

Состояние вопроса производства комбикормов с наночастицами и пути повышения эффективности устройств для его осуществления

А.Г. Белов, аспирант, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Для успешного развития животноводства важнейшим условием является создание прочной кормовой базы, совершенствование средств механизации и автоматизации процесса производства и переработки кормов.

Физиологические требования животного сводятся к тому, чтобы корм был питательным, легко переваривался, охотно поедался. Корм не должен содержать вредных примесей, влияющих на здоровье животного.

Один из эффективных путей использования кормового сырья связан прежде всего с рациональными техническими приёмами его обработки. Современные технологии приготовления кормов дают возможность сохранить питательность, повысить усвояемость животными, также их можно обогащать в процессе обработки различными добавками [1–4].

Последнее десятилетие отметилось активными разработками инновационных нанотехнологий. Наночастицы открывают удивительный мир не столько в силу своих чрезвычайно малых размеров (один нанометр в 50 000 раз меньше толщины обыкновенного человеческого волоса), сколько в силу своих необыкновенных свойств: механических, физических, тепловых, оптических, электрических, химических. Не секрет, что широкое распространение и общественное признание достижений нанотехнологий сдерживается опасениями, обусловленными возможным наличием у наночастиц и наноматериалов потенциально неблагоприятных эффектов для здоровья человека. В настоящее время в НИИ питания РАМН проводится комплекс исследований по оценке безопасности важнейших, с позиций перспектив их использования в пищевой промышленности, наноматериалов в экспериментах на лабораторных животных при пероральном введении [5].

В сельском хозяйстве нанотехнологии используют при создании пестицидов и удобрений, но особый научный интерес представляют комбикорма с наночастицами. Такие комбикорма являются наиболее сбалансированными по дефицитным микроэлементам, что позволяет значительно снизить расход кормовых и лекарственных добавок, обеспечить их более полное и эффективное усвоение животными и в конечном счёте поможет решить задачи по увеличению продуктивности и повышению качества продукции животноводства [6, 7].

Наночастицы не только обладают потенциалом восполнять пробел в рационе животного, но и

могут сделать это, не снижая эффективности действия антибиотиков.

Включение наночастиц в корм для скота или воду может принести пользу как качеству получаемой продукции, так и циклу производства.

Наночастицы благодаря развитой поверхности обладают повышенной биологической активностью. Они способны проникать сквозь мембраны клеток и могут служить отличным транспортным средством для биологически активных веществ (БАВ), которые добавляются в комбикорма, чтобы сделать их более полезными.

При производстве комбикормов наиболее сложной с технической точки зрения является реализация операции равномерного внесения наночастиц в основной поток с дальнейшим распределением во всём объёме продукта [8, 9]. При смешивании компонентов комбикормов с наночастицами традиционными методами в вибро, роторных, пневмо, лопастных и других смесителях нет возможности достичь необходимой однородности продукта. Это обуславливается огромным расхождением в размерах частиц смешиваемых компонентов [10, 11].

В настоящее время наиболее эффективный метод внесения наночастиц в комбикорма предусматривает в своей сущности предварительное кавитационное диспергирование водной суспензии наночастиц с дальнейшим распылением над комбикормовым сырьём,двигающимся по ленточному транспортёру на следующий этап обработки в виде грануляции или экструзии [12, 13].

Существенным недостатком данного способа является ограниченность применения наночастиц в связи с тем, что некоторые из них проявляют реакционную способность при повышенной влажности, а также повышенные затраты на дальнейшую сушку комбикорма.

Цель исследования – разработка конструкции оборудования для смешивания компонентов комбикормов с наночастицами.

В этой связи первоначально были проведены теоретические исследования существующих способов и оборудования по смешиванию комбикормов. В комбикормовом производстве качественное смешивание является одним из наиболее значимым и трудно реализуемым производственным этапом.

С зоотехнической точки зрения важно не только ввести в состав кормосмеси предусмотренные рационом компоненты в требуемом

соотношении, но и необходимо, чтобы все они были равномерно распределены во всем объеме смеси. Однородность смеси обеспечивает одинаковую питательную ценность корма во всех частях его объема. Использование для кормления животных неоднородных по своему составу смесей значительно снижает их продуктивное действие. Особенно важно распределять в массе кормосмеси компоненты, вводимые в небольших количествах и имеющие высокую кормовую ценность или биологическую активность, в частности, наночастицы. Равномерность распределения компонентов обеспечивается их смешиванием [14].

На эффективность смешивания влияют физико-механические свойства компонентов. Чем ближе по этим признакам свойства частиц, тем быстрее происходит их смешивание. Частицы компонентов, имеющих разные размеры, разную плотность и т.д., смешиваются дольше при прочих равных условиях. Дольше происходит смешивание, если какие-либо компоненты находятся в смеси в малых количествах [15]. Экспериментально установлено, что равномерное распределение одного компонента свидетельствует о полноте смешивания всей массы. Эффективность смешивания оценивают по коэффициенту вариации распределения компонента-индикатора. Коэффициент вариации практически определяют следующим образом: из смеси в нескольких местах отбирают пробы (не менее 10), которые анализируют на содержание компонента-индикатора. Затем, зная заданное количество компонента (по рецепту) или определив среднее арифметическое значение, рассчитывают коэффициент вариации.

Смешивание, как и дозирование, может быть непрерывным и периодическим. При непрерывном смешивании компоненты постоянно подаются в смеситель и из него постоянно выдвигается готовая смесь. При периодическом смешивании в смеситель поступают заранее отмеренные порции компонентов, которые смешивают в течение определённого времени, затем выдвигается порция смеси [16].

Различают три механизма смешивания: конвективное – перемещение групп смежных частиц из одного места смеси в другое посредством скольжения слоев; диффузионное – характеризуется беспорядочным движением отдельных частиц в ограниченном пространстве, при этом каждая частица имеет равные возможности отклониться в любую сторону; смешивание сдвигом – смежные слои частиц движутся относительно друг друга.

В разных типах смесителей преобладает тот или иной механизм смешивания. Но, как правило, в процессе смесеобразования в большей или меньшей степени одновременно участвуют все три механизма. Наряду с процессами, приводящими к равномерному распределению ком-

понентов, особенно на заключительной стадии смешивания, существует сегрегация (расслоение) частиц, отличающихся физико-механическими свойствами. Смешивание теряет смысл, когда процессы распределения частиц и их сегрегация уравниваются [15]. Окончание процесса смешивания следует устанавливать в тот момент, когда явление сегрегации ещё не начало заметно проявляться.

Учёные обратились к различным вопросам, касающимся процесса образования кормосмеси. В результате исследований был сделан вывод, что процесс смешивания является сложным механическим процессом, механизм действия которого зависит главным образом от конструкции смесителя [17].

Большинство работ по изучению процесса смешивания проводилось на сыпучих кормах или в вязких средах [18, 19]. Широко исследовалось приготовление лопастными смесителями кормосмеси для крупного рогатого скота. Исследователями было установлено, что мощность, потребляемая на привод смесителя, затрачивается на преодоление сил сопротивления перемещению, имеет вид:

$$N = N_{и} + N_{л} + N_{к} + N_{в} + N_{з}, \quad (1)$$

где $N_{и}$, $N_{л}$, $N_{к}$, $N_{в}$, $N_{з}$ – мощности, затрачиваемые соответственно на преодоление сил инерции, трения смеси о лопасть, трения смеси о поверхность корпуса, внутреннего трения массы и защемления массы между корпусом и лопастью.

Причём составляющая имеет особенно большой вес при смешивании вязких кормосмесей, включающих грубые корма. Однако никаких уравнений для определения значений авторами не представлено.

Процесс смешивания обусловлен большим числом переменных факторов, что вызывает трудности в определении различных параметров смесительных устройств и установлении закономерностей протекания данного процесса. Поэтому большинство работ по изучению смешивания носят экспериментальный характер. Анализ опубликованных по изучаемой проблеме источников показал, что исследованию процесса смешивания присущ эмпиризм, ограничивающий распространение полученных результатов на рабочие процессы машин других конструкций. Выявлены общие факторы, оказывающие существенное влияние на процесс смешивания в устройствах с лопастными рабочими органами. К таким факторам относятся:

- частота вращения вала с рабочими органами (лопастями) ω ;
- высота смесителя H ;
- угол атаки лопасти γ ;
- ширина лопасти b ;
- количество лопастей $k_{л}$;

– скорость движения перемешиваемых частиц v_c ;

– физико-механические свойства перемешиваемых кормов.

По проведённому обзору источников видно, что при изучении процесса смешивания необходимо учитывать указанные факторы для создания модели, адекватно описывающей процесс смешивания комбикормовых компонентов. В качестве параметров оценки эффективности процессов смешивания следует использовать удельные затраты энергии на проведение процесса и качественные показатели смеси, в частности, коэффициент вариации распределения компонента-индикатора.

В дальнейшем было изучено влияние якорного и пропеллерного рабочих органов, а также неподвижной гребёнки на удельные затраты энергии при проведении процесса на коэффициент вариации распределения поваренной соли, измельчённой до размеров менее 10^{-5} м.

Материал и методы исследования. В качестве материалов для исследования использовали измельчённую пшеницу, овёс, ячмень и поваренную соль.

Смешивание производили в лабораторной установке со сменными рабочими органами (якорным и пропеллерным) и возможностью установки гребёнки для интенсификации процесса смешивания. Измельчение соли производили на лабораторной установке для сверхтонкого измельчения.

Определяли степень однородности распределения соли, которую рассчитывали по формуле:

$$C_o = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |B_{cp} - B_i|}{B_{cp}}, \quad (2)$$

где N – количество отобранных проб, принималось $N = 10$;

$$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i}{N}.$$

Места отбора проб определяли по методике, изложенной в литературе [18, 19]. Определение количества соли в каждой пробе проводили аргентометрическим методом.

Результаты исследования. Исследовался процесс приготовления смеси в составе пшеницы (10 %), овса (19 %), ячменя (70 %), поваренной соль (1 %) при использовании якорной и пропеллерной мешалок и при наличии или отсутствии гребёнки.

В ходе исследования измеряли степень однородности и удельные затраты энергии на проведение процесса. Результаты исследования представлены в таблице 1.

1. Результаты исследования

Показатель	Якорная мешалка без гребёнки	Пропеллерная мешалка без гребёнки	Якорная мешалка с гребёнкой	Пропеллерная мешалка с гребёнкой
Степень однородности	0,7±0,008	0,901±0,008	0,78±0,008	0,952±0,008
Удельные затраты энергии на смешивание, Вт/т	38,8±0,8	82,5±0,8	45,8±0,8	92,5±0,8

Анализ полученных данных показывает, что смешивание при использовании пропеллерной мешалки с установленной гребёнкой происходит наиболее интенсивно, степень однородности при этом составляет 95 %, однако при этом удельные затраты энергии наиболее высокие – свыше 92 Ватт на тонну.

Применение якорной мешалки как с применением гребёнки, так и без неё – менее эффективно. Степень однородности при этом ниже 80 %, однако энергозатраты значительно ниже и составляют менее 46 Ватт на тонну.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что целесообразно использовать при смешивании как пропеллерную, так и якорную мешалку, а также устанавливать гребёнку.

Таким образом, в установке для смешивания необходимо наличие всех трёх элементов рабочих органов: якорного, пропеллерного, гребёнки. Причём так как якорный рабочий орган является тихоходным, а пропеллерный быстроходным, необходима их установка на разных валах.

Вывод. Разработанная конструкция смесителя с оптимальной компоновкой рабочих органов позволяет наиболее эффективно смешивать комбикормовое сырьё с наночастицами.

Литература

- Белов А.Г., Попов В.П., Зинюхин Г.Б. Применение нанотехнологий в производстве комбикормов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: матер. Всерос. науч.-методич. конф. (с междунар. участ.). Оренбург, 2018. С. 2085–2087
- Исследование технологии производства комбикормов с наночастицами / А.Г. Белов, В.А. Шахов, А.П. Козловцев [и др.] // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. Оренбург, 2018. С. 68–71.
- Пат. на изобретение № 2685674. Роторно-вибрационный смеситель / А.Г. Белов, В.П. Попов, В.А. Шахов. Оpubл. 22.04.2019. Бюл. № 4.
- Рыбалкина М.М. Нанотехнологии для всех. Nanotechnology News Network, 2005. 444 с.
- Пат. на изобретение RUS № 2561745 С1. Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода / В.И. Квашенников, И.В. Герасименко, А.П. Козловцев, В.А. Шахов, Г.С. Коровин, А.А. Панин. Заявл. 15.04.2014; опубл. 09.10.2015.
- Шахов В.А., Мартынова Д.В., Попов В.П. Разработка математической модели экструзии зернового белково-клетчатко-крахмалосодержащего сырья на шнековом пресс-экструдере // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 64–67.
- Кинематические и динамические аспекты взаимодействия интргидиентных частиц с функциональными элементами рабочей камеры измельчителя зернового материала / В.А. Шахов, Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков [и др.] // Известия Оренбургского

- государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 87–89.
8. Идентификация математической модели процесса экструзии зернового сырья на шнековом пресс-экструдере / Д.В. Мартынова, В.П. Попов, Г.А. Сидоренко [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 96–99.
 9. Теоретическое обоснование энерго- и ресурсосберегающей конструкции шнекового пресс-экструдера для производства высококачественных кормовых продуктов / В.П. Попов, Д.В. Мартынова, С.В. Антимонов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 107–109.
 10. Определение количественных параметров воздушно-продуктового слоя в рабочей камере измельчителя / М.В. Чкалова, В.А. Шахов, Е.М. Бурлуцкий [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 12. Т. 31. С. 57–61.
 11. Пушко В.А. Современные инновационные подходы приготовления микродобавок в специализированной установке / В.А. Пушко, В.А. Шахов, И.Г. Бойко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 4. Т. 32. С. 65–68.
 12. Шахов В.А., Чкалова М.В., Павлидис В.Д. Совершенствование техники и технологии приготовления кормосмеси с использованием ультрадисперсных материалов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: матер. междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения академика М.Е. Мацепуро. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. С. 192–196.
 13. Пат. на изобретение № 2686635. Линия производства экструдированных кормов / А.Г. Белов, В.П. Попов, В.А. Шахов. Оpub. 29.04.2019. Бюл. № 4.
 14. Кнорр А.Ф. Технология ввода в комбикорм и зоотехническая эффективность цист артемии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2006.
 15. Сысоев В.Н., Толпекин С.А. Оборудование перерабатывающих производств. Самара: РИЦ СГСХА, 2013. 174 с.
 16. Ромадина Ю.А., Волкова А.В. Теоретические основы технологии переработки продукции растениеводства: учебное пособие. [Электронный ресурс]. Самара: РИЦ СГСХА, 2012. 308 с.
 17. Ганин Е.В. Совершенствование процессов измельчения и смешивания для получения однородных комбикормов требуемого гранулометрического состава: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 242 с.
 18. Токарева А.Н. Совершенствование технологического процесса многофункционального агрегата со смесителем мотовильно-шнекового типа: дис. ... канд. техн. наук. Черноград, 2001. 180 с.
 19. Челнокова Е.Я., Попов В.П., Бахитов Т.А. Технология макаронного производства. Оренбург: ОГУ, 2005.