

## Инновационная разработка технологии и оборудования для производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами

*А.Г. Белов, аспирант, В.А. Шахов, д.т.н., профессор, А.С. Путрин, д.т.н., профессор, А.П. Козловцев, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, М.И. Филатов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ; В.Г. Борулько, к.т.н., РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева*

Сельское хозяйство – отрасль экономики, направленная на обеспечение населения продовольствием и получение сырья для ряда отраслей промышленности. Важнейшим условием успешного развития животноводства является создание рациональной кормовой базы, так как именно эта статья расходов составляет наибольшую долю финансовых вложений при содержании сельскохозяйственных животных. Физиологические требования животного сводятся к тому, чтобы корм был питательным, легко переваривался, охотно поедался [1, 2].

Один из эффективных путей использования кормового сырья связан прежде всего с рациональными техническими приёмами его обработки. Современные технологии приготовления кормов дают возможность сохранить их питательность, повысить усвояемость животными, а также обогащать в процессе обработки

различными биологически активными добавками [3–5]. Включение ультрадисперсных материалов в корм для скота принесёт пользу как качеству получаемой продукции, так и циклу производства.

Ультрадисперсные частицы благодаря развитой поверхности обладают повышенной биологической активностью [6–8]. 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 [9–11].

**Цель исследования** – разработка технологии и оборудования для производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами.

Задачами разработки технологии производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами и оборудования для его осуществления являются расширение ассортимента и повышение качества производимых комбикормов с наночастицами за счёт увеличения технологических возможностей линии по производству комбикормов, влияющих на сбалансированность, перевариваемость и кормовую ценность готового продукта.

**Материал и методы исследования.** Предложенная авторами технология разработана на основе линии производства экструдированных кормов (патент на изобретение № 2489946, прототип), а роторно-вибрационный смеситель – на основе патента на изобретение № 2510873 (прототип) [12, 13].

На рисунке 1 представлен общий вид разработанной линии производства экструдированных комбикормов.

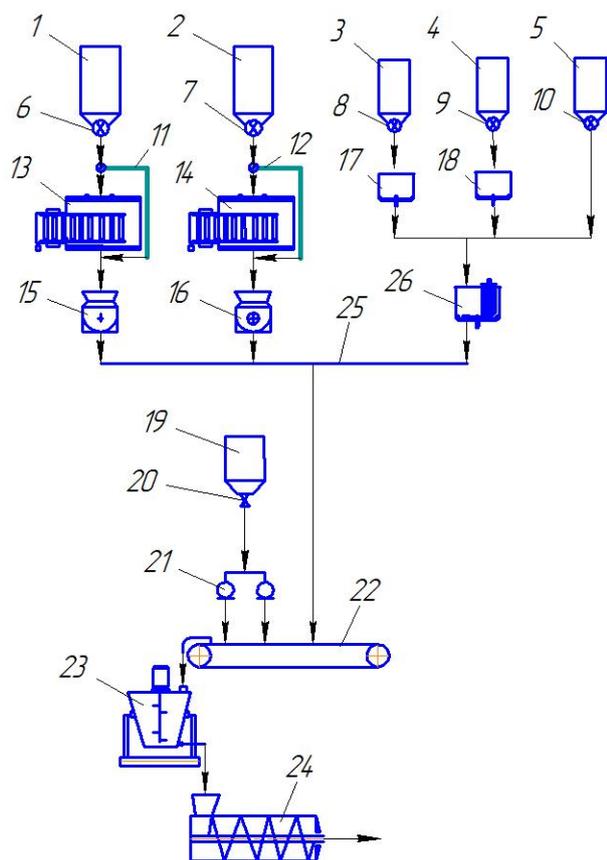


Рис. 1 – Линия производства экструдированных комбикормов:

1, 2 – ёмкости для зернового сырья; 3, 4 – ёмкости для минерального сырья; 5 – ёмкость для наночастиц; 6–10 – дозаторы; 11, 12 – резервные трубопроводы для возможного прохождения продукта без шоковой заморозки; 13, 14 – установка шоковой заморозки для обработки отходов вторичных материальных ресурсов агропромышленного комплекса (отрубей, лузги подсолнечника, гречихи, пшени, овса и т.д.); 15 – молотковая дробилка; 16 – роторная дробилка; 17, 18 – роторные дробилки для минерального сырья (NaCl, CaCO<sub>3</sub> и т.д.); 19 – бункер для хранения жидких компонентов; 20 – объёмный дозатор для жидких компонентов; 21 – форсунки для распыления жидких компонентов; 22 – ленточный транспортёр; 23 – смеситель; 24 – экструдер; 25 – трубопровод; 26 – роторно-вибрационный смеситель

Линия производства экструдированных комбикормов работает следующим образом. В ёмкость 1 загружают лузгу, в ёмкость 2 – мучнистое сырьё, в ёмкость 3 – хлорид натрия (NaCl), в ёмкость 4 – карбонат кальция (CaCO<sub>3</sub>), в ёмкость 5 – наночастицы дефицитных элементов. Из ёмкости с

лузгой 1 через дозатор 6 лузгу подают на установку шоковой заморозки 13, а затем направляют в молотковую дробилку 15. Из ёмкости с мучнистым сырьём 2 через дозатор 7 мучнистое сырьё подают на установку шоковой заморозки 14, а затем – в молотковую дробилку 16 [14].

При отсутствии необходимости подвергать лузгу или мучнистое сырьё шоковой заморозке, лузгу подают в молотковую дробилку 15, а мучнистое сырьё – на роторную дробилку 16 через резервные трубопроводы 11 и 12 соответственно. Затем измельчённую лузгу и измельчённое мучнистое сырьё подают через трубопровод 25 на ленточный транспортёр 22. В это же время из ёмкостей 3 и 4 через дозаторы 8 и 9 поступает в роторные дробилки 17 и 18 минеральное сырьё (как правило, NaCl и CaCO<sub>3</sub>) соответственно, а далее в роторно-вибрационный смеситель 26, в него же из ёмкости 5 через дозатор 10 поступают наночастицы. Далее смесь NaCl, CaCO<sub>3</sub> и наночастиц из роторно-вибрационного смесителя 26 через трубопровод 25 направляется на ленточный транспортёр 22. Как только компоненты, находящиеся на транспортёре 22, достигают бункера для хранения жидких компонентов 19, включается привод объёмного дозатора для жидких компонентов 20, установленный в нижней части бункера 19, при этом жидкие компоненты в строго определённом количестве подаются к форсункам 21. Затем жидкие компоненты с помощью форсунок 21 распыляются над поверхностью сырья, находящегося на ленте транспортёра 22. Далее всё сырьё подают в смеситель 23, где активно перемешивают.

Затем перемешанная смесь поступает в рабочую камеру экструдера 24, вращающийся шнек экструдера начинает захватывать и перемещать обрабатываемую смесь, которая последовательно проходит через зоны загрузки, смешивания, гомогенизации и дозирования. По мере продвижения смесь перемешивается в зоне смешивания, нагревается и размягчается до получения однородной среды. При дальнейшем её продвижении происходит уплотнение в зоне сжатия за счёт уменьшающегося свободного объёма, ограниченного стенками корпуса и поверхностью рабочих органов, и продукт разогревается. В зоне гомогенизации происходит превращение размягченных гранул в расплав за счёт возрастания давления, при этом плавное уменьшение межвиткового объёма шнека в сторону предматричной зоны обеспечивает дегазацию и постепенное увеличение давления продукта. В зоне гомогенизации смесь окончательно переходит из твёрдой фазы в вязкопластичную, здесь происходит плавление в результате преобразования механической энергии рабочих органов машины в тепловую энергию и за счёт внутреннего трения в самом продукте. Давление расплава экструдата в зоне дозирования достигает желаемого значения, происходит окончательное расплавление мелких включений, смешивание на молекулярном уровне,

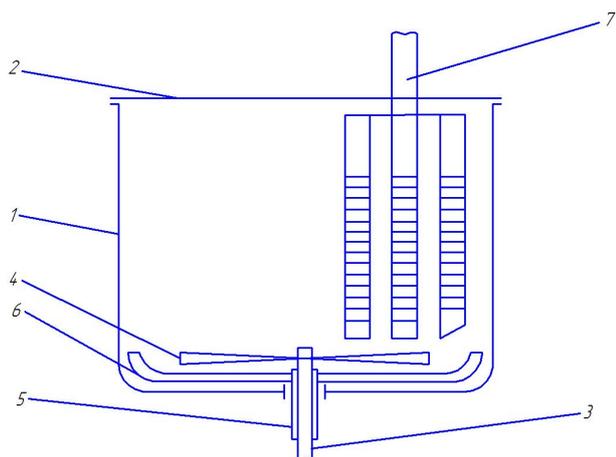


Рис. 2 – Роторно-вибрационный смеситель

и образуется расплав, однородный по структуре и температуре. Это позволяет для нормальной работы экструдера 24 иметь заданную, однородную по сечению температуру расплава продукта. Затем он попадает в предматричную зону и дозируется через отверстия матрицы экструдера 24. После выхода продукта из матрицы в результате резкого перепада температуры и давления происходит мгновенное испарение влаги. Аккумулированная им энергия высвобождается со скоростью, примерно равной скорости взрыва, что приводит к образованию пористой структуры и увеличению объёма экструдата [15, 16].

Следует отметить, что равномерно распределённые в перерабатываемом материале наночастицы выдерживают давление и температуру при экструзии и не подвергаются никаким изменениям.

Таким образом, по сравнению с существующими линиями производства экструдированных комбикормов предлагаемая технология позволяет расширить ассортимент выпускаемых многокомпонентных комбикормов заданной пищевой ценности, адаптированных для различных видов животных, и повысить сбалансированность, перевариваемость и кормовую ценность готового продукта крупнорогатым скотом и другими сельскохозяйственными животными за счёт увеличения технологических возможностей линии по производству комбикормов, а также использования минеральных добавок ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCO}_3$  и т.д.) и наночастиц различного состава.

При производстве комбикормов наиболее сложной с технической точки зрения является реализация операции равномерного внесения ультрадисперсных частиц в основной поток с дальнейшим распределением во всём объёме продукта. На эффективность смешивания значительное влияние оказывают 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. При смешивании компонентов комбикормов с ультрадисперсными частицами, 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, склонностью к агломерации наночастиц, разной плотностью веществ.

С целью совершенствования процесса смешивания было проведено исследование конструктивных особенностей смесителей комбикормов, по результатам которого была разработана конструкция смесительного устройства. Его задача – повышение эффективности смешивания высокодисперсных и нановеществ, а следовательно, повышение качества готовой смеси за счёт применения ультразвуковых колебаний в псевдооживленном слое. Сущность заявленного изобретения представлена на рисунке 2.

Роторно-вибрационный смеситель содержит корпус 1, крышку корпуса 2, вал 3 перемешивающего органа, выполненный в виде пропеллера 4, вал 5 перемешивающего органа якорной формы 6, вибратор в виде направляющей поворотной гребёнки 7, установленный на крышке корпуса 1 с возможностью радиального перемещения от центра корпуса 1 к его стенкам [17].

Роторно-вибрационный смеситель работает следующим образом. Компоненты загружают во внутреннее пространство корпуса 1, который закрывают крышкой 2. Вал 5 с насаженным на нём перемешивающим органом якорной формы 6 и вал 3 с насаженным на нём перемешивающим органом, выполненным в виде пропеллера 4, начинают раскручивать и таким образом перемешивать содержимое вещество. Образовавшаяся смесь отбрасывается к стенкам корпуса 1, проходит через вибратор, выполненный в виде направляющей поворотной гребёнки 7, совершающей ультразвуковые колебания, где дополнительно перемешивается и направляется к центру корпуса 1, а затем вновь – к перемешивающему органу, выполненному в виде пропеллера 4.

Перемешивающий орган, выполненный в виде пропеллера 4, обеспечивает интенсивную циркуляцию компонентов внутри корпуса 1 за счёт создаваемого воздушного потока, предотвращая оседание частиц компонентов на дне корпуса 1, а также интенсифицирует подачу веществ к перемешивающему органу якорной формы 6. В свою очередь перемешивающий орган якорной формы 6 в совокупности с создаваемым воздушным потоком от перемешивающего органа, выполненного в виде пропеллера 4, предотвращает седиментацию частиц смешиваемых компонентов на дне корпуса 1 и передаёт частицам вещества кинетическую энергию, необходимую для преодоления силы тяжести и трения, что приводит к псевдооживленному со-

стоянию смеси. Благодаря этому каждая частица приобретает высокую подвижность, и движение ансамблей частиц оказывается подобным движению частиц жидкости. Вибратор, выполненный в виде направляющей поворотной гребёнки 7 с возможностью перемещения от центра корпуса 1 к стенкам, предназначен для отбрасывания движущего потока частиц от стенок корпуса 1 к центру. Также в процессе совершения ультразвуковых колебаний он обеспечивает сдвиг слоёв смешиваемых компонентов и предотвращает агломерацию частиц.

Таким образом, по сравнению с другими устройствами заявленный роторно-вибрационный смеситель позволяет повысить эффективность смешивания высокодисперсных и нановеществ, а следовательно, и качество готовой смеси за счёт применения ультразвуковых колебаний в псевдооживленном слое.

**Вывод.** Для полноценного развития животных необходимо совершенствовать и восполнять рацион питания по дефицитным микроэлементам. Достичь необходимых показателей позволяют разработанные инновационная технология получения экструдированных комбикормов с ультрадисперсными частицами и оборудование для её осуществления.

### Литература

1. Мальцева П.П. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. М.: Техносфера, 2006. 150 с.
2. Белов А.Г., Попов В.П., Зинюхин Г.Б. Применение нанотехнологии 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.
3. Шахов В.А. Исследование технологии производства комбикормов с наночастицами / В.А. Шахов, А.Г. Белов, А.П. Козловцев [и др.] // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. Оренбург, 2018. С. 68–71.
4. Рыбалкина М.М. Нанотехнологии для всех // Nanotechnology News Network. 2005. 444 с.
5. 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.
6. Шахов В.А. Кинематические и динамические аспекты взаимодействия ингредиентных 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.
7. Мартынова Д.В. 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.
8. Попов В.П. 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.
9. Чкалова М.В. Определение количественных параметров воздушно-продуктового слоя в рабочей камере измельчителя / М.В. Чкалова, В.А. Шахов, Е.М. Булуцкий [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 12. Т. 31. С. 57–61.
10. Пушко В.А. Современные инновационные подходы приготовления микродобавок в специализированной установке / В.А. Пушко, В.А. Шахов, С.В. Лебедев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 4. Т. 32. С. 65–68.
11. 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.
12. Пат. на изобретение № 2510873. Роторно-вибрационный смеситель / В.А. Кузьмичёв. Оpubл. 10.04. 2014 г. Бюл. №1.
13. Пат. на изобретение № 2489946. Линия производства экструдированных кормов / В.Г. Коротков, В.П. Попов. Оpubл. 20.08.2013 г.
14. Пат. на изобретение № 2686635. Линия производства экструдированных кормов / А.Г. Белов, В.П. Попов, В.А. Шахов. Оpubл. 29.04.2019 г.
15. Кобылкин Д.С., Кишкилев С.В. Повышение качества и эффективности переработки зернового сырья с применением криогенных технологий // Хранение и переработка сельхозсырья: теоретический журнал. 2015. № 6. С. 17–21.
16. Пат. на изобретение № 2304417. Линия производства экструдированных комбикормов / В.Н. Василенко. Оpubл. 20.08.2007 г.
17. Пат. на изобретение № 2685674. Роторно-вибрационный смеситель / А.Г. Белов, В.П. Попов, В.А. Шахов. Оpubл. 22.04.2019 г.