. 6 – Поверхность отклика, характеризующая Y в зависимости от высоты выхода готовой продукции и подачи:
 Q – подача, кг/сек; h – высота выхода готовой продукции, мм

Выводы

1. На основании анализа исследований по кормоприготовлению установлено, что наиболее эффективными для кормления животных являются термообработанные концентрированные корма с изменением их структуры на молекулярно-химическом уровне. Термообработка позволяет улучшить усваиваемость и питательность корма.

2. Классификация и анализ измельчителей позволил выявить наиболее перспективное конструктивное решение – молотковую дробилку с усовершенствованной конструкцией молотка. Установлено, что форма молотка с двумя режущими кромками и своевременная эвакуация измельчённого продукта из зоны действия молотков повышает эффективность измельчения.

3. Частными исследованиями установлено, что работа, затрачиваемая на разрушение сырого зерна, в 2 раза больше, чем термообработанного, скорость витания ($v_{\theta} = 10,5$ м/с) сырого зерна на 5% больше, чем термообработанного ($v_{\theta} = 9,9$ м/с). Это свидетельствует о преимуществе технологий подготовки зерна с применением термообработки.

4. На основе экспериментального исследования установлены значимые факторы и оптимальные конструктивно-режимные параметры экспериментальной дробилки: частота вращения – 1750 об/мин, высота выхода готовой продукции – 147,5 мм, ширина лопатки (ворошителя) – 28 мм, подача материала в дробилку – 17,6 кг/сек. Срок окупаемости внедрения экспериментальной дробилки составляет 2,3 года.

Литература

1. Мельников С.В. Основание для проектирования молотковых дробилок // Земледельческая механика. 1965. Т. 14. С. 221–232.
2. Смирнов Н.М. Исследование процесса тонкого помола и разработка методики расчёта гранулометрического состава материала, измельчённого в мельницах ударно-отражательного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 1977. 24 с.
3. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978. 560 с., ил.
4. Роторные дробилки (исследование, конструирование, расчёт и эксплуатация) / под ред. В.А. Баумана. М.: Машиностроение, 1973. 271 с.
5. Шахов В.А. Анализ функциональной специфики дробильных устройств с боковым расположением выгрузных зон / В.А. Шахов, Ю.А. Ушаков, А.А. Петров [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 181–184.
6. Айтбаев М.М. Конструкции и технология обработки кормов методом термоэкструдирования // Материалы научно-практической конференции Оренбургского государственного аграрного университета. Оренбург, 2004. С. 34–35.
7. Кукта Г.М. Технология переработки и приготовления кормов. М.: Колос, 1973. 240 с.
8. Леонтьев П.И., Золотарёв С.В. Пути снижения энергоёмкости процесса измельчения фуражного зерна // Проблемы промышленного животноводства в Алтайском крае / ВАСХНИЛ, Сиб. отд-е. Новосибирск, 1983. С. 59–63.
9. Павловский Г.Г. Очистка, сушка и активная вентиляция зерна. М.: Агропромиздат, 1986.
10. Асманкин Е.М. Кинематические и динамические аспекты взаимодействия ингредиентов частиц с функциональными элементами рабочей камеры измельчителя зернового материала / Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков, А.Ф. Абдюкаева [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 87–89.
11. Айтбаев М.М., Успанов А.А. К обоснованию конструктивно-технологических особенностей молотковой дробилки при термоэкструдировании // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2004. № 2. С. 52–53.
12. Айтбаев М.М., Курманов А.К. Исследование рабочего процесса молотковой дробилки // Материалы XLIV международной научно-технической конференции / Министерство сельского хозяйства РФ. Ч. 2. Челябинск, 2005. С. 82–84.
13. Предв. пат. РК № 17350. Молотковая дробилка / М.М. Айтбаев, А.К. Курманов, Н.С. Умербеков; Оpubл. 15.05.2006. Бюл. № 5 (45).