

СТУПЕНЧАТОЕ СМЕШИВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ И ОДНОРОДНОСТЬ КОМБИКОРМОВ

ВАЛЕРИЙ КРЮКОВ, д-р биол. наук, **БОРИС ЛИПНЕР**, ООО «Оптиформ»
СЕРГЕЙ ЗИНОВЬЕВ, канд. с.-х. наук, ВНИИПП — филиал ФНЦ «ВНИТИП»
МИХАИЛ ПУШКАРЁВ, канд. техн. наук, **ИРИНА ПОЛЯКОВА**, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

ПРОБЛЕМА ОДНОРОДНОСТИ

Производителям комбикормов и премиксов часто рекомендуют применять ступенчатое смешивание биологически активных веществ (БАВ) и лекарственных препаратов, особенно используемых в малых дозах. Научных публикаций, обосновывающих необходимость или полезность этих рекомендаций, не существует. Под ступенчатым смешиванием понимают предварительное смешивание целевого препарата с выбранным наполнителем перед вводом в набор компонентов для заключительного смешивания. Поэтому витаминно-минеральный или какой-либо другой премикс по отношению к комбикорму является предварительной смесью. На вопрос, почему ступенчатое смешивание улучшит распределение БАВ по смеси, поставщики не дают четкого ответа. Их аргументы сводятся к утверждению, что сначала нужно смешать с наполнителем, потом внести в основной смеситель — так БАВ якобы лучше будут распределяться (ведь они уже были смешаны), и комбикорм будет однородным. Однако это утверждение не имеет научного обоснования: свойство «однородность» невозможно технически охарактеризовать и, соответственно, подтвердить наличие «однородных» комбикормов. Так, в ГОСТ Р 51848-2001 «Комбикормовая продукция. Термины и определения» указано, что однородность — это «свойство комбикормовой продукции, характеризующее содержание заданного количества всех введенных компонентов в установленной единице ее объема или массы». В этом определении отсутствуют конкретные параметры, при определении которых можно получить подтверждение, что корм однороден. «Свойство» не может быть измерено, оно отражает не материальное понятие, и, кроме того, не определена величина «установленной единицы» объема или массы. Ниже будет показано, что в зависимости от массы образца, отобранного для анализа, величины, характеризующие распределение отдельных веществ в одной и той же смеси, могут различаться в несколько раз.

Коэффициент вариации (C_v) распределения частиц в массе — это показатель, который характеризует степень изменчивости распределения частиц по размерам (или по составу и другим параметрам) по отношению к среднему значению

Перечнем показателей качества комбикормов, указанным в межгосударственных стандартах: ГОСТ 34109-2017 (для свиней), ГОСТ 18221-2018 (для птицы), ГОСТ 9268-2015 (для крупного рогатого скота) и в других, определение однородности не предусмотрено. Это не случайность, а следствие фундаментальной проблемы — невозможности технически измерить обсуждаемый параметр, который не существует в действительности. Обратим внимание, что «компонент» — это «технологически подготовленная составная часть комбикорма». К компонентам относятся все его части, включая зерновые культуры, шроты масличных культур и ряд других, для количественного определения которых отсутствуют методы анализа. Таким образом, в практических условиях невозможно определить «содержание заданного количества всех введенных компонентов», чтобы согласно ГОСТ Р 51848-2001 подтвердить, что произведенный комбикорм является однородным. Отсюда следует вывод: однородность — это придуманный параметр, не подтверждаемый измерениями в связи с отсутствием соответствующего метода.

При изучении равномерности распределения частиц компонентов в комбикорме было установлено, что вариация их содержания в порции зависит от размера (частиц и порции) и времени смешивания. Установлено, что в одной и той же смеси вариация распределения частиц ухудшалась с увеличением их размера и уменьшением продолжительности смешивания (табл. 1). Из этого следует, что определение даже такого простого параметра, как размер частиц, не позволяет судить об однородности комбикорма.

Таблица 1. Влияние размера частиц на коэффициент вариации (Cv) их распределения в смеси (Behnke, 2005)

Средний размер частиц комбикорма, мкм	Время смешивания, мин		
	0,5	1,5	3,0
	Коэффициент вариации, %		
≥ 699	35,1	8,0	8,8
100–899	43,1	10,3	8,7
≤ 900	50,1	14,3	11,6

Ряд важных выводов можно сделать на основании изучения распределения в массе комбикорма микроэлементов. Как видно из данных таблицы 2, количество марганца, вводимого в комбикорм, было наибольшим среди испытанных элементов. При близких величинах плотности углекислого (MnCO_3) и сернокислого ($\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$) марганца средний размер частиц первого был ниже, что привело к увеличению их количества и в результате к лучшему распределению ($\text{Cv} = 2,5\%$ против 6,1 для $\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$). При увеличении массы навески для определения марганца с 20 до 150 г улучшился Cv сернокислого марганца, понизившись с 6,1 до 2,2%. Учитывая, что навески отбирали из одного и того же замеса комбикорма, можно прийти к выводу, что Cv компонента, рассчитанный на основе результатов химического анализа, изменяется в зависимости от массы навески, взятой для анализа, и от размера (следовательно, и числа) частиц в смеси. Эта закономерность подтверждается при анализе распределения в кормовой смеси одной и той же дозы селенита натрия, имеющего разный размер частиц: с уменьшением размера с 780 до 320 мкм Cv снизился с 928,4 до 244,0%, а при увеличении массы навески с 20 до 150 г — с 928,4 до 339,0%. Результаты определения Cv селенита натрия с частицами размером 320 мкм позволяют сделать

вывод: такой комбикорм следует признать недопустимым к скармливанию (детальное обоснование содержится в публикации Крюкова В.С. и др., 2017).

Высокая вариация распределения биологически активного вещества в массе комбикорма приводит к попаданию его в большом количестве в одни порции и, соответственно, к дефициту в других. Недостаточное количество частиц селенита натрия для их равномерного распределения в смеси подтверждается при сравнении с сернокислым цинком (при размере частиц 320 мкм), однако его масса в комбикорме превышала в 706 раз массу селенита натрия, соответственно, было больше и его частиц, что дало возможность равномерно распределить их в порции корма при смешивании. На основании анализа фактических данных Панин И.Г. и соавт. (2004, 2009) пришли к выводу, что ряд БАВ, включаемых в состав комбикорма в количестве до 10 г на 1 т, распределяются с высокой степенью вариации, что вызвано недостаточным количеством их частиц в одном килограмме корма.

С увеличением массы образца, отбираемого для анализа, результаты улучшаются, что четко показывает зависимость коэффициента вариации от величины порции комбикорма или премикса, так как величина определяет количество частиц, которые попадут в порцию. Отмеченная взаимозависимость обусловлена тем, что при смешивании компонентов в смеси распределяются не внесенные в нее единицы массы веществ, а их частицы, которые являются носителями дозируемой массы.

Таким образом, ни расчет Cv размера частиц, ни распределение отдельных компонентов в порции смеси не позволяют сделать вывод об однородности корма, поскольку по изучаемым параметрам можно судить только о распределении отдельных выбранных компонентов в конкретных условиях.

Таблица 2. Коэффициенты вариации распределения микроэлементов в комбикорме в зависимости от их дозы, физических свойств и массы выборки (Жданова, 2016)

Микроэлемент	Содержание элемента в корме, г/т	Источник элемента	Плотность частиц, г/см ³	Размер частиц, мкм	Масса выборки, г	
					20	150
					Cv элемента в выборках, %	
Марганец	100	$\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	2,950	280	6,1	2,2
	100	MnCO_3	3,125	120	2,5	0,9
Цинк	70	$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	3,740	320	10,2	3,7
	70	ZnCO_3	4,440	260	21,2	7,7
	70	ZnO	5,700	210	11,9	4,4
Медь	2,5	$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	2,290	640	122,1	44,6
	2,5	CuCO_3	4,000	100	15,2	5,6
Кобальт	1,0	$\text{CoSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	1,948	800	232,5	84,9
	1,0	$\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	1,924	1130	424,6	155,0
	1,0	CoCO_3	4,130	560	292,6	106,9
Йод	0,7	KJ	3,140	620	459,4	167,7
Селен	0,2	Na_2SeO_3	3,070	780	928,4	339,0
	0,2	Na_2SeO_3	3,070	320	244,0	89,1

МАРКЕРЫ

Рекомендации по определению концентрации некоторых веществ, содержащихся в комбикорме или добавляемых в него компонентов в виде маркеров для оценки однородности комбикорма (Жданова, 2016; Писаренко П.В. и соавт.), нельзя признать удачными. Так, в последнее время получили распространение предложения по применению микротрейсеров в качестве маркеров, характеризующих однородность комбикорма. Микротрейсеры приготовлены на основе железных опилок (в таблице 3: Микротрейсер Red #40 и Микротрейсер RF-Blue Lake), насыпная плотность которых в 10 раз выше, чем комбикорма, размер их частиц около 250 мкм, поэтому в данном случае можно говорить только о распределении по комбикорму микротрейсеров, но не всех компонентов.

Из данных таблицы 3 следует, что после 2,5 и 5 минут перемешивания компонентов распределение микротрейсеров в комбикорме было одинаковым, поэтому логично предположить, что 2,5 минут достаточно для производства качественного комбикорма. Однако наибольшей равномерности распределения метионина и лизина удалось достичь только через 5 минут. Это демонстрирует несогласованное распределение в смеси металлических микротрейсеров и компонентов.

Таблица 3. Вариации распределения маркеров в комбикорме (Clark и соавт., 2007)

Вещество, изучаемое в качестве маркера	Время смешивания	
	2,5 мин	5 мин
	Коэффициент вариации, %	
DL-метионин	14,56	9,47
L-лизин HCl	16,00	8,70
Соль (по хлору)	12,75	15,08
Марганец	20,80	17,59
Микротрейсер Red #40 (по частицам)	11,72	10,43
Микротрейсер Red #40 (по поглощению)	20,09	18,64
Микротрейсер RF-Blue Lake	25,15	25,54

Обсуждаемые результаты подтверждают отсутствие возможности технического обоснования определения критерия однородности корма и, следовательно, доказательства его существования. Широко распространенное в профессиональной среде выражение «однородный корм» не обосновано, однако оно привлекательно с точки зрения маркетинга и является фактором воздействия продавцов комбикормов и премиксов на заказчиков. Также продавцы смесителей в рекламных проспектах иногда пишут, что предлагаемый смеситель обеспечивает однородность смешивания компонентов 95 и даже 98%. Если не указан используемый маркер, условия смешивания и характеристика смеси, то эти цифры следует воспринимать

как необоснованную рекламу. Использование маркеров может быть оправдано при сравнении эффективности действия разных смесителей, их износа (если есть исходные данные) и, возможно, определения оптимальной величины заполнения смесительной камеры, а также для выявления участков производственной линии, на которых происходит сепарация компонентов рассыпного комбикорма и при его транспортировании, в том числе точки от смесителя до отгрузки в транспорт и даже до попадания в кормушку. Это позволит установить критические контрольные точки (ККТ) технологического процесса, в которых регистрируется его негативное влияние на качество комбикорма, и проводить корректирующие действия. При этом надо помнить, что компоненты комбикорма при смешивании ведут себя иначе, чем коммерческий маркер. Нормативные требования к свойствам маркеров не установлены, поэтому рекомендации по их применению не могут быть официальными. По нашему мнению, в качестве маркеров лучше использовать вещества, которые по физическим свойствам (насыпная масса, крупность, сыпучесть и другие) близки к таковым в комбикорме и доступны для лабораторного анализа с минимальными погрешностями измерений.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СМЕШИВАНИЕ

Для предварительного смешивания отдельных БАВ или их комплекса рекомендуют использовать подходящий компонент, однако критерий его выбора не регламентирован, что явится дополнительным источником влияния на результаты смешивания. При разбавлении доза активного вещества (и даже идеальное распределение в предварительной смеси) не изменяет количества его частиц, поэтому отсутствуют основания для улучшения надежности их распределения в смеси. Утверждение о необходимости или пользе предварительного смешивания не доказано экспериментально и не описано ни в одной научной статье, хотя в ряде публикаций подтверждена его бесполезность. Еще в 1983 г. McElhiney R.R. и Tangprasertchai P. показали, что при разбавлении БАВ перед внесением в кормовую смесь в соотношении 1:1; 1:5; 1:10; 1:25 и 1:50 не было установлено влияние предварительного смешивания на вариацию содержания БАВ в смеси (табл. 4). Диапазон колебаний концентрации БАВ в корме при всех разбавлениях находился в пределах 212–280 г/т, или 86,5–114,3%, тогда как в образце корма, в который вносили неразбавленный препарат, диапазон колебаний составил 92,8–120,5%.

Позднее аналогичные исследования в расширенном объеме были проведены в институте кормовых технологий в Брауншвейге (Feil, Strauch, 2006). Используя в качестве маркера метилвиолет, который вносили в смеситель без разбавления или в составе смесей массой 100, 500 или 2000 г, установили, что во всех случаях коэффициент вариации маркера не зависел от его предварительного разбавления и через 120 секунд смешивания он составлял в среднем

4,5%. В другом опыте эти же исследователи показали, что при включении в корм 150 г/т сульфата меди или в составе предварительной смеси массой 500 и 2000 г после 2 минут смешивания вариация распределения меди в смеси была одинаковой (Feil, Strauch, 2006).

Известны различные физические и технологические факторы, влияющие на распределение БАВ или маркера в смеси (Обухов А.Д. и др., 2020). Для снижения неравномерного распределения содержания БАВ в кормовой смеси недостаточно совершенствования систем дозирования компонентов, смесителей и другого технологического оборудования. Эти важные проблемы требуют дополнительного рассмотрения научно-инженерным сообществом, объединяющим ученых и специалистов в области техники и технологий для комбикормовой индустрии.

Таблица 4. Зависимость коэффициента вариации распределения БАВ в корме от кратности разбавления

Кратность разбавления	Среднее содержание БАВ в образцах, г/т	Диапазон колебаний	Коэффициент вариации, %
Неразбавленный препарат	249	231–300	6,59
1:1	248	224–265	4,34
1:5	247	212–279	6,56
1:10	244	218–268	6,64
1:25	244	220–280	7,17
1:50	243	227–274	4,97

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЧАСТИЦ В ПОРЦИИ

Как отмечалось выше, улучшение распределения микроэлементов в массе комбикорма происходило при уменьшении размера частиц солей, что, соответственно, вело к увеличению их количества в порции. Коэффициент вариации также снижался при увеличении навески, взятой на анализ из той же смеси. Из этого следует логичный вывод: при уменьшении размера частиц всегда увеличивалось их количество в анализируемой навеске. На основании приведенных в таблице 2 исходных данных можно рассчитать количество частиц, попадающих в навеску для анализа. Для примера возьмем кристаллогидрат сернокислого марганца, который включали в комбикорм в количестве 454,5 г на 1 т (чтобы обеспечить внесение 100 г/т марганца), при этом средний размер частиц составлял 0,028 см. Исходя из этого размера средний объем одной частицы составлял 0,011 см³, средняя масса — 0,000034 г (при плотности 2,950 г/см³). Разделив количество сернокислого марганца, введенного в 1 т комбикорма, на среднюю массу одной частицы, получим, что в 1 т комбикорма должно содержаться в среднем: $454,5 \text{ г} / 0,000034 \text{ г} = 13\,410\,645$ частиц. Следо-

вательно, в порции 20 г будет содержаться 268 частиц, в порции 150 г — 2012 частиц. При этом расчетный коэффициент вариации распределения частиц в порции 20 г составит 6,1%, в 150 г — 2,45%. Сравнивая данные, полученные при теоретических расчетах, с данными, сделанными на основании результатов химических анализов, видим почти полное их совпадение. На этом основании можно сделать следующие важные выводы. Прежде чем приобретать БАВ или отправлять корм на анализ, следует измерить (или потребовать информацию у поставщика) размер его частиц и рассчитать их количество в единице массы комбикорма, а затем, как указано было выше, рассчитать, с каким коэффициентом вариации ожидается присутствие частиц анализируемого вещества в потребляемой суточной порции и в навеске, выделяемой для анализа. В ряде опубликованных статей, в том числе в статье Крюкова В.С. (2017), указано, что если C_v концентрации контролируемого вещества равен 5%, то он считается отличным, а если $C_v = 10\%$ — хорошим. Но если C_v больше 10%, этот параметр будет считаться неудовлетворительным и следует ужесточить требования к крупности помола дозируемого компонента. При этом необходимо обратить внимание на важную деталь: порция комбикорма, потребляемая цыпленком в первые две недели жизни, составляет 25–50 г в сутки, тогда как масса навески, выделяемой для анализа, может быть 1–10 г, что значительно меньше, чем масса потребляемой порции. Следовательно, количество частиц анализируемого вещества в ней будет в несколько раз ниже и, соответственно, возрастет C_v . Часто при этом руководители предъявляют претензии к лаборантам, которые якобы не умеют работать, исходя из того, что БАВ сдозировали точно и смешали на современном смесителе. Но ведь лаборанты дают те результаты, которые получили на основании измерений. Проблема не в их профессионализме, а в том, что во время производства комбикорма частицы точно сдозированного БАВ были настолько крупными, что в навеске комбикорма, взятой для анализа, их оказалось недостаточно, чтобы обеспечить концентрацию контролируемого вещества с C_v менее 10%.

Анализ расчетов величины C_v , а также данных, приведенных в таблице 2, подтвердил существование квадратичной зависимости между изменением величины порции (навески) и C_v . Продемонстрируем на примере вариации содержания веществ в двух порциях 20 и 150 г. Отношение $150/20 = 7,5$, корень квадратный из этого отношения ($\sqrt{7,5}$) равен 2,74. Если C_v марганца в 150-граммовой навеске 2,2%, то с уменьшением навески до 20 г, то есть в 7,5 раз, C_v возрастет в 2,74 раза. Эта закономерность прослеживается и по другим источникам микроэлементов, рассматриваемым в статье. Можно сделать обратный расчет: если, например, после определения какого-либо вещества химическим методом в навеске 2 г установили $C_v = 35\%$, то в потребляемой цыпленком суточной порции 50 г ко-

эффицент вариации C_v будет равен 7% (35/5), то есть ниже в 5 раз ($\sqrt{50}/2$).

Перед закупками заказчик может самостоятельно рассчитать размер частиц биологически активного вещества, который обеспечит его попадание в суточную порцию потребляемого корма с заданным коэффициентом вариации. Если из теоретических расчетов следует, что предлагаемый поставщиком продукт, содержащий БАВ, не может обеспечить его распределение в минимальной потребляемой порции с коэффициентом вариации менее 10%, то такой продукт не стоит покупать. Отметим, что результаты расчетов показывают потенциальную возможность распределения БАВ в порции смеси, отобранной непосредственно из смесителя. Для исключения сепарации компонентов, в том числе БАВ, необходимо, чтобы смеситель был оборудован бомболюком и комбикорм из него выгружался в течение 2–3 секунд, а не 1–2 минуты, как это происходит при выгрузке через люк с задвижкой. Транспортирование рассыпного комбикорма, например, на линию гранулирования или премиксов на линию фасовки приводит к дальнейшей сепарации компонентов. Как установлено исследованиями, в пробах, отобранных непосредственно из-под смесителя, отмечается наименьшая вариация БАВ. Она может возрасти в несколько раз по мере перемещения по технологической цепи в зависимости от конструкции транспортного оборудования и, особенно, бункеров.

Несмотря на возможные технологические проблемы, потребитель комбикормов или премиксов должен получать качественную продукцию, что бы ни говорил ее производитель о совершенстве своих систем дозирования и смешивания.

ВЫВОД

Широко распространенное определение «однородный» применительно к комбикорму, премиксу или к другой многокомпонентной кормовой продукции является устойчивым в профессиональной среде. Однородных комбикормов, как и другой комбикормовой продукции, не существует, поскольку невозможно дать техническое обоснование этому состоянию и разработать критерий его подтверждающий. О качестве комбикормов можно судить по вариации концентрации в смеси контролируемых компонентов, которые потребитель по каким-то причинам считает критически важными в его условиях.

Предварительное смешивание малых доз БАВ, включаемых в состав комбикорма, решает только одну задачу — снижает погрешность при дозировании, но не влияет на коэффициент вариации распределения в смеси, так как количество их частиц при любом разбавлении в дозируемой порции не изменяется. К недостаткам предварительного смешивания относятся: отсутствие критериев выбора «подходящего» наполнителя; появление

в технологическом процессе дополнительной критической контрольной точки с большой степенью влияния человеческого фактора, который не регламентирован и служит источником возможного ухудшения качества продукции.

Литература/Literature

1. Жданова, Н. В. Применение ферромагнитных микротрейсеров как индикаторов определения качества однородности лечебных кормов, комбикормов и премиксов / Н. В. Жданова // Вестник ВНИИМЖ. — № 2 (30). — 2018. — С. 123–127.
2. Крюков, В. О недостатках методологии по контролю качества комбикормовой продукции / В. Крюков, С. Зиновьев, С. Демидова // Комбикорма. — 2022. — № 4. — С. 32–35.
3. Обухов, А. Д. Исследование способов и устройств производства однородных смесей лечебных комбикормов. Автореферат дисс. к.т.н. / А. Д. Обухов // Москва, 2023. — 24 с.
4. Панин, И. Г. Методика оценки однородности комбикормовой продукции / И. Г. Панин, Ю. М. Колпаков // Аграрная наука. — 2004. — № 8. — С. 21–22.
5. Панин, И. Г. Оценка вариации питательных веществ в суточных рационах кормления животных / И. Г. Панин, Ю. М. Колпаков, Е. С. Шенцова, В. В. Гречишников // Комбикорма. — 2009. — № 5. — С. 76–77.
6. Писаренко, П. В. Применение ферромагнитных микротрейсеров как индикаторов качества однородности комбикормов в сельском хозяйстве / П. В. Писаренко, В. Е. Крикунова, Т. В. Сахно, О. А. Крикунов, Н. Н. Барашков // Вестник Курганской ГСХА. — 2016. — № 4. — С. 50–54.
7. Behnke, K. C. Presentation. Effect of Particle Size on Mixing Efficiency / Behnke K. C. // Iowa Pork Congress, 2005.
8. Clark, P. M. Effects of marker selection and mix time on the coefficient of variation (mix uniformity) of broiler feed / P. M. Clark, K. C. Behnke, D. R. Poole // J. Appl. Poultry Res. — 2007. — N 16. — pp. 464–470.
9. Feil, A. Direktzugabe von Zusatzstoffen — Teil 2 / A. Feil, W. Strauch // Feed Magazine. — 2006. — Kraftfutter, 4. — pp. 24–29.
10. Groesbeck, C. N. Diet mixing time affects nursery pig performance / C. N. Groesbeck, R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, J. M. De Rouchey // Anim. Sci. — 2007. — v. 85. — pp. 1793–1798.
11. McCoy, R. A. Effect of mixing uniformity on broiler chick performance / R. A. McCoy, K. C. Behnke, J. D. Hancock, R. R. McElhiney // Poultry Sci. — 1994. — v. 73. — N 2. — pp. 443–449.
12. McElhiney, R. R. The effect of dilution levels in premixes on micro ingredient dispersion in animal feeds / R. R. McElhiney, P. Tangprasertchai // An. Feed. Sci. Technol. — 1983. — N 8. — pp. 139–146.
13. Traylor, S. L. Mix time affects diet uniformity and growth performance of nursery and finishing pigs / S. L. Traylor, J. D. Hancock, K. C. Behnke, C. R. Stark, R. H. Hines // Kansas State Univ. Swine Day. — 1994. — pp. 171–175. ■