

Совершенствование методики исследования роторного диспергатора

А.К. Курманов, д.т.н., Т.И. Исинтаев, к.т.н, Костанайский ГУ; К.С. Рыспаев, соискатель, Костанайский ИЭУ

Современный этап развития животноводства основан на производстве новых высококачествен-

ных легкоусвояемых поликомпонентных продуктов с высокой пищевой и биологической ценностью.

Скотоводство – ведущая отрасль животноводства, и одним из решающих факторов получения максимальной и качественной продукции является

сохранение и выращивание здорового поголовья молодняка крупного рогатого скота. За последние годы наука о кормлении животных накопила большое количество экспериментальных данных о влиянии различных питательных веществ, а также незаменимых аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов, антибиотиков, гормонов, ферментов и других факторов на обмен веществ, эффективность использования корма. Эти данные служат для дальнейшего совершенствования теории и практики кормления сельскохозяйственных животных. Они обеспечивают реализацию генетического потенциала продуктивности животных. Чем выше уровень кормления, тем выше продуктивность животных и ниже затраты корма на единицу продукции. Для повышения эффективности кормов применяется диспергация, которая наряду с повышением питательной ценности молочных и комбинированных продуктов улучшает их качество, а именно консистенцию и вкус. Улучшение вкусовых характеристик продуктов при диспергации связано с уменьшением размеров частиц дисперсных фаз и соответственным увеличением суммарной площади их поверхности. В результате интенсифицируется их воздействие на вкусовые рецепторы, что усиливает вкусовое восприятие [1].

Сущность процесса диспергации заключается в дроблении частиц дисперсной фазы до размеров, равных нескольким микрометрам, и их равномерном распределении в пространстве (перемешивании) [2].

Эффективность процесса диспергации можно оценить, подвергнув образец молока отстаиванию или центрифугированию и замерив жирность полученных фракций.

Цель данного исследования заключалась в выявлении механизма диспергации частиц ЗЦМ (заменителя цельного молока) механическим воздействием смеси. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Анализ различных этапов процесса диспергации полученных компьютерной обработкой материалов эксперимента с целью выявления механизмов дробления частиц дисперсной фазы.

2. Определение параметров обработки ЗЦМ путём их измерения.

Методика экспериментальных исследований предусматривает:

1. Определение качества разделения смеси на фракции от частоты вращения ротора, продолжительности обработки смеси, количества окон внутренней обечайки статора и концентрации ЗЦМ в смеси.

2. Изучение влияния комплекса факторов на эксплуатацию роторного диспергатора, предназначенного для переработки ЗЦМ, и определение оптимальных режимов его работы.

3. Возможность с помощью сравнительных экспериментов установить влияние одного фактора на качество диспергации при постоянных трёх факторах.

4. Оценку качества измельчения смеси и степени её однородности.

В соответствии с принятой методикой экспериментальные исследования включали: создание дисперсионной среды, генерирование механических возмущений и воздействий на ЗЦМ. Установка оснащалась средствами измерения параметров создаваемых возмущений.

Результаты измерений обрабатывались как вручную, так и на компьютере.

Схема экспериментальной установки, созданной для достижения поставленных целей, представлена на рисунке 1.

В качестве плана реализации эксперимента выбран некомпозиционный план Бокса-Бенкина для четырёх факторов, варьируемых на четырёх уровнях [3]. В качестве критерия оптимизации выбрали качество измельчения смеси, которое количественно оценивалось толщиной слоя выделенного жира при центрифугировании и измерялось в мм.

При использовании плана эксперимента сделали кодировку параметров. Замеры качества измельчения смеси проводили при 3-кратной повторности для всех опытов.

Результаты исследований. На основании результатов исследований, проведённых по частной методике, получено уравнение регрессии в зависимости от оборотов ротора (X_1), продолжительности обработки смеси (X_2), количества окон внутренней обечайки статора (X_3) и концентрации ЗЦМ в смеси (X_4). Критерием отклика эксперимента является качество измельчения смеси (y):

$$y = 3,2 - 0,569X_1 - 0,093X_2 + 0,356X_3 + 0,10X_4 - 1,9875X_1X_2 - 0,595X_1X_4 + 0,195X_2X_3 + 0,18X_2X_4 - 0,309X_1^2 - 0,3315X_2^2 + 1,2335X_3^2$$

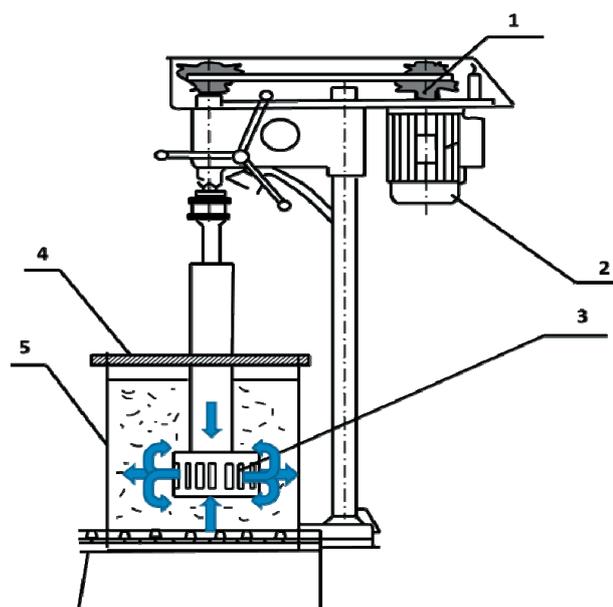


Рис. – 1 – вариатор скоростей; 2 – электродвигатель; 3 – роторный диспергатор; 4 – крепление корпуса диспергатора; 5 – ёмкость

Доверительные интервалы приняты по табличному значению критерия Стьюдента, адекватность проверена по табличному значению критерия Фишера [3]. Адекватность моделей подтверждается с вероятностью $P = 0,99$ при $F_T > F_R$ (при $F_T = 19,42$; $F_R = 1,32$). Модель адекватна.

Проведённый эксперимент, адекватность полученного уравнения регрессии подтвердили работоспособность выбранных параметров измельчения материала, т.е. создания однородной смеси ЗЦМ с заданными параметрами обработки.

Для обработки результатов эксперимента была применена программа «MathCAD12». Критерием отклика эксперимента являлось качество измельчения смеси.

На основании анализа полученных данных при использовании компьютерной программы определены значения в кодированном варианте.

При оптимальном значении критерия оптимизации являются следующие значения: частота вращения ротора $258,5 \text{ с}^{-1}$, продолжительность обработки 320 с., количество окон внутренней обечайки статора 12 шт. и концентрация ЗЦМ в смеси $0,110 \pm 0,005 \text{ кг}$.

Степень однородности смеси (λ) в проведённых экспериментах определялась по методике Г.М. Кухты [4]. Результаты статистической обработки данных степени однородности приведены в таблице 1.

Степени однородности смеси: $\lambda_{\text{ср.}} = 91\%$; $\lambda_{\text{min}} = 83\%$; $\lambda_{\text{max}} = 98\%$.

$\lambda < 85\%$ – в 2 экспериментах смесь плохого качества, что составляет 7% от общего количества экспериментов; $85\% < \lambda < 90-92\%$ – в 8 экспериментах смесь удовлетворительного качества, что составляет 30% от общего количества экспериментов; $\lambda > 92\%$ в 17 экспериментах, что составляет 63% от общего количества экспериментов.

Установлено, что всего в 93% проведённых экспериментах однородность смеси удовлетворительного и хорошего качества.

1. Коэффициенты корреляции экспериментальных исследований

Коэффициент корреляция	
$y(x_1)$	0,99
$y(x_2)$	0,98
$y(x_3)$	0,80
$y(x_4)$	0,98

2. Показатели экономической эффективности применения роторного диспергатора

Показатель	Серийный АВМ-0,8	Экспериментальный роторный диспергатор
Производительность, т/ч	0,275	0,313
Эксплуатационные расходы, руб/кг	74,79	51,23
Затраты труда, чел/ч/кг	2,00	2,00
Приведённые затраты, руб/кг	86,89	59,67
Экономический эффект, руб/кг	–	27,12
Срок окупаемости машины, лет	–	1,7 года

Графическая реализация и коэффициенты корреляции экспериментальных исследований подтвердили теоретические выводы (табл. 1).

Экспериментальный роторный диспергатор внедрён в производство. В таблице 2 приведены показатели экономической эффективности применения роторного диспергатора.

Выводы. 1. Проведённый анализ существующих исследований по приготовлению диспергированных структурированных смесей, разработанная классификация технических решений позволили обосновать новую конструкцию роторного диспергатора для приготовления заменителя цельного молока. Такое устройство и технология на её основе обладают преимуществом перед существующими и являются актуальными для современного сельского хозяйства при выращивании молодняка крупного рогатого скота.

2. Теоретические и экспериментальные исследования позволили получить математическую модель процесса приготовления смеси ЗЦМ с вероятностью 0,99 в зависимости от частоты оборота ротора, продолжительности обработки смеси, количества окон внутренней обечайки статора, концентрации ЗЦМ в смеси.

3. Для определения качества приготовления смеси в лабораторных условиях были разработаны:

- стенд для исследования параметров роторного диспергатора в зависимости от различных уровней варьирования;
- стенд для определения качества приготовления смеси ЗЦМ методом центрифугирования.

4. Разработанная методика позволила определить технологические параметры – качество измельчения смеси ЗЦМ, степень её однородности и концентрацию, конструктивно-режимные параметры – частота оборота ротора, продолжительность обработки смеси, количество окон внутренней обечайки статора.

5. Выбранный некомпозиционный план Бокса-Бенкина на четырёх уровнях дал возможность получить математическую модель – уравнение регрессии, в зависимости от частоты оборота ротора, продолжительности обработки смеси, количества окон внутренней обечайки статора, концентрации ЗЦМ в смеси. Оптимальные значения получены при частоте вращения ротора $258,5 \text{ с}^{-1}$, продолжительности обработки смеси 320 с., количестве окон

внутренней обечайки статора 12 шт. и концентрации ЗЦМ в смеси $0,110 \pm 0,005$ кг.

6. С помощью поисковых исследований получены оптимальные режимы работы центрифуги: частота вращения ротора (628 с^{-1}), время центрифугирования – 300 с., которые обеспечивали наиболее оптимальное определение качества приготовления смеси ЗЦМ в экспериментальных исследованиях.

7. Разработанные исходные требования на изготовление и проектирование роторного диспергатора позволяют изготовить роторный диспергатор со следующими параметрами: средний диаметр ротора 50 мм, зазор между режущими кромками не более 0,5 мм, ширина прорезей не более 4 мм, высота прорезей 12 мм, число прорезей 12 шт., толщина стенок и образующих не более 2 мм.

8. Годовой экономический эффект от внедрения роторного диспергатора составил 27120 руб. на т ЗЦМ за счёт снижения приведённых затрат на 31,3%, эксплуатационных затрат – на 31,5% при высоком качестве приготавливаемой смеси. Срок окупаемости роторного диспергатора – 1,7 года.

Литература

1. Воропаева В.С. Производство заменителей цельного молока для сельскохозяйственных животных. М.: Пищевая промышленность, 1977. 130 с.
2. Малахов Н.Н., Плаксин Ю.М., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. Орел: Орловский государственный технический университет, 2001. 687 с.
3. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение, София: Техника, 1980. 237 с.
4. Кухта Г.М. Технология переработки и приготовления кормов. М.: Колос, 1978. С. 240–286.