

один проход машины, например, с одновременным внесением минерального удобрения. Современные ресурсосберегающие технологии предусматривают использование оптимально скомплектованных энергонасыщенных агрегатов, современных технических средств, новых агротехнических приёмов, на основании которых будет достигнут максимум производительности труда при минимальных затратах труда и денежных средств [10].

### Литература

1. Юдина Е.М. Технологии в растениеводстве: учебное пособие / Е.М. Юдина, Е.Ю. Авилова, С.А. Калитко [и др.] / под ред. Е.М. Юдиной. Краснодар, 2015.
2. Пат. на полезную модель RUS 166207. Комбинированное почвообрабатывающее орудие / Г.Г. Маслов, М.Р. Кадыров, Е.М. Юдина, И.А. Журий. Опубл.: 04.04.2016.
3. Пат. 141027 Российская Федерация, МПК А01В 13/08. Вибрационный каток / Г.Г. Маслов, Е.М. Юдина, М.О. Юдин, Л.В. Холявко; заявит. и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». № 2013159056/13; заявл. 30.12.2013; опубл. 27.05.14. Бюл. № 15. 3 с.
4. Юдина Е.М. Комбинированные посевные агрегаты // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. стат. 71-й науч.-практич. конф. Краснодар: КубГАУ, 2016. С. 264–266.
5. Юдина Е.М. Совершенствование приёмов обработки почвы // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: матер. XX междунар. науч.-производ. конф. Белгород, 2016. Т. 2. С. 141–142.
6. Кисель Ю.Е. Рассеяние микротвёрдости композиционных гальванических покрытий / Ю.Е. Кисель, П.Е. Кисель, Г.В. Гурьянов [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. № 19. С. 219–222.
7. Гурьянов Г.В. Влияние прочности компонентов электрохимических композитов на их износостойкость / Г.В. Гурьянов, Ю.Е. Кисель, Е.М. Юдина [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 43. С. 303–306.
8. Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е., Юдина Е.М. Определение параметров микроструктуры электрохимических покрытий по их дилатации // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 43. С. 295–299.
9. Карабаницкий А.П. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов / А.П. Карабаницкий, Е.М. Юдина, В.В. Цыбулевский [и др.] // Методические указания к практическим занятиям по дисциплине В.2.ДВ.1. Прикладная физика / под общ. ред. Г.Г. Маслова. Краснодар, 2014.
10. Юдина Е.М. Техническое перевооружение парка уборочной техники сельскохозяйственных организаций Краснодарского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 5 (67). 2017. С. 100–103.

## 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;

$\alpha_1$  – угол подъёма молотка до разрушения, град;

$\alpha_2$  – 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.

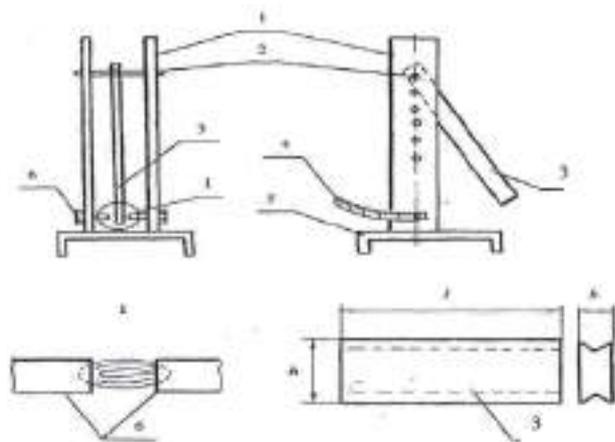


Рис. 1 – Лабораторная установка для определения работы разрушения:  
1 – стойка; 2 – вал; 3 – молоток; 4 – шкала; 5 – основание; 6 – фиксатор образца

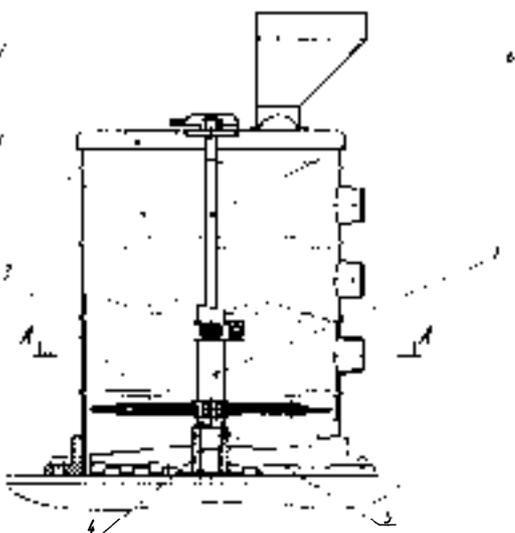


Рис. 2 – Схема устройства дробильной камеры

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 <sub>1</sub> 24	X <sub>2</sub> 2600	X <sub>3</sub> 28	X <sub>4</sub> 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, $\alpha_1$	Угол взлёта молотка после разрушения зерна, $\alpha_2$
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.

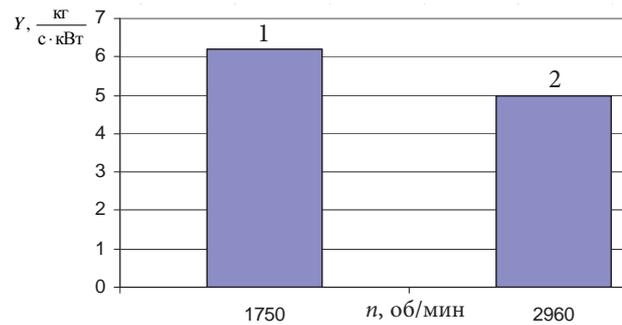


Рис. 3 – Зависимость удельной производительности базового и экспериментального измельчителей от частоты вращения ротора

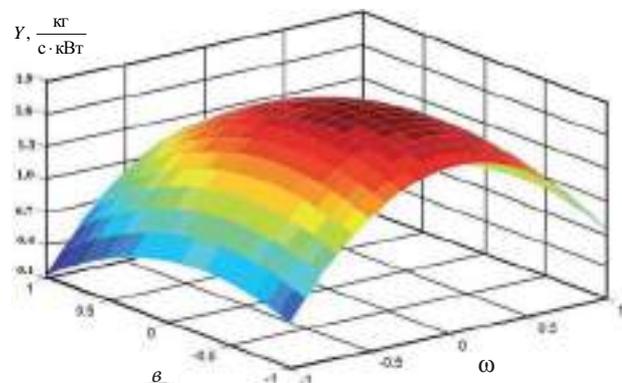


Рис. 4 – Поверхность отклика, характеризующая удельную производительность измельчения зерна  $Y$  в зависимости от частоты вращения и ширины лопатки:  $\omega$  – частота вращения, об/мин;  $b$  – ширина лопатки, мм

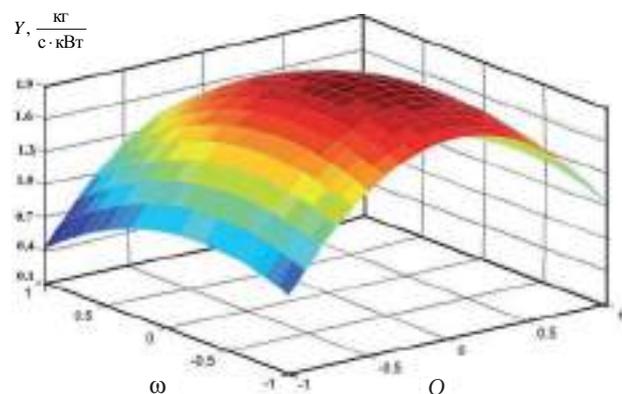


Рис. 5 – Поверхность отклика, характеризующая удельную производительность измельчения зерна  $Y$  в зависимости от частоты вращения и подачи:  $Q$  – подача, кг/сек;  $\omega$  – частота вращения, об/мин

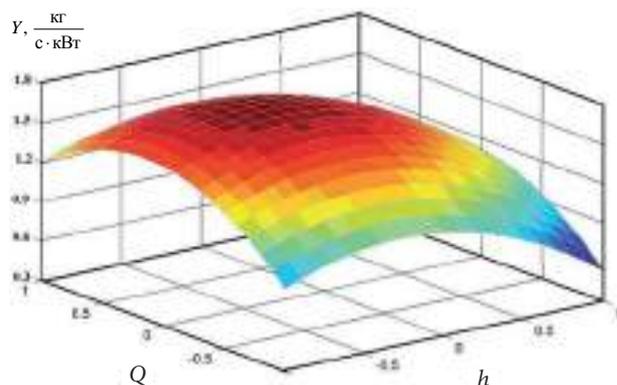


Рис. 6 – Поверхность отклика, характеризующая  $Y$  в зависимости от высоты выхода готовой продукции и подачи:  
 $Q$  – подача, кг/сек;  $h$  – высота выхода готовой продукции, мм

### 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 ( $v_g = 10,5$  м/с) сырого зерна на 5% больше, чем термообработанного ( $v_g = 9,9$  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 ингредиентных 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).

## Влияние частоты вращения мешалки и количества её лопастей на качество приготавливаемой смеси тихоходным смесителем

*М.В. Борисова, аспирантка, В.В. Новиков, к.т.н., профессор, А.Ю. Титов, ФГБОУ ВО Самарский ГАУ; В.В. Коновалов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ*

Рост развития сельского хозяйства определяется не только увеличением объёмов продукции растениеводства, но и эффективным использованием произведённой продукции, позволяющим обеспечить население страны отечественными продуктами

животноводства. Для этого корма должны составлять полнорационные смеси, что невозможно получить без применения смесителей. Учитывая, что порядка 45% производимого в России фуражного зерна должно использоваться для производства комбикормов на животноводческих предприятиях, в основе которых покупные БВД и дерти собственного фуражного зерна, то разработка и использование отечественных смесителей является актуальной задачей [1, 2].