

УДК 636.085.55

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОМБИКОРМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЦЕННЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК

Пахомов Виктор Иванович
д-р техн. наук, профессор, член-корр. РАН
РИНЦ SPIN-код: 5815-4913
v.i.pakhomov@mail.ru
*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону, Россия
Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград,
Россия*

Рудой Дмитрий Владимирович
д-р техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код: 3297-3460
rudoy.d@gs.donstu.ru
*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону*

Мальцева Татьяна Александровна
канд. техн. наук
РИНЦ SPIN-код: 7418-8531
tamalceva@donstu.ru
*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону*

Чигвинцев Виктор Викторович
канд. полит. наук
РИНЦ SPIN-код: 7821-2428
vchigvincev@donstu.ru
*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону*

Рыбак Александр Тимофеевич
д-р техн. наук, профессор
РИНЦ SPIN-код: 5860-0038
2130373@mail.ru
*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону*

Старостин Дмитрий Владимирович
студент
РИНЦ SPIN-код: 1277-5492
ddmmiitr2004@gmail.com
*Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону*

Мартынюк Игорь Олегович
студент
РИНЦ SPIN-код: 3668-6495
igor.mart2004@mail.ru
Донской государственный технический

UDC 636.085.55

4.3.1 Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

FEATURES OF THE PROCESS OF MIXING COMPOUND FEEDS USING HIGH-VALUE FEED ADDITIVES

Pakhomov Victor Ivanovich
Dr.Sci.Tech., Professor, Corr. Member of RAS
RSCI SPIN-code: 5815-4913
v.i.pakhomov@mail.ru
*Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russia
Agrarian Research Center "Donskoy", Zernograd,
Russia*

Rudoy Dmitry Vladimirovich
Dr.Sci.Tech., associate professor
RSCI SPIN-code: 3297-3460
rudoy.d@gs.donstu.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don

Maltseva Tatyana Alexandrovna
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 7418-8531
tamalceva@donstu.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don

Chigvintsev Victor Viktorovich
Cand.Polit.Sci.
RSCI SPIN-code: 7821-2428
vchigvincev@donstu.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don

Rybak Alexander Timofeevich
Dr.Sci.Tech., Professor
RSCI SPIN-code: 5860-0038
2130373@mail.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don

Starostin Dmitry Vladimirovich
Student
RSCI SPIN-code: 1277-5492
ddmmiitr2004@gmail.com
Don State Technical University, Rostov-on-Don

Martynyuk Igor Olegovich
Student
RSCI SPIN-code: 3668-6495
igor.mart2004@mail.ru
Don State Technical University, Rostov-on-Don

университет, Ростов-на-Дону

Процесс смешивания является одним из важнейших процессов производства комбикормов. Особое значение имеет внесение кормовых добавок и их равномерное распределение по всей массе смеси. Целью исследования является обзор, выявление основных факторов и их параметров, влияющих на процесс смешивания комбикормов с использованием высокоценных кормовых добавок. Основными факторами, влияющими на эффективность смешивания кормовой смеси являются время смешивания, физические свойства компонентов кормовой смеси, тип оборудования, его конструктивно-кинематические особенности и условия эксплуатации. Выявлены оптимальное время смешивания – от 3 до 6 мин. Описаны основные способы внесения высокоценных кормовых добавок в корма: смешивание, напыление и вакуумное внесение. Средний размер высокоценных кормовых добавок при их внесении путем смешивания должен быть не более 250 мкм

Ключевые слова: СМЕШИВАНИЕ; КОМБИКОРМ; КОРМ; ПРОБИОТИКИ; ПОСТБИОТИКИ; БАКТЕРИОЦИНЫ; ЭФФЕКТИВНОСТЬ СМЕШИВАНИЯ; СПОСОБ ВНЕСЕНИЯ ПОСТБИОТИКОВ В КОРМА

The mixing process is one of the most important feed production processes. Of particular importance is the introduction of feed additives and their uniform distribution over the entire mass of the mixture. The purpose of the study is to review and identify the main factors and their parameters affecting the process of mixing compound feeds using high-value feed additives. The main factors influencing the efficiency of mixing the feed mixture are the mixing time, the physical properties of the feed mixture components, the type of equipment, its structural and kinematic features and operating conditions. The optimal mixing time is from 3 to 6 minutes. The main methods of introducing high-value feed additives into feed are described: mixing, spraying and vacuum application. The average size of high-value feed additives when applied by mixing should be no more than 250 microns

Keywords: MIXING; COMPOUND FEED; FEED; PROBIOTICS; POSTBIOTICS; BACTERIOCINS; MIXING EFFICIENCY; METHOD OF ADDING POSTBIOTICS TO FEED

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-211-047>

Введение. Процесс смешивания является одним из важнейших этапов в технологии производства комбикормов. Равномерное распределение компонентов обеспечивает поступление всех питательных (белки, жиры, углеводы) и биологически активных веществ (пробиотики, ферменты, пептиды, постбиотики и прочее) в организм животного. При смешивании большее внимание уделяют именно биологически активным веществам (БАД) и прочим кормовым добавкам, которые вводятся в комбикорма в небольшом количестве - от 1 до 10 г/тонн. Равномерность их распределения является критически важным, поскольку превышение дозировки биологически активных веществ в рационе животного может негативно сказаться на его здоровье: интоксикация, снижение эффективности работы поджелудочной железы, ее морфологические изменения, снижение усвояемости корма и прочее [1].

<http://ej.kubagro.ru/2025/07/pdf/47.pdf>

Низкие концентрации биологически активных веществ в комбикорме, которые возникли в результате неравномерного их распределения, также могут оказывать негативное влияние на здоровье животного. Дефицит витаминов и минеральных веществ может вызвать различные заболевания и нарушения в организме. Низкое содержание пробиотиков, постбиотиков и прочих высокоценных кормовых компонентов также может негативно сказаться на функциях организма. Как правильно, про – и постбиотики используют для восстановления нормальной микрофлоры кишечника и поддержания иммунной системы. В случае недостаточного количества этих веществ в организме животного, их эффективность будет незначительна, а использование дорогостоящих компонентов в рецептуре комбикормов будет не целесообразным. Поэтому, при производстве рассыпных комбикормов, или подготовке кормовой смеси перед гранулированием или экструдированием, важно учитывать факторы, влияющие на равномерность распределения кормовых частиц по всей массе кормовой смеси. Целью исследования является обзор, выявление основных факторов и их параметров, влияющих на процесс смешивания комбикормов с использованием высокоценных кормовых добавок.

1. Определение равномерности распределения частиц комбикорма

Качество смешивания характеризуется коэффициентом однородности, которую принято определять путем расчета содержания какого-либо компонента, называемого индикатором, в кормовой смеси. Считается, что степень распределения индикатора в кормовой смеси характеризует степень распределения остальных компонентов в смеси [2]. В качестве индикаторов чаще других используют ферромагнитные микротрейсеры, состоящие из железа с нанесенными пищевыми красителями, а также аминокислоты, витамины, минеральные вещества и

различные препараты (например, лекарственные либо пробиотические) [3]. Их используют при производстве премиксов и специализированных комбикормов, в состав которых входят компоненты, вводимые в количестве от 1 до 10 г на 1 тонну. Такие индикаторы с высокой точностью позволяют определить равномерность распределения биологически активных веществ по всей массе изготавливаемого продукта.

Для определения однородности после смешивания отбирают пробы по всей длине смесительной установки (не менее 5 проб [4]). Коэффициент однородности K_o определяется следующим образом (1) [4]:

$$K_o = \left(1 - \frac{\frac{\sum(x_i - x_{cp})^2}{n-1}}{x_{cp}}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

где x_i – содержание индикатора в пробе, %, г, шт; x_{cp} – среднее содержание индикатора в пробе, %, г, шт; n – количество проб, шт.

2. Факторы, влияющие на процесс смешивания. В работе [2] подробно описаны 3 этапа смешивания: интенсивное перемешивание компонентов (особое влияние оказывают конструктивно-кинематические параметры смесителя), диффузионное смешивание (особую роль на данном этапе играют физические свойства компонентов кормовой смеси) и стабилизация процесса смешивания. На основе анализа данных этапов, можно выделить основные факторы, влияющие на эффективность смешивания кормовой смеси: время смешивания, физические свойства компонентов кормовой смеси (размер частиц, их плотность и прочее), тип оборудования, его конструктивно-кинематические особенности и условия эксплуатации (например, коэффициент заполнения рабочей камеры).

2.1 Время смешивания. Время смешивания определяется эмпирическим путем в зависимости от вида используемого оборудования и состава кормовой смеси. Среднее время смешивания составляет от 3 до 6 минут. Так, по данным [3], коэффициент однородности при размере частиц менее 699 мкм увеличивается с 64,9% (время смешивания 0,5 мин) до

91,2% (время смешивания 3 мин.). Важно учитывать, что увеличение времени смешивания комбикормовой смеси не всегда оказывает положительного влияния на качество и эффективность смешивания: превышение времени смешивания увеличивает расходы на электроэнергию, что будет сказываться на себестоимости продукции. Кроме того, продолжительное смешивание может привести к сегрегации комбикормовой смеси – ее расслоению. Поэтому важно экспериментально определять время смешивания в диапазоне, в среднем от 3 до 6 мин.

2.2 Физические свойства компонентов. Крупность частиц комбикорма оказывает существенное влияние как на процесс смешивания, так и на процесс гранулирования, поэтому подготовка компонентов комбикорма перед их смешиванием является важнейшим этапом в технологии производства комбикормов. Особое значение имеет гранулометрический состав комовой смеси при производстве стартовых комбикормов. В соответствии с ГОСТ 10385, размер частиц комбикормовой смеси должен быть менее 0,315 мм. При производстве продукционных гранулированных комбикормов (диаметр гранулы до 5 мм) размер частиц не должен превышать 0,63 мм. При производстве продукционных гранулированных комбикормов (диаметр гранулы более 5 мм) размер частиц – не более 1 мм. Гранулометрический состав кормовой смеси определяется путем просеивания на ситах с соответствующими отверстиями. Допускается остаток на сите (0,315 мм, 0,63 мм и 1 мм) не более 10%.

По данным [6], гранулометрический состав биологически активных веществ не должен превышать 250 мкм. В зависимости от доли внесения биологически активных добавок, а также других кормовых добавок, размер частиц может быть крупнее при увеличении количества этого вещества в кормовой смеси. Так, при добавлении БАД в комбикорм в количестве 1 г на 1 тонну продукции, размер частиц должен составлять 44

мкм. При увеличении концентрации 40 г/т размер частиц может составлять 149 мкм [7].

2.3 Тип оборудования, его конструктивно-кинематические особенности и условия эксплуатации. Для внесения БАД и других кормовых добавок в кормовую смесь, повсеместно используют смесительные установки. В технологии производства комбикормов используют как горизонтальные (рисунок 1а), так и вертикальные смесительные установки (рисунок 1б) периодического или непрерывного действия [4,5].



а



б

Рисунок 1 – Смесительные установки: а – горизонтальные; б – вертикальные [8]

Они удобны в эксплуатации, современные установки обеспечивают от 90 до 98% однородности смеси. Выбор установки – горизонтального или вертикального типа – зависит от компонентов, используемых в рецептуре. Так, вертикальные смесители используют для смешивания исключительно сыпучих компонентов. При добавлении жиров, мелассы и прочих компонентов, не обладающих сыпучестью, используют горизонтальные.

В горизонтальных смесителях в качестве рабочего органа чаще других используют как лопатки (лопастные смесители), так и ленты (ленточные смесители). Особенностью лопастных смесителей является более широкий диапазон заполнения рабочей камеры продуктом – от 20 до 100%. При использовании ленточных смесителей, рекомендуемый диапазон заполнения рабочей камеры – от 70 до 100% [2]. Важно учитывать объемы рабочей камеры и не превышать допустимых значений - 100%. Так, при увеличении загрузки рабочей камеры смесителя на 20% коэффициент равномерности смешивания снижается с 95 до 66% [3].

Для внесения БАД и других кормовых добавок, витаминов, антиоксидантов, ферментов применяют напыление с помощью специализированных установок (рисунок 2). Особенностью данного способа является внесение данных компонентов в жидкой форме в количестве до 5% от общей массы кормовой смеси. Размер частиц не должен превышать 0,04-0,09 мм (40-90 мкм) [8], плотность жидкости 0,15-0,8 т/м³ [9]. Внесение пробиотиков и постбиотиков (в частности, бактериоцинов) таким способом может негативно сказаться на их эффективности за счет взаимодействия с водой. Еще одним способом внесения сухих высокоценных кормовых добавок в комбикорма является внесение под вакуумом за счет установок, предназначенных для внесения жировой фракции – обмасливатели гранул (рисунок 3).



Рисунок 2 – Установка финишного напыления компонентов комбикормов [9]



Рисунок 3 – Ожириватель комбикормов [9]

Но для полноценного промышленного использования данных установок для внесения пробиотиков и постбиотиков в комбикорма необходимы дополнительные исследования.

Выводы. Процесс смешивания является определяющим фактором эффективности использования комбикормов с высокоценными кормовыми добавками (БАД, пробиотики, постбиотики (в том числе бактериоцины), витамины, минеральные вещества, ферменты и прочее). Важно учитывать их размер частиц и долю внесения в комбикорма. Средний размер высокоценных кормовых добавок при их внесении путем смешивания должен быть не более 250 мкм. При добавлении 1 г на 1 тонну продукции, размер частиц должен составлять 44 мкм. При увеличении концентрации 40 г/т размер частиц может составлять 149 мкм. При добавлении в жидком виде с помощью установок финишного напыления гранулированных комбикормов – размер частиц должен быть в диапазоне 40-90 мкм.

Благодарности. Работа проведена в рамках выполнения проекта "Разработка персонализированных кормов нового поколения с растительными и пробиотическими добавками для повышения выживаемости и улучшения здоровья рыб" (FZNE-2023-0003).

Литература

1. Зайцев В.В., Константинов В.П. Влияние различных доз препарата «полизон» на развитие поджелудочной железы. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. №1. С. 18-19.
2. Спесивцев А. Процесс смешивания при производстве комбикормов. Комбикорма. 2018. №. С. 37-41.
3. Жданова Н.В. Применение ферромагнитных микротрейсеров как индикаторов определения качества однородности лечебных кормов, комбикормов и премиксов. Вестник ВНИИМЖ. 2018. №2(30). С. 123-127.
4. Опара В.А. и др. Упрощенный способ определения качества смешивания компонентов комбикормов в производственных условиях. Селекция на современных популяциях отечественного молочного скота как основа импортозамещения животноводческой продукции : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Белгород: ООО "КОНСТАНТА", 2018. С. 351-357.
5. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23(5). С. 732-739. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>
6. Афанасьев В.А. и др. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных: Воронеж, 2007. 389 с.
7. Крюков В.С. Производство однородных комбикормов и качество премиксов. URL: <https://soyanews.info/news/-Proizvodstvo-odnorodnykh-kombikormov-i-kachestvo-.html?ysclid=mex08rbjne63233950> (дата обращения: 29.08.2025).
8. Новая установка финишного напыления URL: <https://www.technex.ru/novosti/novaya-ustanovka-finishnogo-napyleniya?ysclid=mexwzou7j0629521778> (дата обращения: 29.08.2025).
9. ООО «Доза-Агро» URL: <https://dozaagro.com> (дата обращения: 29.08.2025).

References

1. Zajcev V.V., Konstantinov V.P. Vliyanie razlichny`x doz preparata «polizon» na razvitie podzheludochnoj zhelezy`. Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. 2011. №1. S. 18-19.
2. Spesivcev A. Process smeshivaniya pri proizvodstve kombikormov. Kombikorma. 2018. №. S. 37-41.
3. Zhdanova N.V. Primenenie ferromagnitny`x mikrotrejserov kak indikatorov opredeleniya kachestva odnorodnosti lechebny`x kormov, kombikormov i premiksov. Vestnik VNIIMZh. 2018. №2(30). S. 123-127.
4. Opara V.A. i dr. Uproshhennyj`j sposob opredeleniya kachestva smeshivaniya komponentov kombikormov v proizvodstvenny`x usloviyax. Selekcija na sovremenny`x populyაციyax otechestvennogo molochnogo skota kak osnova importozameshheniya zhivotnovodcheskoj produkcii : Materialy` Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Belgorod: ООО KONSTANTA, 2018. S. 351-357.
5. Saviny`x P. A., Turubanov N. V. Vliyanie izmeneniya texnologicheskix parametrov smesitelya kombikormov na pokazateli ego raboty`. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. № 23(5). S. 732-739. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>
6. Afanas`ev V.A. i dr. Rukovodstvo po tehnologii kombikormovoj produkcii s osnovami kormleniya zhivotny`x: Voronezh, 2007. 389 s.

7. Kryukov V.S. Proizvodstvo odnorodny`x kombikormov i kachestvo premiksov. URL: <https://soyanews.info/news/-Proizvodstvo-odnorodnykh-kombikormov-i-kachestvo-.html?ysclid=mex08rbjne63233950> (data obrashheniya: 29.08.2025).

8. Novaya ustanovka finishnogo napy`leniya URL: <https://www.technex.ru/novosti/novaya-ustanovka-finishnogo-napyleniya?ysclid=mexwzou7j0629521778> (data obrashheniya: 29.08.2025).

9. ООО «Doza-Agro» URL: <https://dozaagro.com> (data obrashheniya: 29.08.2025).