Тип статьи: обзорная
УДК 631,363
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-91-101

ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Сергей Михайлович Ведищев[1], Анатолий Иванович Завражнов[123], Прохоров Алексей Владимирович[1], Екатерина Богдановна Ложкина[2]
[1,2,3]Тамбовский государственный технический университет, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Мичуринский государственный аграрный университет
[1]serg666_65@mail.ru; pav1981@bk.ru
[123]aiz@mgau.ru
[2]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Сергей Михайлович Ведищев, serg666_65@mail.ru
Corresponding author Vedishchev Sergey, serg666_65@mail.ru

Реферат. *Поиск рациональной конструкции смесителя кормов животных сводится к определению конструктивно-режимных параметров машины, которая по своим показателям качества и энергозатрат наиболее полно отвечала бы зоотехническим и технико-экономическим требованиям. Был сделан анализ наиболее типичных конструкций смесителей кормов. Выявлены их основные недостатки: малая производительность, сложность аппаратурных решений основных процессов, большая энергоемкость узла смешивания и вероятность заклинивания при попадании посторонних предметов; отсутствие контроля за параметрами смешивания; сложность процесса выгрузки готового продукта и его автоматизации; ручное управление узлами. Предложена классификация смесителей кормов по показателям наибольшего влияния на качество смеси и энергозатраты процесса: виду кормов; кинематическому режиму; характеру смешивания; конструктивному признаку; конструктивному исполнению бункера; по количеству смешивающих валов; расположению рабочего органа; способу смешивания; по виду движения смешиваемых компонентов; по типу рабочего органа. Выбрана перспективная конструкция: по виду кормов – для сухих; по кинематическому режиму – тихоходная; по характеру смешивания – периодического действия; по конструктивному признаку – с неподвижным корпусом; по конструктивному исполнению бункера – круглой формы; по количеству смешивающих валов – двухвальная; по расположению рабочего органа – наклонная; по способу смешивания – принудительного действия; по виду движения смешиваемых компонентов – циркуляционная; по типу рабочего органа – шнековая с активным каналом обратного хода. Использование такой конструкции обеспечит высокое качество смешивания; повысит технологическую надежность работы смесительных агрегатов; снизит удельные затраты энергии на процесс приготовления порции комовой смеси.*

Ключевые слова: *классификационные признаки, показатель качества, смеситель, энергозатраты.*

OVERVIEW AND ANALYSIS OF MIXING DEVICE DESIGNS

Sergey Vedishchev [1], Anatoly Zavrazhnov[123], Alexey Prokhorov[1], Ekaterina Lozhkina[2]
[123]Tambov State Technical University, All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Michurinsk State Agrarian University
[1]serg666_65@mail.ru; pav1981@bk.ru
[123]aiz@mgau.ru
[2]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com

Abstract. *The search for a rational design of an animal feed mixer is reduced to determining the structural and operational parameters of a machine that, in terms of its quality and energy costs, would most fully meet the zootechnical and technical and economic requirements. The analysis of the most typical designs of feed mixers was made. Their main shortcomings were revealed: low productivity, complexity of hardware solutions of the main processes, high energy consumption of the mixing unit and the probability of jamming when objects hit the sides; lack of control over the mixing parameters; complexity of the process of unloading the finished product and its automation; manual control of nodes. The classification of feed mixers is proposed according to the indicators of the greatest influence on the quality of the mixture and the energy consumption of the process: the type of feed; kinematic mode; the nature of mixing; the constructive sign; the design of the hopper; the number of mixing shafts; the location of the working body; the method of mixing; by the type of movement of the components being mixed; by the type of working body. A promising design was chosen: according to the type of feed – for dry; according to the kinematic mode - slow–speed; by the nature of mixing – periodic action; by the structural feature - with a fixed body; by the design of the hopper – round shape; by the number of mixing shafts – two–shaft; by the location of the working body – inclined; by the method of mixing – forced action; by the type of movement of the components being mixed - circulating; by the type of working body – screw with an active reverse channel. The use of such a design will ensure high quality of mixing; will increase the technological reliability of the mixing units; it will reduce the specific energy costs for the process of preparing a portion of the lump mixture.*

Keywords: *classification features, quality indicator, mixer, energy consumption.*

Для цитирования: Ведищев С.М., Завржнов А.И., Прохоров А.В., Ложкина Е.Б. Обзор и анализ конструкций смесительных устройств // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 91-101. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-91-101.

For citation: Vedishchev S., Zavrazhnov A., Prokhorov A., Lozhkina E. Overview and analysis of mixing device designs // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 91-101. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-91-101.

Введение. Для приготовления кормов животным в нашей стране и за рубежом нашли применение смесители кормов, как выпускаемые серийно, так и отдельные образцы, изготовленные аспирантами и соискателями НИИ вузов, конструкторских бюро, а также специалистами и рационализаторами хозяйств. Разнообразие этих устройств связано с различными зоотехническими требованиями к процессу смешивания для различных видов и возрастных групп животных, разнообразием зональных особенностей кормов и их физико-механических свойств, размерами и назначением кормоприготовительного оборудования, в также поиском рациональной конструкцией машины, которая по своим показателям качества наиболее полно отвечала бы зоотехническим и технико-экономическим требованиям [1].

Материалы и методы. Для выявления направления совершенствования существующих смесителей кормов рассмотрим классификацию и проведем анализ наиболее типичных конструкций таких машин [1].

С учетом ранее разработанных классификаций смесителей кормов [1 – 13] по показателям наибольшего влияния на качество смеси и энергозатраты процесса их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам (рис. 1): виду кормов; кинематическому режиму; характеру смешивания; конструктивному признаку; конструктивному исполнению бункера; по количеству смешивающих валов; расположению рабочего органа; способу смешивания; по виду движения смешиваемых компонентов; по типу рабочего органа.

По виду кормов целесообразны смесители для сухих рассыпных кормосмесей, как наиболее технологичных.

По кинематическому режиму работы смесители разделяются на тихоходные (k < 30) и быстроходные (k > 30). Время приготовления в быстроходных смесителях несколько меньше, чем в тихоходных, но выше удельные энергозатраты на единицу корма. Быстроходные смесители

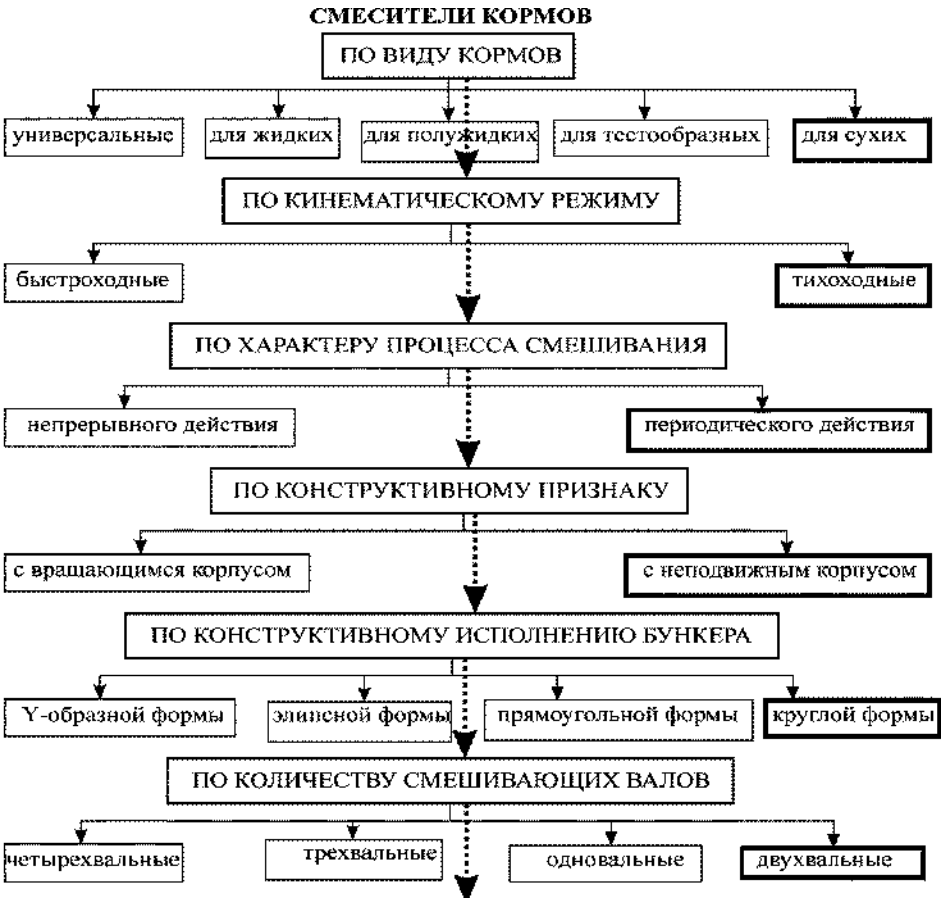
применимы не для всех типов кормов. При высокой частоте вращения рабочих органов происходит дополнительное измельчение компонентов корма [13].

По характеру процесса смесители подразделяются на: непрерывного и периодического действия [2]. В смесителях непрерывного действия исходные компоненты подаются постоянно, проходя процесс перемещения от места загрузки к месту выгрузки. Использование смесителей непрерывного действия требует точного дозирования компонентов для получения готового продукта высокого качества. [2].

Смесители периодического действия также разделяются по принципу воздействия на перемешиваемый материал: гравитационного и принудительного действия [2]. Смесители принудительного действия оснащены смесительными рабочими органами, которые воздействуя на массу исходных компонентов, осуществляют их перераспределение [2].

Применение смесителей периодического действия выгодно при кормлении небольшого количества животных в условиях фермерских хозяйств. Применение таких смесителей повышает качество смешивания, что сказывается на продуктивности животных [1].

При смешивании кормовых продуктов по конструктивному признаку применяются смесители с вращающимся корпусом, либо барабанные смесители. Барабанные смесители различаются формой корпуса и его расположением к оси вращения. [1, 12].



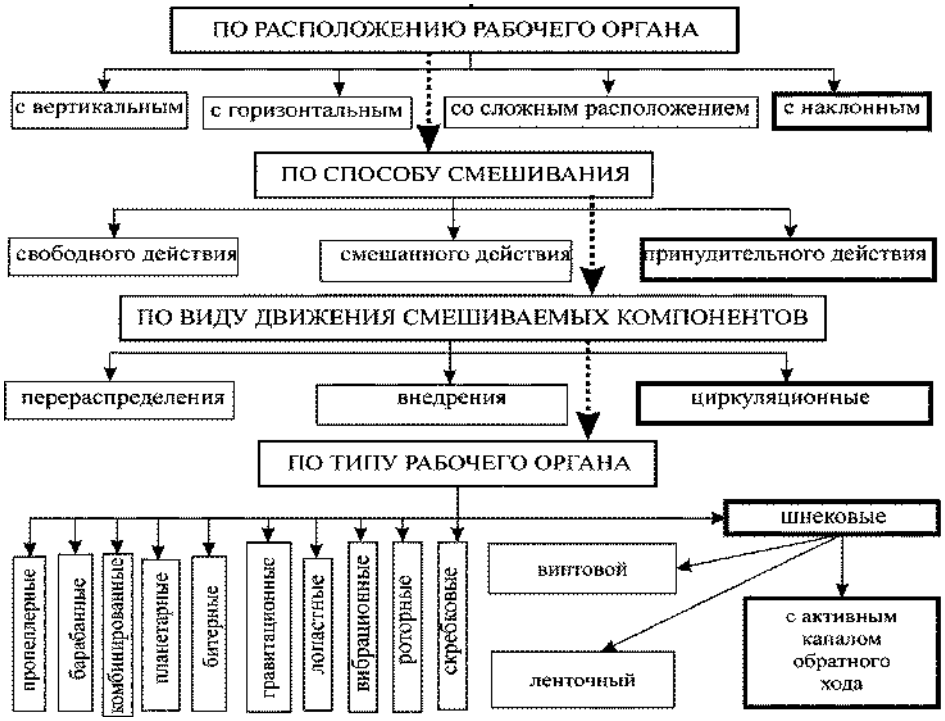


Рисунок 1 – Классификация смесителей кормов

Барабанные смесители относятся к тихоходным машинам, так как окружная скорость вращения их корпуса не велика и составляет 0,17 – 1,00 м/с [10]. К преимуществам барабанных смесителей можно отнести: простоту устройства; возможность смешивания компонентов без истирания и разрушения формы; перемешивание абразивных компонентов. К недостаткам: низкое качество смешивания; длительный цикл смешивания; большие энергетические затраты на единицу готовой продукции [10].

Для рационального перемешивания кормовых материалов применяют одно-, двух-, трех- и четырехвальные ленточные смесители [14]. Увеличение количества рабочих органов приводит к усложнению конструкции.

По расположению рабочих органов смесители можно разделить на вертикальные, горизонтальные, с наклоном и сложное [8].

Вертикальное расположение оси шнеков (1 – 2 шнека) и наличие зазора между шнеком и стенкой смесительной камеры позволяет кормовой массе, поднимаемой шнеком, свободно сползать вниз по стенкам воронкообразной смесительной камеры, что создает щадящий режим обработки компонентов рациона без повреждения их структуры.

Простота конструкции, небольшие затраты на техобслуживание и быстрая окупаемость вертикальных смесителей оказывают хорошую перспективу для их использования сельхозтоваропроизводителями [10].

Одним из видов смесителей с вертикальными рабочими органами являются планетарные смесители. Особенностью планетных смесителей является множество вариантов конструкций рабочих органов (лопастные, шнековые, винтовые и ряд других) и возможность их замены [2]. Достоинство: высокая производительность; высокое качество перемешивания; способность перемешивать материалы с различными физическими свойствами. Недостатки: высокие энергозатраты; сложная конструкция планетарной передачи; большое время разгрузки.

Смесители с горизонтальными рабочими органами обеспечивают высокое качество смеси и низкие удельные затраты энергии. Конструкция смесителя с горизонтальным расположением шнека (2 - 4 шнека) предусматривает перемещение кормовой массы по дну смесительной камеры,

что приводит к усиленному износу стенок смесительной камеры и повышенный риск повреждения перемешивающей системы инородными телами, а также вызывает интенсивное воздействие на структуру кормовых компонентов, сдавливание кормовой массы по дну смесительной камеры и образование комков [14].

Преимущества смесителей с наклонными рабочими органами заключаются в лучшей организации циркуляции компонентов корма с исключением застойных зон, прессования и фракционирования кормов [15].

По способу смешивания перемешивание компонентов в смесителе может осуществляться свободно (под действием сил гравитации), принудительно и смешанно [12].

При гравитационном воздействии компоненты смешиваются под действием силы тяжести и взаимодействия с различными неподвижными конструктивными элементами. Известны следующие конструкции таких машин: лотковый; бункерный; ударно-распылительный; виброгравитационный [2].

К преимуществам гравитационных смесителей можно отнести простоту и надежность устройства, отсутствие движущихся побудителей смешивания, малые удельные расходы энергии. Их недостатки: низкое качество смешивания, необходимость точного дозирования из-за низкой сглаживающей способности, возможность смешивания материалов с хорошей и в отдельных случаях – средней сыпучести [2, 16].

Для улучшения показателей работы гравитационных смесителей в них применяют дополнительно принудительное смешивание за счет установки подвижных рабочих органов, придания компонентам корма вибрации. Вибрация исключает возможность зависания смешиваемых компонентов при переходе их из секции в секцию, повышает качество смеси (можно достичь однородности смеси до 97% [16]), позволяет уменьшить угол наклона к горизонту внутренних рабочих поверхностей смесителя, что намного сокращает его размеры [16].

Примером совмещения гравитационного процесса смешивания с принудительным могут служить смесители-дозаторы кормов, которые объединяют в себе многокомпонентный дозатор тарельчатого типа и смеситель, работающий по принципу перемешивания потоков компонентов [17] или за счет потока воздуха между конусом и быстровращающимся диском с лопатками. Конструкция дозаторов-смесителей позволяет не только получать большую производительность при минимальных энергозатратах, но также оперативно изменять структуру корма [17].

Примером совмещения гравитации и вибрации могут служить усовершенствованный смеситель сыпучих кормов непрерывного действия, разработанный инженером А. Яцуновым [18] и вибросмеситель периодического действия с рабочей камерой, установленной на амортизаторах, конструкции Ивановой А.П. [19]. Улучшение качества смеси получают за счет интенсификации процесса смешивания благодаря изменению угла наклона перемешивающих элементов к днищу желоба в поперечной горизонтальной плоскости [18] или за счет применения различных форм рабочих камер [19]. Данные смесители имеет низкую эксплуатационную надежность, обусловленную большим количеством подвижных сопряжений, а также дополнительные затраты энергии на создание закрученного потока воздуха и переизмельчение продукта.

Достоинство смесителей принудительного действия: высокая производительность; способность приготовления смесей различных физических характеристик; высокое качество перемешивания. Недостатки: высокое энергопотребление; сложность конструкции; износ рабочих органов [2].

По виду перемещения материалов внутри бункера смесителя разделяют на: внедрения, перераспределения и циркуляционные.

В смесителях первой группы частицы одного компонента внедряются в зазоры между частицами других компонентов, что может происходить под давлением воздуха, силы гравитации или воздействия вибрации. Установки, использующие давление воздуха для перемешивания компонентов, обеспечивают хорошее качество при производстве рассыпчатых кормосмесей и сухих комбикормов [8], однако при использовании мелкодисперсных компонентов возникает угроза возникновения пожара, взрыва.

В смесителях, работающих по принципу перераспределения, материалы внутри бункера перемещаются хаотически [8]. Продолжительность смешивания в таких устройствах зависит от

скорости образования поверхностей сдвига в смешиваемых материалах. Эти смесители имеют производительность в диапазоне 4,8…7,1 т/ч, у них коэффициент неравномерности смешивания составляет 14,2…35,1 % [8]. Достоинствами являются простота конструкции, небольшие энергозатраты и достаточно высокая однородность смеси. У смесителей данного типа в результате большого числа пересыпаний смешиваемых материалов внутри бункера может происходить сегрегация отдельных компонентов, при смешивании увлажненных кормов наблюдается их налипание на стенки бункера.

В смесителях циркуляционного действия происходит интенсивный процесс смешивания за счет обеспечения возможности многократного перемещения материала внутри бункера. Этот процесс можно охарактеризовать, как конвективное смешивание, когда частицы компонентов перемещаются группами и при этом непрерывно образуют новые поверхности раздела. Поэтому эти смесители могут обеспечить любое нужное качество смеси. Эти смесители разделяют на вертикальные и горизонтальные. Представителями первой группы являются смесители типа F-928 (ФРГ), а также фирмы «Саймон - Баррон» (Великобритания). Их достоинством является сравнительно небольшая продолжительность процесса смешивания, кроме того такие смесители занимают незначительную площадь производственного помещения.

По типу рабочих органов смесители можно разделить на пропеллерные, барабанные, планетарные, битерные, гравитационные, лопастные, вибрационные, роторные, скребковые, шнековые, комбинированные.

Пропеллерные смесители применяют для интенсивного перемешивания жидкостей, имеющих небольшую вязкость (с динамической вязкостью до 4,0 Па·с), для взмучивания осадков, содержащих до 10% твердой фазы с размерами частиц до 0,15 мм, а также приготовления суспензий и эмульсий [7]. Для пропеллерных смесителей характерны высокое насосное действие и хорошая циркуляция содержимого сосуда при эффективном перемешивании [7].

Роторные смесители применяют для смешивания сухих кормовых компонентов в небольших производствах, в которых объединяют процессы смешивания и дозирования. В смесителях с быстро вращающимися роторами используется эффект псевдоожижения сыпучих материалов, основанный на том, что при большой скорости движения частиц кинетическая энергия отдельной частицы оказывается больше работы, необходимой для преодоления сопротивления сил трения и сил тяжести. Благодаря этому каждая частица приобретает высокую подвижность [8]. В зависимости от конструкции ротора смесители этого типа разделяют на лопастные [20], дисковые [8], с вращающимся конусом. Частота вращения мешалок 1…10 $с^{-1}$ [21].

К преимуществам роторных смесителей можно отнести небольшую металлоемкость, простоту устройства; высокую однородность смешивания (до 95%). Рабочие органы обеспечивают полную саморазгрузку за короткий промежуток времени - 15...30 секунд [22].

Недостатками роторных смесителей, независимо от конструкции ротора, являются: высокие удельные затраты энергии на процесс смешивания, высокое истирающее воздействие на компоненты смеси вследствие большой частоты вращения рабочих органов.

Недостатком тихоходных лопастных смесителей является длительность приготовления порции корма.

Недостатком червячно-лопастных смесителей является значительный расход электроэнергии на единицу объема готовой смеси, большой износ лопастей валков, большое количество сальниковых уплотнений, трудность чистки, сравнительно малый полезный объем. По этим причинам они не могут быть рекомендованы для смешивания сухих рассыпных материалов.

Шнековые смесители в зависимости от пространственного расположения рабочего органа подразделяются на вертикальные, наклонные и горизонтальные. Данная особенность, определяющая способ перемешивания, оказывает непосредственное влияние на результат обработки кормовой смеси и срок эксплуатации самого смесителя [8].

Смесители со шнековыми рабочими органами: ленточные спирали (одинарные, двойные, тройные); лопастные (лопатки различной формы: прямоугольные, трапецеидальные, сегментные и др.); винтовые (с активным или пассивным каналом обратного хода) имеют следующие преимущества: низкий удельный расход электроэнергии; высокая производительность на единицу

занимаемой площади; небольшая материалоемкость; высокая степень смешивания компонентов; короткое время цикла смешивания; возможен ввод жидких компонентов.

В тех случаях, когда кормосмеситель имеет несколько равноценных по воздействию на смешиваемые компоненты перемешиваемых органов, то его следует отнести к смесительным агрегатам с комбинированным рабочим органом.

Лопастные горизонтальные смесители С-12, СГК-1М, А1-ДСЖ, швейцарской фирмы «Бюлер», голландских фирм «Van Aarsen» и «Wynveen International b.p.», американской «Хенз энд Стоуриз», У3-ДСП (Воронеж) и ряд других предназначены для приготовления кормовых смесей влажностью 65-85% с запариванием или без запаривания, а также сухих рассыпных кормосмесей [10]. Они имеют один (СГК-1М, «Бюлер», «Van Aarsen», «Хенз энд Стоуриз», «Wyn International b.p.» или два («Van Aarsen», «Wynveen International b.p.», У3-ДСП [11] рабочих органа.

Возможность регулирования угла поворота лопастей относительно их оси позволяет устанавливать наиболее рациональный угол, зависящий от структурно-механических и адгезионных свойств перемешиваемых компонентов смеси [11].

К недостаткам лопастных смесителей относятся: длительность смешивания; значительный износ стенок смесительной камеры и, как следствие, небольшой срок эксплуатации.

Улучшенные показатели качества корма, снижение энергозатрат обеспечивается за счет применения ступенчатого смешивания [6]: предварительного смешивания потоков ингредиентов с высокой порозностью (обеспечивающее взаимное проникновение и предварительное смешивание их частиц с малыми энергозатратами и высокой равномерностью подачи ингредиентов), наличие двух участков комбинированного рабочего органа, (на двух участках спиральными лопастями мешалки осуществляется усреднение содержания компонентов в смешиваемом объеме, с последующим смешиванием двухзаходным спирально-винтовым конвейером излишков усредняемой смеси в процессе транспортировки и отгрузки).

В работе [13] разработанная конструктивно-технологическая схема смесителя кормов и микродобавок позволяет за счет применения ступенчатого смешивания сухих компонентов в постепенно увеличивающемся объеме и быстроходных рабочих органов, в сравнении с одноступенчатым процессом перемешивания, сократить длительность приготовления смеси с 240 - 360 с до 80 секунд, уменьшив энергоемкость перемешивания на 5,6 % при равномерности смеси 92%.

Примером конструкций смесителей сухих рассыпных кормосмесей с комбинированным рабочими органами является тихоходный смеситель периодического действия с неподвижным прямоугольным корпусом и двумя горизонтально расположенными принудительно смешивающими шнеколопастными комбинированными рабочими органами с чередующимися участками, обеспечивающими организованное регламентированное движение компонентов корма и позволяющими сократить время получения качественной смеси со снижением удельных затрат энергии на процесс смешивания [12].

Дополнительно снизить энергозатраты смешивания компонентов можно за счет смесителей периодического действия, выполняющих роль усреднителя [23]. Недостатками являются: высокая стоимость и металлоемкость используемого оборудования, и не всегда удается достичь высокой однородности смеси.

Другой разновидностью подобных смесителей являются устройства, транспортирующие корм на некоторые (возможно минимальные) расстояния с одновременным смешивание компонентов. Примером являются винтовые (шнековые, ленточные и т.п.) смесители, а также устройства для смешивания движущихся потоков корма с высокой порозностью и др. [24].

Обзор и анализ конструкций смесителей кормов показал, что на фермах используется довольно значительное количество разнообразных кормосмесителей, однако лишь некоторые из них способны выдавать корма надлежащего качества смешивания.

Выводы. Проанализировав смесители различного типа и конструкций, выявили их основные недостатки: малая производительность, сложность аппаратурных решений основных процессов требует высокой квалификации оператора, большая энергоемкость узла смешивания и вероятность заклинивания при попадании посторонних предметов; отсутствие контроля за

параметрами смешивания не позволяет выполнять оптимального управления процессом; сложность процесса выгрузки готового продукта и его автоматизации; ручное управление узлами.

С учетом вышеизложенной информации, перспективной является следующая конструкция смесителя: по виду кормов – для сухих; по кинематическому режиму – тихоходный; по характеру смешивания – периодического действия; по конструктивному признаку – с неподвижным корпусом; по конструктивному исполнению бункера – круглой формы; по количеству смешивающих валов – двухвальный; по расположению рабочего органа – наклонный; по способу смешивания – принудительного действия; по виду движения смешиваемых компонентов – циркуляционный; по типу рабочего органа – шнековый с активным каналом обратного хода.

Повышение эффективности смесителей кормов периодического действия со шнековым рабочим органом и активным каналом обратного хода за счет сложного движения кормовой смеси: обеспечит высокое качество смешивания; повысит технологическую надежность работы смесительных агрегатов; снизит удельные затраты энергии на процесс приготовления порции комовой смеси.

Список источников

1. Мартынов, В.К. Совершенствование технологического процесса приготовления полнорационных кормосмесей в планетарном смесителе периодического действия за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Мартынов Вячеслав Константинович. - Саратов, 2005. - 178 с.

2. Анциферов, С.И. Повышение эффективности процесс смешивания за счет совершенствования конструкции планетарного смесителя: дис. ... докт. техн. наук; 05.02.13: Анциферов Сергей Игорев. - Белгород, 2017. – 47 с.

3. Ведищев, С.М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Ведищев Сергей Михайлович. – Тамбов, 2018 – 381 с.

4. Ведищев, С.М. Механизация приготовления кормов. Часть 2 [электронный ресурс] / С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Милованов, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев, А.В. Брусенков. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСБ, 2015. - 127 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64117.html.

5. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства [текст] / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. - М.: Колос, 1999. – 528 с.

6. Коновалов, В.В. Снижение энергозатрат на смешивание концентрированных кормов разработкой и применением смесительного агрегата с комбинированными рабочими органами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Коновалов Виктор Владимирович. – Пенза, 2018. – 20 с.

7. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов [текст]: в 2 т. / И.В. Кулаковский., Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1987. - 339 с.

8. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов [текст] / Ю.И. Макаров. - М.: «Машиностроение», 1973. - 215 с.

9. Механизация приготовления кормов [Электронный ресурс]: учебное пособие для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Агроинженерия», а также аспирантов и работников сельскохозяйственной предприятий: в 2 ч./ С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев, А.В. Брусенков, А.В. Милованов / Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 140 с. – электрон. опт. диск (CD-ROM). – 51,5 МБ.

10. Ревякин, Е.Л. Опыт освоения технологий и оборудования для внутрихозяйственных комбикормовых предприятий / Е.Л. Ревякин, В.И. Пахомов. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. - 128 с.

11. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий при переработке зерна учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф.Веденеев, А.Е.Яблоков, I и III части под. ред. Л.А. Глебова, II часть под. ред. А. Б. Демского. - М.: Дели Принт, 2010. - 696 с.

12. Хольшев, Н.В. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей шнекопластным смесителем: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.В.Хольшев. – Мичуринск-Наукаград РФ, 2015. – 19 с.

13. Чупшев, А.В. Повышение качества смешивания сухих микродобавок с обоснованием конструктивных и технологических параметров смешивания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/Чупшев Алексей Владимирович. - Пенза, 2009. - 19 с.

14. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей с активным каналом обратного хода / А. А. Кажияхметова, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев, А. С. Иванов // Современная наука: теория, методология, практика : III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2021. – С. 301 – 303.

15. Астапов, С.Ю. Повышение эффективности смешивания в мобильном раздатчике-смесителе за счет совершенствования шнекового аппарата: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Астапов Сергей Юрьевич. - Мичуринск-Наукаград, 2007. - 179 с.

16. Демин, О.В. Анализ работы различных видов смесителей сыпучих материалов периодического действия [текст] / О.В. Демин // Труды ТГТУ; Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2001. – вып.8. – С. 109-114.

17. Фролов, Н. Дозатор – смеситель кормов [текст] / Н. Фролов, Г. Мальцев // Сельский механизатор, - 2007. - №5. – 5 с.

18. Яцунов, А. Качество смеси обеспечивается вибрацией [текст] / А.Яцунов // Сельский механизатор. - 2008. - №77. - С.35-36.

19. Иванова, А.П. Научно-технические аспекты повышения эффективности работы вибросмесителей: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Иванова Анастасия Петровна. - Оренбург, 2005. – 38 с.

20. Вертикальные лопастные смесители серии «ВЛС» [электронный ресурс] / Компания «Жаско». – Режим доступа: http://www.jasko.ru/jasko/katalog/pererabotka/smesitel/vls.html.

21. Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве: Учебник / А. И. Завражнов, Л. В. Бобрович, С. М. Ведищев [и др.]. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар : Издательство "Лань", 2021. – 686 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-8114-7398-4.

22. Официальный сайт ВНИИПТИМЭСХ [электронный ресурс] /-Режим доступа: vniiptimz.ly.ru/

23. Патент №2633893 РФ МПК B0IF. Устройство для смешивания сыпучих кормов и сухих добавок / В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, В.В. Коновалов, А.В. Чупшев. - № 20160147278; заявл.01.12.2016; опубл.19.10.2017. Бюл. № 29. – 8 с.

24. Коновалов, В.В. Повышение эффективности средств механизации приготовления и выдачи кормосмесей в свиноводстве: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Коновалов Владимир Викторович. - Пенза:2005. - 38 с.

References

1. Martynov, V.K. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa prigotovleniya polnora-cionnyh kormosmesej v planetarnom smesitele periodicheskogo dejstviya za schet intensifikacii vzaimoproniknoveniya smeshivaemyh ingredientov [tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Martynov Vyacheslav Konstantinovich. - Saratov, 2005. - 178 s.

2. Anciferov, S.I. Povyshenie effektivnosti process smeshivaniya za schet sovershenstvova-niya konstrukcii planetarnogo smesitelya: dis. ... dokt. tekhn. nauk; 05.02.13: Anciferov Sergej Igorev. - Belgorod, 2017. – 47 s.

3. Vedishchev, S.M. Sovershenstvovanie tekhnologij i tekhnicheskih sredstv prigotovleniya i raz-dachi kormosmesej v sel'skohozyajstvennyh svinovodcheskih organizaciyah: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Vedishchev Sergej Mihajlovich. – Tambov, 2018 – 381 s.

4. Vedishchev, S.M. Mekhanizaciya prigotovleniya kormov. CHast' 2 [elektronnyj resurs] / S.M. Vedishchev, V.P. Kapustin, YU.E. Glazkov, A.V. Milovanov, A.V. Prohorov, N.V. Hol'shev, A.V. Brusenkov. - Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, EBS ASB, 2015. -127 s.- Rezhim dostupa: http://www.iprbookshop.ru/64117.html.

5. Koba, V.G. Mekhanizaciya i tekhnologiya proizvodstva produkcii zhivotnovodstva [tekst] / V.G. Koba, N.V. Braginec, D.N. Murusidze, V.F. Nekrashevich. - M.: Kolos, 1999. – 528 s.

6. Konovalov, V.V. Snizhenie energozatrat na smeshivanie koncentrirovannyh kormov raz-rabotkoj i primeneniem smesitel'nogo agregata s kombinirovannymi rabochimi organami: avto-ref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Konovalov Viktor Vladimirovich. – Penza, 2018. – 20 s.

7. Kulakovskij, I.V. Mashiny i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov [tekst]: v 2 t. / I.V. Kulakovskij., F.S. Kirpichnikov, E.I. Reznik. - M.: Rossel'hozizdat, 1987. - 339 s.

8. 13. Makarov, YU.I. Apparaty dlya smeshivaniya sypuchih materialov [tekst] / YU.I. Makarov. - M.: «Mashinostroenie», 1973. - 215 s.

9. Mekhanizaciya prigotovleniya kormov [Elektronnyj resurs]: uchebnoe posobie dlya baka-lavrov i magistrov, obuchayushchihsya po napravleniyu «Agroinzheneriya», a takzhe aspirantov i ra-botnikov sel'skohozyajstvennoj predpriyatij: v 2 ch./ S.M. Vedishchev, V.P. Kapustin, YU.E. Glazkov, A.V. Prohorov, N.V. Hol'shev, A.V. Brusenkov, A.V. Milovanov / Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2015. – 140 s. – elektron. opt. disk (CD-ROM). – 51,5 MB.

10. Revyakin, E.L. Opyt osvoeniya tekhnologij i oborudovaniya dlya vnutrihozyajstvennyh kombi-kormovyh predpriyatij / E.L. Revyakin, V.I. Pahomov. - M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2007. - 128 s.

11. Tekhnologicheskoe oborudovanie i potochnye linii predpriyatij pri pererabotke zerna uchebnik / L.A. Glebov, A.B. Demskij, V.F.Vedeneev, A.E.YAblokov, I i III chasti pod. red. L.A. Glebo-va, II chast' pod. red. A. B. Demskogo. - M.: Deli Print, 2010. - 696 s.

12. Hol'shev, N.V. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa prigotovleniya suhih ras-sypnyh kormosmesej shnekoplastnym smesitelem: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / N.V.Hol'shev. – Michurinsk-Naukagrad RF, 2015. – 19 s.

13. CHupshev, A.V. Povyshenie kachestva smeshivaniya suhih mikrodobavok s obosnovaniem kon-struktivnyh i tekhnologicheskih parametrov smeshivaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01/CHupshev Aleksej Vladimirovich. - Penza, 2009. - 19 s.

14. Smesitel' suhih rassypnyh kormosmesej s aktivnym kanalom obratnogo hoda / A. A. Kazhiyahmetova, S. M. Vedishchev, M. K. Braliev, A. S. Ivanov // Sovremennaya nauka: teoriya, metodo-logiya, praktika : III Vseros. (nac.) nauch.-prakt. konf., Tambov, 13–14 aprelya 2021 goda. – Tambov : Izd-vo IP CHesnokova A. V., 2021. – S. 301 – 303.

15. Astapov, S.YU. Povyshenie effektivnosti smeshivaniya v mobil'nom razdatchike-smesitele za schet sovershenstvovaniya shnekovogo apparata: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Astapov Ser-gej YUr'evich. - Michurinsk-Naukagrad, 2007. - 179 s.

16. Demin, O.V. Analiz raboty razlichnyh vidov smesitelej sypuchih materialov periodiche-skogo dejstviya [tekst] / O.V. Demin // Trudy TGTU; Sb. nauch. st. molodyh uchenyh i studentov. – Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2001. – vyp.8. – S. 109-114.

17. Frolov, N. Dozator – smesitel' kormov [tekst] / N. Frolov, G. Mal'cev // Sel'skij mekha-nizator, - 2007. - №5. – 5 s.

18. YAcunov, A. Kachestvo smesi obespechivaetsya vibraciej [tekst] / A.Y. Acunov // Sel'skij mekha-nizator. - 2008. - №77. - S.35-36.

19. Ivanova, A.P. Nauchno-tekhnicheskie aspekty povysheniya effektivnosti raboty vibrosmesi-telej: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Ivanova Anastasiya Petrovna. - Orenburg, 2005. – 38 s.

20. Vertikal'nye lopastnye smesiteli serii «VLS» [elektronnyj resurs] / Kompaniya «ZHasko». – Rezhim dostupa: http://www.jasko.ru/jasko/katalog/pererabotka/smesitel/vls.html.

21. Tendencii razvitiya inzhenernogo obespecheniya v sel'skom hozyajstve: Uchebnik / A. I. Za-vrazhnov, L. V. Bobrovich, S. M. Vedishchev [i dr.]. – Sankt-Peterburg; Moskva; Krasnodar : Izda-tel'stvo "Lan'", 2021. – 686 s. – (Vysshee obrazovanie). – ISBN 978-5-8114-7398-4.

22. Oficial'nyj sajt VNIIPTIMESKH [elektronnyj resurs] /-Rezhim dostupa: vniiptimz.ly.ru/

23. Patent №2633893 RF MPK V0IF. Ustrojstvo dlya smeshivaniya sypuchih kormov i suhih dobavok / V.V. Konovalov, V.P. Teryushkov, V.V. Konovalov, A.V. CHupshev. - № 20160147278; za-yavl.01.12.2016; opubl.19.10.2017. Byul. № 29. – 8 s.

24. Konovalov, V.V. Povyshenie effektivnosti sredstv mekhanizacii prigotovleniya i vydachi kormosmesej v svinovodstve: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Konovalov Vladimir Viktorovich. - Penza:2005. - 38 s.

Информация об авторах

С.М. Ведищев - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агроинженерия»; А.И. Завражнов - доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО ТГТУ, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН; главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»; А.В. Прохоров - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Агроинженерия; Е.Б. Ложкина - младший научный сотрудник

Information about the authors

CM. Vedischev - doctor of technical sciences, professor, head of the department "Agroengineering"; A.I. Zavrazhnov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Agroengineering, FGBOU VO TSTU, Chief Researcher of the FGBNU VNIITiN; Chief Researcher, FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"; A.V. Prokhorov - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agroengineering; E.B. Lozhkina - junior researcher

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 20.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.07.2022