

Список использованной литературы

1. Карпеня, М.М. Молочное дело /М.М. Карпеня, В.И. Шляхтунов, В.Н. Подрез/ - Минск : ИВЦ Минфина, 2011. – 254 с.
2. Курак, С.А. Качество молока через призму стандарта /А.С. Курак//Наше сельское хозяйство. – 2009. – №9. С. 22–28.
3. Изменение №3 2015 г. СТБ 1598-2006 «Молоко коровье сырое. Технические условия.» //Госстандарт Республики Беларусь.

УДК 631.363.2

**Дрозд С.А.**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ВАЛЬЦОВОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО МОЛОТКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ  
ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА**

Важнейшей технологической операцией производства комбикорма является измельчение зерна, которое необходимо для обеспечения усвояемости питательных веществ животными [1]. При этом для каждого вида и возрастной группы необходима определенная степень измельчения с соответствующей определяющей фракцией, характеризуемая показателем качества измельчения. За счет повышения показателя качества измельчения зерна можно уменьшить количество корма, затраченного на получение килограмма привеса животного, что обеспечивает снижение себестоимости мясомолочной продукции [2].

Для совершенствования процесса измельчения зерна предложен способ, при котором зерно измельчают в две стадии. На первой стадии осуществляют деформацию зерна со сдвигом, вращая вальцы с разными окружными скоростями, исключая компрессионное сжатие зерна, а на второй – осуществляют измельчение зерен, подавая их на ротор молоткового измельчителя с вертикальной осью вращения [3].

Комбинация двух измельчителей позволяет подбирать оптимальные режимы работы каждой из стадий, обеспечивая наименьшие удельные энергозатраты и требуемый фракционный состав. Данный способ можно применить как при разработке и создании нового оборудования для измельчения зерна, так и при использовании вальцовых и молотковых измельчителей из существующего парка машин Республики Беларусь.

Для подтверждения эффективности предложенного способа измельчения и оптимизации технологических параметров оборудования, был проведен эксперимент по определению влияния межвальцового зазора первой стадии измельчения и диаметра отверстий в сите второй стадии измельчения на производительность  $Q$ , т/ч; удельные энергозатраты  $q$ , кВт·ч/т; степень измельчения  $\lambda_{изм}$ ; средневзвешенный размер частиц  $L_s$ , мм; однородность измельченного продукта (коэффициент вариации)  $V$ , %; показатель качества измельченного зерна  $K$ . 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 сите, 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 сите второй стадии измельчения на:

- производительность –  $y_1 = 0,56 - 0,16X_1 + 0,06X_2 - 0,02X_1X_2 - 0,09X_1^2$ ;
- удельные энергозатраты –  $y_2 = 5,99 + 0,45X_1 - 1,57X_2 - 0,40X_1X_2 + 1,10X_1^2 + 0,37X_2^2$ ;
- степень измельчения –  $y_3 = 2,17 - 0,25X_1 - 0,28X_2$ ;
- средневзвешенный размер частиц –  $y_4 = 1,53 + 0,17X_1 + 0,21X_2 + 0,05X_1X_2 + 0,05X_2^2$ ;
- однородность измельченного продукта –  $y_5 = 5,84 - 1,09X_1 - 1,39X_2$ .

Из функциональных показателей наиболее важным является показатель качества измельченного зерна, который определяется согласно ТКП 273-2010 по формуле:

$$K = \frac{\sum G_i}{G_0} 10^2, \tag{1}$$

где  $\sum G_i$  – масса фракции требуемого размера, г;

$G_0$  – общая масса пробы, г.

Требуемая фракция определяется видом животного и его возрастной группой. Анализ требований к качеству измельчения для приготовления комбикормов показал, что размер требуемой фракции измельченного зерна для различных видов животных составляет:

- для свиней – 0-2 мм (СТБ 2111-2010) и 0-3 мм (ГОСТ 13299-71; 9267-68; 16955-2015; 21055-2019);
- для КРС – 0-2 мм при откорме в животноводческих комплексах и 0-3 мм при откорме в хозяйствах (СТБ 1842-2008, ГОСТ 18221-2018);
- для перепелов, молодой сельскохозяйственной птицы, включая цыплят бройлеров – 0 - 3 мм (СТБ 1842-2008);
- для взрослой сельскохозяйственной птицы – 3,0-5,0 мм (СТБ 1842-2008).

На основании ряда исследований [4, 5] установлено, что для повышения усвояемости корма, определяющую фракцию желателно скорректировать: для свиней она должна составлять 0,1-2,0 мм; для КРС 1,0-3,0 мм; для молодняка птицы 1,0-3,0 мм. При расчете показателя качества зададим четыре варианта требуемой фракции. Это позволит получить уравнения, позволяющие учесть рекомендации по кормлению различных видов животных.

По экспериментальным данным получили адекватные регрессионные модели, описывающие влияние межвальцового зазора первой стадии измельчения и диаметра отверстий в сите второй стадии измельчения на показатели качества для различных видов животных (табл. 2).

Таблица 2. Уравнения регрессии, позволяющие определить показатель качества двухстадийного измельчения зерна

Требуемая фракция	Уравнение регрессии
0 – 2,0 мм	$y_6 = 81,70 - 3,04X_1 - 3,66X_2 + 9,19X_1^2$
0 – 3,0 мм	$y_7 = 99,50 - 0,30X_2 + 0,32X_1^2$
0,1 – 2,0 мм	$y_8 = 77,68 - 9,54X_1 - 11,83X_2 - 2,60X_1X_2 + 3,06X_1^2 - 2,72X_2^2$
1,0 – 3,0 мм	$y_9 = 80,92 + 2,70X_1 + 2,78X_2 - 3,00 X_1X_2 - 2,62X_1^2$

Применение полученных уравнений позволяет проводить многокритериальную оптимизацию двухстадийного измельчения зерна. Для этого следует воспользоваться методом математического программирования, заключающегося в решении задачи минимизации целевой функции при заданном ограничении. Расчет можно проводить при помощи компьютерной программы MS Excel, применяя встроенную надстройку «Поиск решения» [6].

Например, зададим в качестве целевой функции – снижение удельных энергозатрат и ограничивающей функции – показатель качества не менее 95 %, при размере требуемой фракции 0-2 мм. Тем самым будет обеспечено производство корма для свиней в соответствии СТБ 2111-2010 и КРС при откорме в животноводческих комплексах в соответствии с ГОСТ 18221-2018:

$$\begin{cases} y_2(q) \rightarrow \min \\ y_6(K_{0-2\text{мм}}) \geq 95 \% \\ -1 \leq x_i \leq +1 \end{cases} \tag{2}$$

В результате решения получим, что для обеспечения содержания не менее 95 % размера требуемой фракции в диапазоне 0-2,0 мм необходимо установить вальцы на первой стадии измельчения с зазором  $b = 0,50$  мм, а диаметр отверстия в сите на второй стадии измельчения –  $d=4,01$ мм. При этом удельные энергозатраты процесса измельчения составят  $q = 7,10$  кВт ч/т.

Для получения размера требуемой фракции 0-3 мм ( $y_7$ ) при ее содержании 95 %, обеспечивая производство корма для свиней в соответствии с ГОСТ 13299-71; 9267-68; 16955-2015; 21055-2019, КРС при откорме в хозяйствах в соответствии с СТБ 1842-2008, ГОСТ 18221-2018 и молодой сельскохозяйственной птицы, включая цыплят бройлеров в соответствии с СТБ 1842-2008 необходимо установить межвальцовый зазор на первой стадии измельчения  $b = 1,50$  мм, а диаметр отверстия в сите на второй стадии измельчения в размере  $d = 6,00$ мм. При этом удельные энергозатраты процесса измельчения составят  $q = 4,79$  кВт ч/т.

Применяя полученные уравнения, можно задать требуемое качество для различных видов животных. При этом в качестве целевой функции можно использовать различные функциональные показатели: удельные энергозатраты, производительность, однородность измельчения.

Заключение. Предложен способ двухстадийного измельчения зерна, включающий предварительное разрушение за счет воздействия на зерно вальцов и окончательное измельчение молотковым ротором с вертикальной осью вращения.

Установлены регрессионные модели, позволяющие установить зависимости технологических, функциональных и энергетических показателей двухстадийного измельчения зерна от межвальцового зазора на первой стадии измельчения и диаметра отверстий в сите на второй стадии, а также рациональные значения технологических параметров, обеспечивающих повышение показателя качества измельчения зерна со снижением удельных энергозатрат.

Список использованной литературы

1. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / В.А. Афанасьев [и др.]. – Воронеж: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт». – 2007. – 389 с.
2. Терешко, А. Уменьшаем издержки. Концепция прибыльного производства свинины / А. Терешко // Белорусское сельское хозяйство. – 2018. – № 11 (199). – 108 с.
3. Устройство для одновременного измельчения нескольких видов зерна и способ одновременного измельчения нескольких видов зерна: пат. № 23315 Респ. Беларусь, МПК В 02 С 4/06 / И.Н. Шило, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд; заяв. Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u20190073; заявл. 15.03.2019.; опубл. 28.02.2021 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2021.
4. Vukmirović, D. Importance of feed structure (particle size) and feed form (mash vs. pellets) in pig nutrition – A review / D. Vukmirović, R. Čolović, S. Rakita, T. Brlek, O. Đuragića, D. Solà-Oriol // Animal Feed Science and Technology. – Vol. 233. – November, 2017. – P. 133-144.
5. Parsons, A.S. Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase / A.S.Parsons, N.P. Buchanan, K.P. Blemings, M.E. Wilson, J.S. Moritz // Journal of Applied Poultry Research – Vol. 15. – July, 2006. – P. 245-255.
6. Сухарев, А.Г. Курс методов оптимизации: учеб. пособие / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 368 с.

УДК 338.43

**Кулагин С.Л.**

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск

**ИННОВАЦИИ И КАЧЕСТВО МОЛОКА КАК КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Одна из глобальных проблем человечества – продовольственная. Большую роль в ее решении играет молочная отрасль. В настоящее время в мире свыше 6 млрд. человек являются потребителями молока и молочных продуктов [4]. По прогнозным оценкам увеличение численности населения на планете к 2023 году до 8,7 млрд. человек будет сопровождаться спросом на молочную продукцию.

Молочное скотоводство в Республике Беларусь традиционно является стратегической отраслью сельского хозяйства. На его долю приходится почти 50 % материально денежных ресурсов, вкладываемых в развитие животноводства. В отрасли занято 22 % трудовых ресурсов и используется свыше 45 % всех вскармливаемых кормов. От реализации молока сельхозорганизации ежегодно получают почти 40 % выручки и свыше 50% прибыли от реализации сельскохозяйственной продукции.

Молочная продукция – важная статья экспортных доходов государства. На ее долю приходится свыше 40 %. Приоритет в экспорте молочной продукции, безусловно, сохранится в ближайшей и долгосрочной перспективе.

За последние годы в результате реализации Государственных и отраслевых программ по развитию молочной отрасли во всех сельхозорганизациях республики проведена реконструкция действующих молочно-товарных ферм и построены новые молочно-товарные комплексы, с использованием современного доильного оборудования лучших мировых («Westfalia», «DeLaval») и отечественных брендов («Унибокс», «Гомельагрокомплект») и др.