

среднесуточного прироста живой массы относительно контрольной группы на 27,8 г или на 29,1 %, при достоверной разнице.

Установлена достоверное повышение концентрации в сыворотке крови опытных ярок общего белка на 7,7 г/л, в том числе альбуминов на 7,2 г/л, отмечен достоверный гепатопротекторный эффект хвойной энергетической добавки и улучшение почечного обмена.

Список использованной литературы

1. Thao, NT, Wanapat, M, Kang, S, Cherdthong, A, 2015. Effects of supplementation of eucalyptus (*E. camaldulensis*) leaf meal on feed intake and rumen fermentation efficiency in swamp buffaloes. *Asian Australas J Anim Sci* 28, 951–957.

УДК 631.363.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА

С.А. Дрозд, канд. техн. наук

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: В статье представлен многофакторный эксперимент, по результатам которого созданы регрессионные модели, позволяющие определить оптимальные параметры измельчения – межвальцовый зазор и диаметр отверстий в решетке. Использование этих параметров позволяет снизить энергозатраты на 30...46%, повысить производительность на 121...135% и обеспечить требуемое качество измельчения до 99%. Результаты подтверждают эффективность метода для различных видов животноводческой продукции.

Abstract: This paper presents a multifactor experiment resulting in regression models that determine optimal grinding parameters – inter-vallz gap and sieve hole diameter. Applying these parameters reduces energy consumption by 30–46%, increases productivity by 121–135%, and achieves a grinding quality of up to 99%. The results confirm the method's effectiveness for various types of livestock feed production.

Ключевые слова: двухстадийное измельчение, оптимизация, комбикорма, зернофураж, регрессионное моделирование, энергозатраты, производительность.

Keywords: two-stage grinding, optimization, feed production, grain feed, regression modeling, energy savings, productivity.

Введение

Развитие животноводства зависит от использования отечественных высокоэнергетических комбикормов, основным компонентом которых является зернофураж. Основная технологическая операция – измельчение, обеспечивающее лучшее усвоение питательных веществ, однако в отечественном производстве оно связано с высокими энергозатратами, достигающими до 70%. Исследования

показывают, что эффективность этого процесса можно повысить с помощью комбинированного воздействия различных рабочих органов, например, двухстадийного измельчения: вальцовый на первой стадии и молотковый на второй стадии [1].

Основная часть

Для подтверждения эффективности предложенного метода измельчения и оптимизации оборудования был проведен эксперимент по определению влияния межвальцового зазора первой стадии измельчения и диаметра отверстий в решетке второй стадии измельчения на (Q) производительность y_1 , т/ч; (q) удельные энергозатраты y_2 , кВт ч/т·мм; ($\lambda_{изм}$) степень измельчения y_3 ; (Ls) средневзвешенный размер частиц y_4 , мм; (V) однородность измельченного продукта (коэффициент вариации) y_5 , %; (K) показатель качества измельченного зерна $y_6 - y_7$. Уровни и значения факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение факторов x_1 и x_2 в кодированном и натуральном виде

Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Межвальцовый зазор, мм	X_1	1,0	0,5	1,5	2,5
Диаметр отверстий в решетке, мм	X_2	1,5	3	4,5	6

Обработка экспериментальных данных позволила получить адекватные регрессионные модели, описывающие влияние межвальцового зазора первой стадии измельчения и диаметра отверстий в решетке второй стадии измельчения на

$$\text{производительность} - y_1 = 0,56 - 0,16X_1 + 0,06X_2 - 0,02X_1X_2 - 0,09X_1^2;$$

$$\text{удельные энергозатраты} - y_2 = 5,99 + 0,45X_1 - 1,57X_2 - 0,40X_1X_2 + 1,10X_1^2 + 0,37X_2^2;$$

$$\text{степень измельчения} - y_3 = 2,17 - 0,25X_1 - 0,28X_2;$$

$$\text{средневзвешенный размер частиц} - y_4 = 1,53 + 0,17X_1 + 0,21X_2 + 0,05X_1X_2 + 0,05X_2^2;$$

$$\text{однородность продукта (коэффициента вариации)} - y_5 = 5,84 - 1,09X_1 - 1,39X_2;$$

$$\text{показатель качества измельченного зерна с содержанием фракции } 0 - 2,0 \text{ мм} - y_6 = 81,70 - 3,04X_1 - 3,66X_2 + 9,19X_1^2$$

$$\text{и содержанием фракции } 0 - 3,0 \text{ мм} - y_7 = 99,50 - 0,30X_2 + 0,32X_1^2 \text{ [1,2].}$$

Использование уравнений позволяет оптимизировать двухстадийное измельчение зерна использование метод линейного про-

граммирование, заключающегося в решении задачи минимизации целевой функции при заданном ограничении [3].

При снижении энергозатрат и обеспечении качества не менее 95% для фракции 0...2 мм, оптимальные параметры – межвальцовый зазор 0,50 мм и диаметр отверстия 4,01 мм, с затратами 7,10 кВтч/т. Для фракции 0...3 мм при 95% требуется зазор 1,50 мм и отверстие 6,00 мм, с затратами 4,79 кВтч/т, что соответствует стандартам для производства кормов и откорма животных.

Заключение

Был проведен многофакторный эксперимент, в результате которого получены уравнения регрессии, описывающие модель процесса двухстадийного измельчения зерна. На основании которых установлены рациональные параметры межвальцового зазора b и диаметра отверстий d в решетке в зависимости от требуемой фракции 0...2 мм или 0...3 мм соответственно: $b = 0,5$ и $1,5$ мм; $d = 4$ и 6 мм, при которых достигается снижение удельных энергозатрат на 30 % и 46 %, увеличение производительности на 121 % и 135 % и достижение показателя качества до 95 % и 99 %. Это свидетельствует об эффективности применения двухстадийного метода измельчения зерна при производстве комбикормов для различных видов животных.

Список использованной литературы

1. Дрозд, С.А. Снижение удельных энергозатрат двухстадийным измельчением зернофуража при производстве комбикормов: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / С.А. Дрозд. – Минск, 2023. – 25 с.
2. Дрозд, С. А. Обоснование параметров и режимов работы вальцового и вертикального молоткового измельчителя при двухстадийном способе измельчения зерна / С. А. Дрозд // Агропанорама. – 2022. – № 2. – С. 3–9.
3. Сухарев, А.Г. Курс методов оптимизации: Учебное пособие / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров. – 2-е издание. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 368с.

УДК 636.061.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИВОЙ МАССЫ КРС

Е.Л. Жилич, Ю.Н. Рогальская, научный сотрудник

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация: В статье представлен ход экспериментальных исследований по определению рациональных конструктивных и режимных параметров макетного образца устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС.