

ПРОЦЕСС СМЕШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМБИКОРМОВ

А. СПЕСИВЦЕВ, инженер-технолог комбикормового производства

Многие специалисты привыкли воспринимать комбикорм как однородную смесь компонентов — именно эти слова стоят на первом месте в его определении. Строго говоря, судить об однородности объектов можно лишь тогда, когда они сравнимы. Существующая методика определения однородности комбикормовой продукции предлагает рассчитывать вариации распределения какого-либо компонента (называя их индикаторными) в тех или иных пробах, предполагая, что все другие компоненты будут распределяться в смеси подобным образом.

Основная роль в формировании однородных сыпучих смесей в технологическом процессе принадлежит узлу дозирования-смешивания. Процессу дозирования определенное внимание было уделено в предыдущей статье, опубликованной в журнале «Комбикорма» в № 12 — 2015. Настоящая же статья посвящена не менее важному процессу — смешиванию.

Смешивание в наиболее распространенных сегодня смесителях периодического действия можно условно разделить на несколько этапов.

Первый этап — интенсивное перемешивание компонентов в результате протекания конвективных и сдвиговых процессов, практически не зависящих от физических свойств компонентов, а зависящих в основном от конструктивных особенностей смесителя: формы; количества, расположения и окружной скорости рабочих органов; соотношения длины и высоты (диаметра) ванны; зазора между ванной и рабочими органами; места ввода компонентов в смеситель. *Второй этап* — диффузионное смешивание, характеризующееся хаотическим движением частиц в рабочем объеме ванны смесителя, когда основную роль уже начинают играть физические свойства компонентов: размер, плотность частиц и т.п. *Третий этап* (или завершающая фаза второго) — установившееся динамическое равновесие между процессом смешивания и сегрегации (расслоения), при котором вариации распределения частиц компонентов могут быть описаны законом Пуассона либо биномиальным законом, в зависимости от уровня ввода компонентов. Стабильность процесса при этом зависит от конструктивных особенностей смесителя, уровня заполнения рабочего объема и другого. Заметим, что в реальных условиях все процессы в той или иной степени происходят одновременно.

Для решения непростой задачи по обеспечению высокой однородности сыпучих смесей инженеры постоянно рабо-

тают над созданием высокоэффективных смесителей. Конструкторы изобрели немало моделей, но наибольшее распространение в комбикормовой промышленности получили одно- и двухвальные смесители периодического действия горизонтального типа. В качестве рабочих смешивающих органов в них используются ленты, лопатки либо и то и другое. Однако лопастные смесители отличаются рядом неоспоримых преимуществ: более коротким временем смешивания за счет более интенсивного перемешивания компонентов; меньшими размерами; расширенным диапазоном загрузки ванны продуктом — от 20 до 100% (70–100% у ленточных); наименьшими и, как правило, регулируемые зазорами между рабочими органами и внутренней поверхностью стенки ванны (до нескольких миллиметров) и другим. Практически все последние модели оборудованы бомболюком по всей длине смесителя, что позволяет перемещать готовую смесь в подсмесительный бункер целым потоком, медленно, не допуская ее распыления. Модельный ряд смесителей постоянно совершенствуется. Некоторые фирмы уже предлагают модели с одним отверстием в ванне, выгрузка продукта из которой осуществляется после ее поворота на 180°. Это позволяет значительно уменьшить зазор между внутренней поверхностью ванны смесителя и его рабочими органами и, как следствие, контаминацию продуктов различной рецептуры. Кроме того, предлагается промывать рабочую ванну жидкостями с целью удаления остатков продукта после каждой партии. Следует сразу сказать, что смесители, используемые в комбикормовой отрасли, весьма чувствительны к перегрузке, и самой распространенной ошибкой начинающих технологов является попытка увеличить рабочий объем этого оборудования с U-образной ванной за счет наращивания бортов.

Технологические возможности смесителей, представленных на российском рынке, чаще всего описываются двумя параметрами: *уровнем ввода компонентов в смесь* — 1:100 000, то есть компонент массой ($m_{\text{ком}}$) 10 г распределяется в 1 т (1 000 000 г) продукции; *коэффициентом вариации (V_v)* — от 2 до 5%, с которым эти 10 г должны быть распределены смесителем, обуславливающими зависимость коэффициента вариации от уровня ввода. Но при производстве комбикормов содержание в них таких препаратов, как витамины К₃, В₁, В₂, В₆, не достигает в 1 т и 10 г, а таких компонентов, как фолиевая кислота, витамин В₁₂, биотин, селенит натрия, соли кобальта и йода, зачастую не превышает 1 г. А эти биоло-

гически активные вещества очень важны для производства высокоэффективных комбикормов, так как обеспечивают до трети продуктивности в хозяйствах потребителей.

Коэффициент вариации (V_c) распределения любого компонента в выборках (M_B) зависит не только от уровня его ввода в смесь ($m_{кмп}$), но и от веса выборок, его плотности ($\rho_{кмп}$) и размеров ($d_{кмп}$) частиц. Следовательно, двух параметров для корректной характеристики смесителей явно недостаточно.

Рассмотрим конкретный пример, как различные микроэлементы будут распределяться в рационах ($M_B = 20 - 150$ г) цыплят-бройлеров, и смогут ли эти смесители обеспечить производство высокоэффективной продукции. При этом значения средних размеров частиц солей микроэлементов позаимствуем из приложения 6 (Технологические свойства сырья для производства премиксов) правил организации и ведения технологических процессов производства продукции комбикормовой промышленности; значения уровней ввода микроэлементов в комбикорма и ряд других параметров — из книги профессора Т.М. Околеловой и др. «Актуальные проблемы применения биологически активных веществ и производства премиксов». Результаты расчетов сведем в таблицу 1.

Анализируя значения в столбце 5 данной таблицы, несложно заметить, что шесть из 12 компонентов имеют уровни ввода ниже предела, регламентируемого для смесителя ($m_{кмп} = 10$ г/т). Очевидно, для производства высокоэффективной продукции нам как минимум понадобится смеситель со значениями технологических параметров

1:1 000 000, или $m_{кмп} = 1$ г/т, $V_c = 2 - 5\%$ и компоненты — источники J, Se , уровень ввода которых равен или больше 1 г/т. И эта задача постепенно решается.

Исходя из значений в столбцах 8 и 9, мы можем сказать, что с коэффициентом вариации равным или менее 5% будет распределен смесителем только один компонент ($MnCO_3$) в выборках 20 г и лишь четыре компонента ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, ZnO , $MnSO_4 \cdot 5H_2O$, $MnCO_3$) — в выборках 150 г. (Но это зависит не только от технических особенностей смесителя.) В то же время ряд анализируемых компонентов будет распределен смесителем с коэффициентом вариации более 5% даже при уровне их ввода в комбикорма $m_{кмп} \geq 10$ г/т, в том числе в выборках 20 г:

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ($m_{кмп} = 311,11$ г/т; $V_c = 10,2\%$),

$ZnCO_3$ ($m_{кмп} = 120,69$ г/т; $V_c = 21,2\%$),

ZnO ($m_{кмп} = 96,82$ г/т; $V_c = 11,9\%$),

$MnSO_4 \cdot 5H_2O$ ($m_{кмп} = 452,49$ г/т; $V_c = 6,1\%$),

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ($m_{кмп} = 10,55$ г/т; $V_c = 122,1\%$);

в выборках 150 г/т:

$ZnCO_3$ ($m_{кмп} = 120,69$ г/т; $V_c = 7,7\%$),

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ($m_{кмп} = 10,55$ г/т; $V_c = 44,6\%$),

что говорит лишь о том, что производитель комбикормов не смог подобрать компоненты с должными гранулометрическими характеристиками. Сравнивая значения в столбцах 8 и 9, можно увидеть, что во всех случаях V_c зависит от M_B , с ростом которых V_c только снижается.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что коэффициенты вариации распределения компонентов в выборках значительно (в десятки, иногда в сотни раз) отличаются друг от

Таблица 1. Коэффициенты вариации распределения компонентов в зависимости от содержания микроэлементов в корме, от плотности, размеров частиц компонентов, от веса выборок, в которых они распределяются

Микроэлемент	Нормы содержания микроэлемента в комбикорме, г/т	Компонент-носитель микроэлемента	Концентрация микроэлемента в носителе	Уровень ввода компонента, г/т	Плотность частиц компонента, г/см ³	Средний размер частиц компонента, мк	Коэффициенты вариации (V_c) распределения компонента в выборках, %	
							$M_B = 20$ г	$M_B = 150$ г
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zn	70,0	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,225	311,11	3,740	320	10,2	3,7
Zn	70,0	$ZnCO_3$	0,580	120,69	4,440	360	21,2	7,7
Zn	70,0	ZnO	0,723	96,82	5,700	210	11,9	4,4
Co	1,0	$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	0,207	4,83	1,948	800	232,5	84,9
Co	1,0	$CoCO_3$	0,451	2,22	4,130	560	292,6	106,9
Co	1,0	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0,248	4,03	1,924	1130	424,6	155,0
Mn	100,0	$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	0,221	452,49	2,950	280	6,1	2,2
Mn	100,0	$MnCO_3$	0,435	229,89	3,125	120	2,5	0,9
Cu	2,5	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,237	10,55	2,290	640	122,1	44,6
Cu	2,5	$CuCO_3$	0,553	4,52	4,000	100	15,2	5,6
J	0,7	KJ	0,754	0,93	3,140	620	459,4	167,7
Se	0,2	Na_2SeO_3 (измельченный)	0,452	0,44	3,070	320	244,0	89,1
Se	0,2	Na_2SeO_3 (неизмельченный)	0,452	0,44	3,070	780	928,4	339,0

Таблица 2. Распределение анализируемых солей в суточных рационах

Компонент-носитель микроэлемента	Уровень ввода компонента в комбикорм, г/т	Плотность частиц компонента, г/см ³	Средний размер частиц компонента, мк	Количество рационов, в которых компоненты отсутствуют, %		Коэффициент вариации (Vc) распределения компонента в рационе, %		Ввод компонента, (%) от нормативного при наличии в рационе			
				M _B = 20 г	M _B = 150 г	M _B = 20 г	M _B = 150 г	M _B = 20 г		M _B = 150 г	
								только одной частицы размером			
				средний	максимальный (1,2 мм)	средний	максимальный (1,2 мм)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	311,11	3,740	320	—	—	10,2	3,7	1,03	54,38	0,14	7,25
ZnCO ₃	120,69	4,440	360	—	—	21,2	7,7	4,49	166,43	0,60	22,19
ZnO	96,82	5,700	210	—	—	11,9	4,4	1,43	266,33	0,19	35,51
CoSO ₄ ·7H ₂ O	4,83	1,948	800	81	—	232,5	84,9	540,50	1824,20	72,07	243,23
CoCO ₃	2,22	4,130	560	88	12	292,6	106,9	856,37	8426,34	114,18	1123,51
CoCl ₂ ·6H ₂ O	4,03	1,924	1130	94	58	424,6	155,0	1802,44	2158,58	240,33	287,81
MnSO ₄ ·5H ₂ O	452,49	2,950	280	—	—	6,1	2,2	0,37	29,49	0,05	3,93
MnCO ₃	229,89	3,125	120	—	—	2,5	0,9	0,06	61,50	0,01	8,20
CuSO ₄ ·5H ₂ O	10,55	2,290	640	33	—	122,1	44,6	148,99	982,10	19,87	130,95
CuCO ₃	4,52	4,000	100	—	—	15,2	5,6	2,32	4002,74	0,31	533,70
KJ	0,93	3,140	620	95	64	459,4	167,7	2110,31	15 300,84	281,37	2040,11
Na ₂ SeO ₃ (измельченный)	0,44	3,070	320	83	—	244,0	89,1	595,20	31 387,68	79,36	4185,02
Na ₂ SeO ₃ (неизмельченный)	0,44	3,070	780	99	91	928,4	339,0	8619,84	31 387,68	1149,31	4185,02

друга. И если бы мы в качестве индикаторного компонента выбрали MnCO₃, то в соответствии с существующей методикой определения однородности могли признать и весь комбикорм однородным (V_c в выборках 20 г достигает 2,5%, а в выборках 150 г — 0,9%). А потом удивлялись бы: почему наша продукция столь неэффективна в кормлении животных и птицы? В то же время значения коэффициентов вариации 100% и более процентов говорят о том, что этот компонент может вообще отсутствовать в выборках.

Размеры частиц солей микроэлементов, используемых в комбикормовом производстве, в соответствии с законом нормального распределения варьируются в широких пределах — от пылевидных, способных витать в воздухе, до аномально крупных (1,2 мм), ограниченных лишь требованием ГОСТ Р 52356-2005 «Премиксы. Номенклатура показателей», что не противоречит действующим нормативным документам.

При изучении данных таблицы 2, куда сведены результаты несложных расчетов, специалистов, безусловно, настораживают значения нескольких показателей. Ряд компонентов, в том числе CoSO₄·7H₂O, CoCO₃, CoCl₂·6H₂O, CuSO₄·5H₂O, KJ и измельченный Na₂SeO₃, будут полностью отсутствовать в 81, 88, 94, 33, 95 и 83% рационов, потребляемых цыплятами-бройлерами в количестве 20 г в сутки (строки 4, 5, 6, 9, 11, 12 в столбце 5). Если в эти 20 г корма попадет одна лишь частица среднего размера названных компонентов (столбец 9), то птица получит соответственно 540,5;

856,37; 1802,44; 148,99; 2110,31 и 595,2% от нормы их ввода в комбикорма. А если в рационе цыплят найдется еще и одна частичка размером 1,2 мм, то, потребляя абсолютно стандартный комбикорм, соответствующий всем нормативным документам, вместе с ней он дополнительно получит 1824,2; 8426,34; 2158,58; 982,1; 15 300,84 и 31 387,68% этих компонентов. Выходит, нормативы, допускающие подобные несоответствия по содержанию БАВ в рационах, не учитывают реальной ситуации. Тем более что 10 из 12 анализируемых компонентов являются солями тяжелых металлов, наблюдения за которыми обязательны во всех средах. Они обладают высокой токсичностью для живых организмов при относительно невысоких превышениях допустимых норм, а также способностью к биоаккумуляции и биомангификации, активно участвуя в биологических процессах. Никакие самые совершенные смесители не могут компенсировать возможные негативные последствия. Ответственность за них лежит только на производителях комбикормовой продукции, не уделяющих должного внимания гранулометрическому составу компонентов.

Наверняка большая часть специалистов — читателей журнала считает, что вводимый в комбикорма премикс не моно-, а мультикомпонент, включающий в себя десятки различных биологически активных веществ, которые, разумеется, должны присутствовать во всех рационах в количестве, предусмотренном рецептами. Относительно новым может прозвучать лишь то, что они будут распределяться в них

совершенно по-разному — в соответствии с уровнем ввода, плотностью и размером частиц. Поэтому при приобретении премиксов необходимо интересоваться гранулометрическим составом компонентов, без чего невозможно даже надеяться, что все БАВ будут присутствовать в рационах животных или не окажутся там в токсичных количествах. Безусловно, на этот процесс легче влиять крупным кормопроизводителям, владеющим собственными премиксными заводами.

Нет сомнения, что все производители хотят выпускать высокоэффективную, востребованную на рынке комбикормовую продукцию. Но от них иногда можно услышать, что их корма не обеспечивают достаточную продуктивность, хотя для этого есть все предпосылки: к инжинирингу и комплектации комбикормового завода была привлечена самая профессиональная западная компания, используется качественное и дорогое сырье, выполняются требования всех действующих нормативных документов. Примерно по тому же сценарию строятся разговоры с производителями оборудования, стремление которых не простирается далее, чем обеспечить выработку стандартной комбикормовой продукции. По ряду причин положение дел в комбикормовой промышленности сложилось так, что понятия «стандартная продукция» и «высокоэффективная продукция» стали совершенно разными. Не будем перечислять эти причины, а попробуем найти ответ на вопрос, который по принципу падающего домино («The Falling Domino Principle») может дать толчок к решению других задач, стоящих перед нами, или по крайней мере определит ясные и понятные условия для их решения. А они очевидны и давно назревшие. В определении термина «комбикорм» необходимо перефразировать малоинформативное (не на-

лагающее на производителя конкретной ответственности) понятие «однородная смесь» на «совокупность рационов, в которых однородность распределения компонентов оценивается по коэффициенту вариации: $V_c \leq 3\%$ — отлично; $3 < V_c \leq 4\%$ — хорошо; $4 < V_c \leq 5\%$ — удовлетворительно». И все сразу встает на свои места и наполняется определенным смыслом. Полностью исключается возможность подмены понятий «стандартный» и «эффективный» корм, по крайней мере для рассмотренного в этой статье примера производства кормов для птицы.

Вопрос контроля в рационах вариации распределения всех компонентов давно решен. Это возможно сделать с помощью специальных программ, если известны коэффициент вариации распределения индикаторного компонента в лабораторных пробах и характеристики компонентов, в том числе индикаторного (уровни ввода, плотность, размеры частиц, вес проб и рационов). При этом в соответствии с предлагаемой классификацией ($V_c \leq 3\%$ — отлично; $3 < V_c \leq 4\%$ — хорошо; $4 < V_c \leq 5\%$ — удовлетворительно) мы можем оценить эффективность корма.

Размеры частиц анализируемых компонентов, необходимые для производства высокоэффективных кормов, приведены в столбцах 4–9 таблицы 3. Как видим, с увеличением выборок M_B и снижением требований к однородности (увеличением V_c) можно использовать компоненты с большим размером частиц $\Phi_{\text{кит}}$. При этом совершенно неважно, вводите ли вы компоненты в составе премиксов, предварительных смесей или непосредственно в основной смеситель комбикормового завода. Например, если вы планируете произвести высокоэффективный корм для цыплят-бройлеров, рацион которых равен 20 г и более,

Таблица 3. Размеры частиц компонентов комбикормов в зависимости от норм содержания в кормах, плотности компонентов, суточных рационов и коэффициентов вариации распределения компонентов в этих рационах

Компонент-носитель микроэлемента	Уровень ввода компонента в комбикорма, г/т	Плотность частиц компонента, г/см ³	Размер частиц компонента ($\Phi_{\text{кит}}$), мк					
			$M_B = 20$ г			$M_B = 150$ г		
			V_c			V_c		
			3%	4%	5%	3%	4%	5%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	311,11	3,740	142	172	200	278	337	391
$ZnCO_3$	120,69	4,440	98	118	137	191	232	269
ZnO	96,82	5,700	84	101	117	164	198	230
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	4,83	1,948	44	53	62	86	104	121
$CoCO_3$	2,22	4,130	26	32	37	52	63	73
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	4,03	1,924	42	50	58	81	99	114
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	452,49	2,950	174	211	245	341	413	479
$MnCO_3$	229,89	3,125	136	165	192	267	323	375
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	10,55	2,290	54	66	76	106	128	149
$CuCO_3$	4,52	4,000	34	41	48	66	80	93
KJ	0,93	3,140	22	26	30	42	51	60
Na_2SeO_3 (измельченный)	0,44	3,070	17	21	24	33	40	47

с оценкой «отлично», то размеры частиц солей микроэлементов должны быть равны или меньше указанных в столбце 4 таблицы 3.

Учитывая изложенное, можно сделать окончательные выводы: если гранулометрический состав компонентов выбран технологом обоснованно, смеситель должен обеспечить распределение всех компонентов с уровнем ввода 1 г/т и более в выборках весом 20 г с коэффициентом вариации 2–5%. Следовательно, смеситель для производства высокоэффективных кормов для цыплят-бройлеров должен характеризоваться тремя параметрами: уровнем ввода компонентов 1:1 000 000, или $m_{\text{кмм}} = 1$ г/т; весом выборок $M_B = 20$ г; коэффициентом вариации распределения компонентов в выборках $V_c = 2$ –5%.

В статье, опубликованной в № 12–2015, был приведен ряд советов технологам, общающимся с поставщиками оборудования. Повторяться не будем, но о некоторых специфических и касающихся именно смесителя вопросах сказать просто необходимо. Очень важно получить у поставщика методику и материалы тестирования. Методика должна убедительно продемонстрировать возможности смесителя производить высокоэффективные корма, в которых все компоненты распределены с заданным коэффициентом вариации, а материалы тестирования в полной

мере ей соответствовать. Если поставщик пытается продемонстрировать лишь результаты распределения какого-либо индикаторного компонента в совершенно необоснованных пробах, несомненно, он вводит вас в заблуждение. Не менее важно уточнить у него о наличии остатков продукта после опорожнения смесителя, минимально допустимой загрузке рабочего объема ванны, рекомендуемом месте подачи компонентов в смеситель, оптимальном времени смешивания, в том числе без ввода жидких компонентов и с их вводом, максимально возможном вводе каждого компонента и в комбинации, другое.

Безусловно, статья не ставила целью раскрыть все нюансы процесса смешивания — важнейшего этапа при производстве высокоэффективной комбикормовой продукции. Он сложен и многогранен, взаимосвязан с другими технологическими процессами, поэтому еще многие годы будет предметом изучения и совершенствования. Если же в ней удалось рассказать и продемонстрировать на примерах, что зависит от технических особенностей и параметров смесителя, а что от свойств компонентов, тем самым определив ответственность и задачи сторон по совершенствованию качества комбикормовой продукции, то поставленную задачу можно считать выполненной. ■

assps775@mail.ru