

Список использованных источников

1. Абашкин А. С. К совершенствованию средств механизации расселения трихограммы. А. С. Абашкин, Б. Б. Кику, А. И. Гончарук. // Трихограмма в защите растений. – М.: Агропромиздат, – 1988. – С. 93–103.
2. Аленчикова Т. Ф. Биологическая оценка качества работы расселителя трихограммы. Т. Ф. Аленчикова // Актуальные вопросы создания машин для внесения удобрений и защиты растений: сб. науч. тр. / Науч.-произв. объединение по с. х. машиностроению. – М., – 1988. – С. 65–68.
3. Инструкция по наземному механизированно расселения трихограммы / Ш. М. Гринберг, Л. П. Зильберг, Б. В. Пынзарь и др. – М., 1985.
4. Адамчук В. В. Обоснование дозатора летательных аппаратов для расселения трихограммы. В. В. Адамчук, С. А. Маранда // Механизация и электрификация сельского хозяйства: общегосударственный сборник / ННЦ «ИМЕСГ». – Глеваха, 2018. – № 7 (106). – С. 27–36.
5. Адамчук В. В., Беспилотные летательные аппараты в растениеводстве. В. В. Адамчук, С. А. Маранда, В. Г. Мироненко // Вестник аграрной науки / 2015 – № 8. – С. 35–39.
6. Мироненко В. Г. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве Украины. В. Г. Мироненко, С. А. Маранда // MOTROL Motorization and power industry in agriculture / – Lublin, – 2011. – Т. 13 В. – С. 25–35.
7. Маранда С. А. Экспериментальная проверка дозирующее-высевающего устройства беспилотного летательного аппарата для расселения трихограммы. С. А. Маранда // Механизация и электрификация сельского хозяйства : общегосударственный сборник / ННЦ «ИМЕСГ». – Глеваха, 2019. – № 9 (108). – С. 61–71.
8. Испытания сельскохозяйственной техники «Опрыскиватели, опылители и рассеиватели энтомофагов, машины для приготовления и транспортировки рабочей жидкости. Методы испытаний». СОУ 74.3.37.137:2004. – Киев: Минагрополитики Украины, – 2006.

УДК 631.363.2

Поступила в редакцию 29.10.2019
Received 29.10.2019

Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд

*УО «БГАТУ»
г. Минск, Республика Беларусь*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований. Представлены оптимальные режимы работы оборудования. Приводятся результаты производственной проверки и экономической оценки применения двухстадийного измельчения зерна.

Ключевые слова: двухстадийное измельчение, вальцовый измельчитель, молотковый измельчитель, концентрированные корма, измельчение зерна.

N. A. Vorobiev, S. A. Drozd

*BSTU
Minsk, Republic of Belarus*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE METHOD FOR TWO-STAGE GRINDING

The article presents the results of experimental studies. Presents the optimal modes of operation. The results of production testing and economic evaluation of the application of two-stage crushing of grain.

Keywords: two-stage grinding, roller shredder, hammer shredder, concentrated feed, grain grinding.

Введение

В Республике Беларусь в среднем за последние 10 лет собирается ежегодно 8,1 млн. тонн зерна, из них около 3 млн. тонн идут на кормовые цели, в том числе для производства комбикормов [1]. Важнейшей технологической операцией производства комбикорма является измельчение зерна [2].

Применяемые в настоящее время технические средства для измельчения зерна имеют высокие удельные энергозатраты [3].

Данный недостаток может быть решен путем применения новых способов измельчения, одним из которых является комбинированное воздействие различными рабочими органами, например, двухстадийным измельчением. Нами был предложен способ измельчения зерна, в котором процесс измельчения зерна проходит за две ступени, где на первой ступени осуществляют деформацию зерна сжатием и сдвигом до величины, исключающей компрессионное сжатие с последующим разрушением зерна ударом на второй ступени [4].

Основная часть

Предложенный способ реализован устройством, состоящим из вальцового измельчителя на первой стадии измельчения и служащего для создания дефектной структуры в зерне и молоткового измельчителя с вертикальной осью вращения на второй стадии измельчения служащего для окончательного измельчения зерна. Подобное расположение молоткового ротора позволяет осуществлять ввод зерна в молотковую секцию одновременно в нескольких загрузочных отверстиях, что позволит значительно увеличить подачу зерна и обеспечивает равномерную нагрузку на измельчающий механизм. При этом для обеспечения работы оборудования производительность второй стадии измельчения должна быть больше первой [4].

Наибольшее влияние на процесс измельчения оказывает параметр – величина межвальцового зазора (b), для первой стадии измельчения, и параметр – диаметр отверстий в решетке (d), для второй стадии измельчения. Для получения оптимальных значений выше приведенных параметров и подтверждения эффективности предложенного способа измельчения зерна были проведены экспериментальные исследования.

Параметры оценки функциональных показателей процесса двухстадийного измельчения зерна были приняты в соответствии с ТКП 273- 2010 [5].

Для определения 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 ; (L_s) средневзвешенный размер частиц y_4 , мм; (V) однородность измельченного продукта (коэффициент вариации) y_5 , %; (K) показатель качества измельченного зерна (для свиней – $y_6(K_{св})$; для КРС – $y_7(K_{крс})$; для птицы в возрасте до 17 недель – $y_8(K_{пт})$), % при двухстадийном измельчении зерна ячменя с влажностью менее 14% был проведен двухфакторный эксперимент:

$$(Q, q, \lambda_{изм}, L_s, V, K) = f(b, d). \quad (8)$$

Уровни и значения факторов, которые варьировались при проведении эксперимента, приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 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 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 – $y_3 = 2,17 - 0,25X_1 - 0,28X_2$; средневзвешенного размера частиц – $y_4 = 1,53 + 0,17X_1 + 0,21X_2 + 0,05X_1X_2 + 0,05X_2^2$; однородность продукта (коэффициента вариации) – $y_5 = 5,84 - 1,09X_1 - 1,39X_2$; показателя качества измельченного зерна для откорма

свиней $-y_6 = 77,68 - 9,54X_1 - 11,83X_2 - 2,60X_1X_2 + 3,06X_1^2 - 2,72X_2^2$; КРС $-y_7 = 18,41 + 7,29X_1 + 8,91X_2 + 0,16X_1X_2 - 3,57X_1^2 + 0,87X_2^2$; птицы в возрасте до 17 недель $-y_8 = 80,92 + 2,70X_1 + 2,78X_2 - 3,00X_1X_2 - 2,62X_1^2$.

Для выбора оптимальных параметров значения межвальцового зазора первой стадии измельчения и диаметра отверстия в решетке второй стадии измельчения необходимо решение компромиссной задачи путем многокритериальной оптимизации. В качестве критерия оптимизации будут выступать удельные энергозатраты, которые должны стремиться к минимуму и коэффициент качества измельчения зерна для откорма свиней, который будет выставляться в диапазоне 60%...95%. Целевая функция с функциональными и факторными ограничениями достигает минимума при условии:

$$\begin{cases} y_2(q) \rightarrow \min \\ y_6(K_{св}) = 60\% \dots 95\% \\ -1 \leq x_i \leq +1 \end{cases} \quad (9)$$

Данные многокритериальной оптимизации измельчения зерна при производстве корма для свиней представлены в таблице 2 вместе с сравнительными данными по измельчению зерна молотковым измельчителем одностадийным способом.

Т а б л и ц а 2. – Данные по оптимизации двухстадийного измельчения зерна при производстве кормов для откорма свиней и сравнительный анализ с одностадийным

Показатель качества не менее $K_{св}$, %	Двухстадийное измельчение				Молотковое измельчение		Отличие +/-	
	Q , т/ч	q , кВт·ч/т	Оптимальные режимы		Q , т/ч	q , кВт·ч/т	Q , %	q , %
			b , мм	d , мм				
95	0,55	7,55	0,51	3,52	Не обеспечивает		-	-
90	0,63	6,61	0,52	4,49	Не обеспечивает		-	-
85	0,65	6,08	0,68	4,87	Не обеспечивает		-	-
80	0,65	5,65	0,86	5,17	Не обеспечивает		-	-
75	0,66	5,29	1,01	5,49	Не обеспечивает		-	-
70	0,65	5,01	1,14	5,81	0,28	8,9	+132	-44
65	0,64	4,80	1,35	6,00	0,29	7,6	+121	-37
60	0,56	4,79	1,48	6,00	0,30	7,7	+87	-38

Анализ данных представленных в табл. 2 позволил сделать выводы о целесообразности измельчения зерна двухстадийным способом с получением показателя качества измельчения не ниже 70%.

Также получено экспериментальное значение целевой функции минимизации удельных энергозатрат измельчения зерна при приготовлении кормов для птицы в возрасте до 17 недель $y_{1min}(q_{min}) = 4,8$ кВт·ч/т и показателем качества измельчения $y_8(K_{пт}) = 83\%$, которые одновременно выполняют все принятые ограничения. Приведя в размерную форму значения факторов, были получены следующие их оптимизационные значения: межвальцовый зазор первой ступени измельчения $b = 1,5$ мм; диаметр отверстий в решетке $d = 6,0$ мм. Для сравнения молотковое измельчение 75% зерна одностадийным способом при значении показателя качества измельчения для откорма птицы в возрасте до 17 недель дает следующие значения: удельных энергозатрат – 7,5 кВт·ч/т.

Применение двухстадийного измельчения позволяет снизить удельные энергозатраты процесса на 36% – по сравнению с одностадийным перемолом зерна на корм свиньям и птицы в возрасте до 17 недель. При этом наблюдается рост производительности второй ступени измельчения более чем в два раза и рост показателей качества измельчения зерна на 13% и 8% соответственно для свиней и птицы в возрасте до 17 недель. Мало того, двухстадийное измельчение позволит повысить показатель качества перемола более чем на 27% по сравнению с одностадийным молотковым измельчением.

Наши исследования по измельчению различных зерновых культур с влажностью до 14% двухстадийным способом показали снижение удельных энергозатрат и повышение показателя качества по сравнению с молотковым измельчением: для зерна ржи удельные энергозатраты снизились с 8,6 до 5,4 кВт·ч/т, показатель качества вырос с 67% до 82%; для зерна тритикале с 7,9 до 5,1 кВт·ч/т и с 70% до 85% соответственно, для зерна овса с 10,4 до 9,2 кВт·ч/т и с 60% до 77% соответственно.

Для оценки фактического экономического эффекта от использования технологии и оборудования для двухстадийного измельчения зерна была проведена его производственная проверка на базе Минского районного унитарного предприятия «Агрокомбинат «Ждановичи».

Сопоставление функциональных показателей по работе модуля одностадийного молоткового и двухстадийного измельчения, по результатам производственной проверки, показали снижение удельных энергозатрат с 10,5 до 5,8 кВт ч/т, что составляет 44,7%, при этом количество требуемой фракции в измельченном зерне (выражаемое через показатель качества измельчения) повысилось с 71,2% до 81,9%, что составляет 10,7%.

Годовой экономический эффект от внедрения технологии двухстадийного измельчения зерна в комбикормовом цеху МРУП «Агрокомбинат «Ждановичи» составляет более 10,5 тысяч рублей. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет 1,34 года. Удельный экономический эффект от внедрения двухстадийного измельчения зерна составляет 0,518 руб/т.

Заключение

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

Установлены регрессионные модели, описывающие зависимость: производительности, удельных энергозатрат, степени измельчения, средневзвешенного размера частиц, однородности продукта (коэффициента вариации), показателя качества измельчения от межвальцового зазора первой стадии измельчения и диаметра отверстий в решетке второй стадии измельчения.

Установлены оптимальные значения межвальцового зазора и диаметра отверстия в решетке, обеспечивающие различные значения показателя качества измельчения при производстве комбикормов для откорма свиней и сельскохозяйственной птицы в возрасте до 17 недель.

Приведены результаты производственной проверки, показывающие снижение удельных энергозатрат на 44,7% и увеличение показателя качества измельчения с 71,2% до 81,9%.

Список использованных источников

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / И. В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019 – 229 с.
2. Шило, И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И. Н. Шило, В. Н. Дашков. – Минск : БГАТУ, 2003. – 183 с.
3. Дашков, В. Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В. Н. Дашков, Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23–28.
4. Воробьев, Н. А. Способ и устройство для двухстадийного измельчения зерна / Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК материалы междунар. науч.-практ. конф. «Белагро-2019 – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 267-268.
5. ТКП 273-2010. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных показателей. [Текст]. – Введ. 01.06.2011. БелГИСС, 2011. – 48 с.