

мерно 36 %, возникает и при учете количества животных в расчетах. При увеличении влажности на 15 % вместимость возрастет в 2,1 раза, но наибольшее изменение вместимости смесителя – в 7 раз – происходит из-за количества кормлений животных. Значительное сокращение вместимости смесителя из-за увеличения количества кормлений невозможно без применения автоматизированных систем управления.

14.03.12

Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении / Л.Я. Степук. – Минск: Урожай, 1986. – 152 с.
2. Корма растительные. Методы определения влаги: ГОСТ 27548–97. Введ. 01.01.1999. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 6 с.
3. Кабанов, В.Д. Свиноводство / В.Д. Кабанов. – М.: Колос, 2001. – 431 с.
4. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – Москва, 2007. – 333 л.

УДК 621.926:621.927

**В.А. Михайлов, Н.П. Киселева,
А.С. Алферов, Е.С. Кочегура**

*ГНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» (СКНИИМЭСХ),
г. Зерноград, Ростовская область,
Российская Федерация)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ
РАБОЧЕГО
ПРОЦЕССА
МОЛОТКОВОЙ
ДРОБИЛКИ
ВД-1**

Основной операцией при подготовке зерновых компонентов на комбикормовых заводах и в цехах является измельчение, осуществляемое дезинтеграторами, плющилками, молотковыми дробилками. Простота устройства и обслуживания, высокая технологическая надежность, сравнительно низкие капиталовложения – основные преимущества молотковых дробилок, обусловившие их широкое распространение.

В течение многих лет стандартным конструктивным решением для дробилок являлось горизонтальное расположение вала ротора. Но с появлением в 1993 году промышленных образцов молотковых дробилок с вертикально установленным валом ротора [1] положение резко изменилось. Такие дробилки имеют ряд преимуществ, главное из которых состоит в умеренных удельных энергозатратах. Невысокая скорость воздушного потока в дробилке с вертикальным валом ротора позволяет отказаться от дорогостоящей централизованной системы аспирации и перейти к применению локальных фильтров, а также использовать вентил-

ляторный эффект ротора дробилки (воздушный поток) для регулировки загрузки камеры измельчения машины.

Дробилка (рисунок 126) включает крышку 1 с закрепленными на ней рабочими органами, привод 2, корпус 3, раму 4. Работает следующим образом: исходный материал через бункеры 5, патрубки 6 поступает в камеру дробления в корпусе 3, где подвергается быстрочередующимся ударам молотков вращающегося ротора 7 и проходит через отверстия решет. Затем материал через выгрузное отверстие 8 дробилки поступает в шнек и в бункер.

Опыт эксплуатации новых дробилок ДМВ («Тэхнэкс»), дробилок производства ОАО «Мельинвест», DFZK («Бюллер АГ») указывает на необходимость совершенствования их конструкции и техпроцесса для получения более выровненного гранулометрического состава готового продукта, уменьшения содержания в нем пылевидных частиц и снижения за счет этого расхода энергии, а также удобства их технического, технологического и эксплуатационного обслуживания.

Для изучения технологического процесса, протекающего в дробилке с вертикальным валом ротора, в ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии (ранее ВНИПТИМЭСХ) была изготовлена лабораторная установка, включающая дробилку, бункер-питатель, шкаф управления, опорный стол-раму, выгрузной транспортер.

Основное отличие лабораторной дробилки от дробилок ДМВ («Тэхнэкс»), DFZK («Бюллер АГ») заключается в применении для привода ротора промежуточной клиноременной передачи, что позволило менять скоростные режимы в зависимости как от перерабатываемого материала, так и от модуля помола для различных видов половозрастных групп животных и птиц.

Конструкция дробилки позволяет одновременно, независимо друг от друга, менять шесть параметров техпроцесса: а) окружную скорость ротора; б) диаметр отверстий решет; в) высоту рифлей дек; г) число молотков на роторе; д) подачу материала в дробильную камеру; ж) зазор между поверхностью решет и концами молотков ротора.

При всестороннем изучении процесса измельчения зерновых продуктов в молотковой дробилке характеризовать его одним или двумя

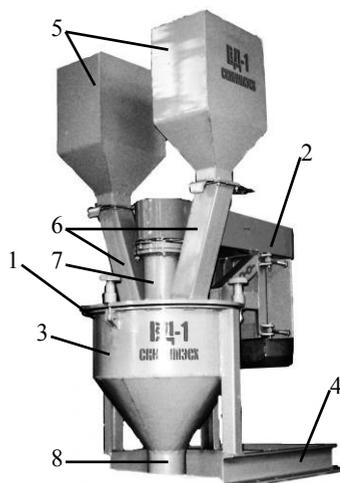


Рисунок 126 – Молотковая вертикальная дробилка ВД-1

показателями (критериями) недостаточно. Поэтому для оценки техпроцесса дробилки нами были приняты 3 критерия:

а) количественный – производительность, $кг/ч$ (т.е. подача в единицу времени):

$$Q = \frac{G}{t}, \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где G – масса порции зерна за время повторности, $кг$;

t – время измельчения порции зерна, $ч$;

б) качественный – модуль помола, характеризующий средневзвешенную величину частиц измельченного продукта;

в) комплексный – энергоемкость процесса с учетом степени измельчения материала:

$$\Xi = \frac{100N}{Q\lambda}, \frac{кВт \cdot ч}{т \cdot (ед.ст.изм.)}, \quad (2)$$

где N – мощность, требуемая на измельчение;

Q – подача материала в единицу времени (производительность), $т/ч$;

$т \cdot (ед.ст.изм.)$ – тонн на единицу степени измельчения;

λ – степень измельчения материала, величина безразмерная, показывающая, во сколько раз уменьшился размер зерновки после измельчения:

$$\lambda = \frac{d_{жк}}{M},$$

где $d_{жк}$ – диаметр шара, эквивалентного по объему зерновке, $мм$;

M – модуль помола, $мм$.

Определение характера влияния указанных факторов на показатели техпроцесса дробилки проводили на основе многофакторного эксперимента с помощью матрицы D -оптимального плана Хартли-Коно (X_a-K_0)₆. Факторы и границы их изменений приведены в таблице 44.

Таблица 44 – Факторы. Области значений

Условное обозначение		Наименование фактора	Уровень факторов		
кодир.	натурал.		-1	0	+1
X_1	V_m	Окружная скорость молотков, $м/с$	43	57	71
X_2	d	Диаметр отверстий решета, $мм$	2	3	4
X_3	h	Высота рифлей деки, $мм$	0	6	12
X_4	Z_m	Количество молотков на роторе, $шт.$	12	18	24
X_5	Q	Величина подачи материала, $кг/ч$	200	600	1000
X_6	S	Величина зазора между молотками и решетом, $мм$	8	14	20

При проведении каждого опыта отбирались пробы для определения модуля помола, влажности, объемного веса готового продукта, регистрировались потребляемые мощности холостого и рабочего хода. Результаты экспериментов приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Оптимальный план Хартли-Коно и результаты его реализации

№ п/п	Кодированные значения факторов						Производитель- ность, кг/ч	Модуль помола, мм	Энергоемкость, $\frac{кВт\cdotч}{т(ед.ст.изм.)}$
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆			
1	-1	-1	-1	-1	1	1	803	1,66	1,451
2	-1	-1	-1	1	-1	1	208	1,27	1,306
3	-1	-1	1	-1	-1	1	203	1,36	1,461
4	-1	-1	1	1	1	1	757	1,36	1,894
5	-1	1	-1	-1	1	-1	877	1,88	1,866
6	-1	1	-1	1	-1	-1	222	1,45	1,557
7	-1	1	1	-1	-1	-1	173	1,73	1,286
8	-1	1	1	1	1	-1	856	1,85	1,905
9	1	-1	-1	-1	1	-1	859	1,36	2,361
10	1	-1	-1	1	-1	-1	237	1,05	2,152
11	1	-1	1	-1	-1	-1	170	1,04	1,517
12	1	-1	1	1	1	-1	748	1,18	0,984
13	1	1	-1	-1	1	1	815	1,63	1,282
14	1	1	-1	1	-1	1	265	1,72	1,657
15	1	1	1	-1	-1	1	262	1,56	1,230
16	1	1	1	1	1	1	906	1,66	1,537
17	0	0	0	0	0	0	313	1,31	1,278
18	1	-1	0	-1	1	1	1035	1,29	1,274
19	0	1	1	1	-1	1	195	1,64	1,497
20	-1	-1	-1	0	1	-1	564	1,48	2,577
21	-1	-1	-1	1	0	1	528	1,51	0,916
22	0	-1	1	1	1	-1	773	1,48	2,389
23	-1	1	1	-1	0	1	380	1,85	1,298
24	1	-1	1	0	-1	1	157	1,32	1,590
25	-1	0	1	-1	-1	-1	146	1,55	1,574
26	-1	1	0	1	1	1	624	1,72	1,252
27	1	0	-1	-1	-1	-1	239	0,99	1,375
28	0	-1	1	-1	-1	1	238	1,3	1,359
29	-1	-1	-1	0	1	1	1159	1,67	1,236
30	1	1	1	0	1	1	1081	1,54	1,361
31	-1	0	-1	-1	-1	1	213	1,43	1,478
32	0	-1	1	-1	1	1	1144	1,31	1,581
33	1	1	-1	-1	0	1	431	1,58	1,367
34	1	-1	-1	1	-1	0	146	1,36	2,397
35	1	1	-1	0	-1	-1	182	1,21	1,586
36	1	0	1	-1	1	1	1057	1,45	1,401
37	0	-1	-1	1	1	1	962	1,34	1,311
38	-1	1	-1	1	1	0	975	1,64	1,496
39	1	1	1	1	0	-1	370	1,56	2,224
40	-1	-1	0	-1	-1	1	249	1,52	1,733
41	1	-1	-1		-1	1	280	1,06	1,260
42	0	1	-1	-1	1	-1	1043	1,68	1,544
43	-1	1	0	1	1	-1	928	1,87	1,909
44	-1	0	-1	1	-1	1	246	1,43	1,442

Для расчета коэффициентов регрессии использовали программу «Matlab Help». По каждому критерию оптимизации были получены математические модели в виде полиномов второго порядка в кодированном виде:

а) по производительности:

$$Q = 382,8 + 54X_1 + 38,4X_2 - 21,8X_3 - 38,3X_4 + 371X_5 + 25,6X_6 - 0,56X_1X_2 + 17,4X_1X_3 - 4,9X_1X_4 + 8,2X_1X_5 - 13,4X_1X_6 + 24,2X_2X_3 + 76X_2X_4 + 4,6X_2X_5 - 60,1X_2X_6 - 52X_3X_4 + 23,7X_3X_5 - 9,3X_3X_6 - 2,62X_4X_5 - 1,44X_4X_6 - 2,7X_5X_6 - 77,7X_1^2 + 2,74X_2^2 - 1,6X_3^2 + 13,77X_4^2 + 173,125X_5^2 + 37,7X_6^2; \quad (3)$$

б) по модулю помола:

$$M = 1,337 - 0,1049X_1 + 0,1378X_2 + 0,0434X_3 - 0,0058X_4 + 0,0059X_5 + 0,029X_6 + 0,029X_1X_2 - 0,01488X_1X_3 + 0,052X_1X_4 - 0,033X_1X_5 + 0,039X_1X_6 + 0,0146X_2X_3 + 0,0056X_2X_4 - 0,0038X_2X_5 + 0,0054X_2X_6 + 0,017X_3X_4 - 0,028X_3X_5 - 0,0263X_3X_6 - 0,046X_4X_5 + 0,0084X_4X_6 - 0,049X_5X_6 + 0,075X_1^2 + 0,043X_2^2 + 0,0066X_3^2 + 0,0754X_4^2 - 0,025X_5^2 - 0,0077X_6^2; \quad (4)$$

в) по энергоемкости:

$$W = 1,545 - 0,0964X_1 + 0,1995X_2 + 0,0117X_3 - 0,0778X_4 + 0,032X_5 + 0,261X_6 + 0,156X_1X_2 + 0,0823X_1X_3 - 0,05X_1X_4 + 0,093X_1X_5 - 0,1252X_1X_6 + 0,0575X_2X_3 + 0,09X_2X_4 + 0,025X_2X_5 - 0,11X_2X_6 - 0,056X_3X_4 - 0,011X_3X_5 - 0,1093X_3X_6 + 0,1057X_4X_6 - 0,0731X_5X_6 + 0,092X_1^2 - 0,0057X_2^2 + 0,0444X_3^2 + 0,1393X_4^2 + 0,0247X_5^2 - 0,1661X_6^2. \quad (5)$$

Проведенный статистический анализ указанных уравнений показал, что они позволяют получить расчетные данные по каждому критерию оптимизации, близкие к экспериментальным.

Каноническая форма указанных уравнений получена после решения соответствующих матриц и имеет следующий вид:

а) по производительности:

$$Q-383 = -78,3X_1^2 - 29,3X_2^2 - 5X_3^2 + 35X_4^2 + 55X_5^2 + 174X_6^2; \quad (6)$$

б) по модулю помола:

$$M-1,44 = -0,04X_1^2 - 0,012X_2^2 - 0,025X_3^2 + 0,044X_4^2 + 0,075X_5^2 + 0,75X_6^2; \quad (7)$$

в) по энергоемкости:

$$W-1,6 = -0,21X_1^2 - 0,08X_2^2 - 0,015X_3^2 + 0,07X_4^2 + 0,12X_5^2 + 0,21X_6^2. \quad (8)$$

Во всех уравнениях в канонической форме знаки при квадратичных членах различны, и поэтому вид поверхности отклика, описываемый уравнениями (3), (4), (5), определить очень сложно.

Так как представить исследуемый параметр оптимизации (функцию отклика) в шестимерном пространстве практически невозможно, анализ его проводили с помощью двухмерных сечений поверхности: анализу подвергались математические модели с закодированными факторами. В уравнении второго порядка подставляются закодированные значения факторов на нулевом уровне, кроме двух изучаемых. В результате получаем

выражения, содержащие лишь два изучаемых фактора. Дифференцируя их поочередно по каждому фактору, получаем два дифференциальных уравнения, решая которые, находим координаты центра поверхности отклика, описываемой данными выражениями. Подставляем их в уравнение двухмерного сечения и определяем оптимальные значения параметра в центре сечения поверхности отклика. Для определения вида изучаемой поверхности приводим уравнения к каноническому виду [2] и, подставляя в них различные значения изучаемого критерия, получаем уравнения соответствующих контурных кривых (рисунок 127, 128).

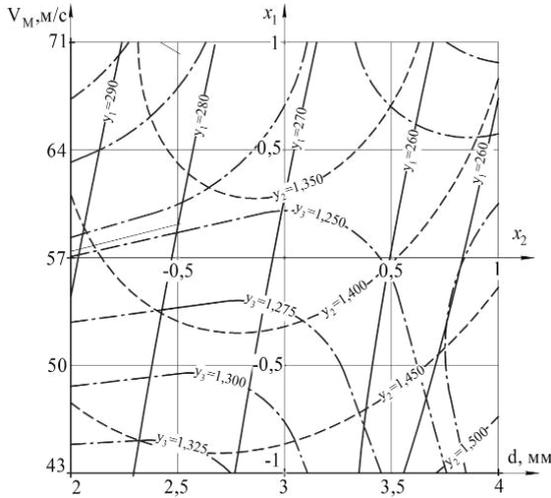


Рисунок 127 – Двухмерные сечения, характеризующие производительность (y_1), модуль помола (y_2) и энергоёмкость процесса в зависимости от окружной скорости молотков V_M и диаметра отверстий решета d

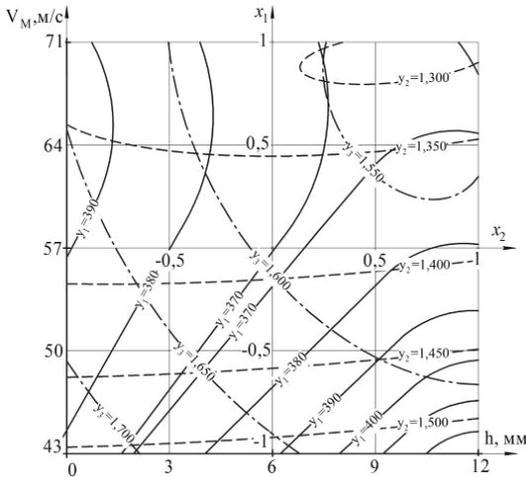


Рисунок 128 – Двухмерные сечения, характеризующие производительность (y_1), модуль помола (y_2) и энергоёмкость процесса в зависимости от окружной скорости молотков V_M и высоты рифлей деки h

Выводы

1. Адекватно отражает все стороны технологического процесса измельчения зерна в молотковой дробилке с вертикально расположенным валом ротора комплексный критерий оптимизации W . Его оптимальная величина не должна превышать $1,54 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{т}\cdot\text{ед.ст.изм.})$; нижняя его граница ($0,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}\cdot(\text{ед.ст.изм.})$) снижает оптимальную производительность машины на 35 % ($530 \text{ кг}/\text{ч}$ против $795 \text{ кг}/\text{ч}$). При более высоком значении ($2,577 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{т}\cdot\text{ед.ст.изм.})$) происходит перерасход энергии за счет ее затрат на холостой ход машины. При этом производительность $Q = 795\text{--}850 \text{ кг}/\text{ч}$, а модуль помола $M = 1,4\text{--}1,52 \text{ мм}$.

2. Рациональные значения исследуемых факторов рабочего процесса дробилки с вертикальным валом должны быть равны: окружная скорость молотков $V = 70\div 71 \text{ м}/\text{с}$, диаметр отверстий решета $d = 3\div 4 \text{ мм}$, высота рифлей деки (не более) $h = 6 \text{ мм}$, число молотков $Z = 16\div 20 \text{ шт.}$, подача (не более) $Q = 850 \text{ кг}/\text{ч}$ и зазор между решетом и молотками $S = 12\div 20 \text{ мм}$.

3. Оптимальные значения производительности – $795\text{--}850 \text{ кг}/\text{ч}$, модуля помола – $1,28\div 1,66 \text{ мм}$ и энергоемкости – $1,54 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{т}\cdot\text{ед.ст.изм.})$ достигнуты при окружной скорости молотков, равной $65\text{--}71 \text{ м}/\text{с}$.

4. Минимальная энергоемкость $1,54 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{т}\cdot\text{ед.ст.изм.})$ достигнута при окружной скорости молотков $71 \text{ м}/\text{с}$ и значениях остальных факторов, близких к нулевому уровню (см. таблицу 44): $X_2 = 3 \text{ мм}$, $X_3 = 6\div 10 \text{ мм}$, $X_4 = 16\div 18 \text{ шт.}$, $X_5 = 795 \text{ кг}/\text{ч}$ и $X_6 = 12 \text{ мм}$.

19.06.12

Литература

1. Хорошенко, Г. Современная концепция измельчения с использованием техники завтрашнего дня / Г. Хорошенко // Комбикорма. – 2002. – № 1. – С. 26.
2. Планирование экспериментов в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников [и др.]. – Ленинград: Колос, 1980. – 129 с.

УДК 636.087.6

В.В. Чумаков, А.Л. Тимошук
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь)

**ПОЛУЧЕНИЕ БЕЛКОВОЙ
КОРМОВОЙ ДОБАВКИ
МЕТОДОМ
ЭКСТРУДИРОВАНИЯ**

Введение

Разработка новых видов качественных кормовых добавок на основе отходов предприятий по переработке сельскохозяйственного сырья всегда являлась актуальной задачей. Вовлечение в кормопроизводство вторичного сырья (боенских отходов) позволяет за счет собственного сырья