

ИДЕАЛЬНАЯ ДОБАВКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Я. ПЕФФЕР, компания Evonik Industries AG, Германия

Определение и анализ технологических свойств кормов, кормового сырья и кормовых добавок имеет большое значение для комбикормовой промышленности. Важно использовать апробированные, стандартизированные и сопоставимые методы, чтобы получить надежные результаты для сравнительной оценки свойств, их влияния на качество корма.

Как правило, потребители хотят получать продукт с наилучшими характеристиками, то есть «идеальный». Однако что это означает для комбикормовой промышленности, особенно с точки зрения технологических свойств кормовых добавок? Определенно, «идеальный» продукт не должен пылить (например, из соображений безопасности), демонстрировать хорошую сыпучесть, иметь оптимальную насыпную плотность и низкую вероятность комкования. Кроме того, размер частиц и насыпная плотность всех компонентов должны быть примерно одинаковыми, чтобы в дальнейшем не произошло расслоения комбикорма.

Знания и опыт в оценке технологических свойств обычно получают в ходе ежедневных наблюдений за процессом производства. Это помогает проводить предварительную оценку новых сыпучих материалов и прогнозировать возможные сбои на разных этапах производства. Ни для кого не секрет, что на практике многие кормовые добавки, вводимые в комбикорма, не соответствуют параметру «идеальные». Они характеризуются разнообразными технологическими свойствами из-за различий в

происхождении, типе и способах производства. Именно по этой причине разработано несколько методов, позволяющих оценить технологические свойства кормовых добавок.

Методы оценки технологических свойств сырья и кормовых добавок

К основным параметрам оценки технологических характеристик относятся: сыпучесть, угол естественного откоса, насыпная плотность, пыльность, расслоение, гигроскопичность, тенденция к комкованию, размер частиц. Кроме того, используют коэффициент CARR (индекс слеживаемости Карра), который позволяет оценить слеживаемость порошкообразных продуктов. Свое название он получил в честь изобретателя — фармаколога Чарльза Джелеффа Карра (Charles Jelleff Carr, 1910–2005).

Методы для определения данных показателей легко применимы на практике и позволяют получить надежные результаты.

Сыпучесть определяют с помощью сравнительного метода, который позволяет данный показатель разбивать на 6 классов. Класс 1 присваивают продукту с очень хорошей сыпучестью, а 6 класс — с очень плохой (рис. 1). Класс сыпучести определяется исходя из диаметра выпускного отверстия специальных воронок, через которое исследуемый материал проходит полностью и беспрепятственно. Если продукт застревает в отверстии максимального диаметра (18 мм), то считается, что испытание не пройдено, и сыпучесть материала получает наихудшую оценку — 6 класс. Хорошая сыпучесть продукту крайне важна:

он не налипает на внутренние стенки хранилищ и транспортных средств, то есть выгружается из них полностью и беспрепятственно.

Этот метод простой и быстрый в исполнении. Он хорошо зарекомендовал себя в производственных условиях и демонстрирует хорошую воспроизводимость.

Другой способ определения сыпучести — измерение сопротивления продукта просыпанию с помощью реометра (например, Freeman Technology FT 4). В данном оборудовании используется специальный щуп, на конце которого закреплено лезвие, закрученное специальным образом. Щуп проходит через исследуемый продукт, который начинает перемещаться по заданной винтовой траектории с достижением определенной скорости. Усилия, вызывающие деформацию и движение образца, непрерывно измеряются и используются для расчета энергии, необходимой для обеспечения просыпания материала.

Угол естественного откоса сыпучих материалов определяют путем

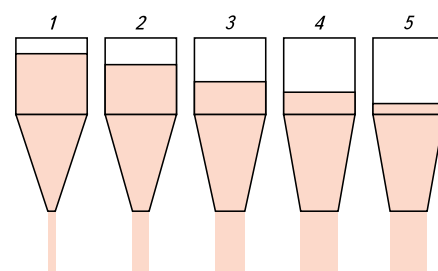


Рис. 1. Определение степени сыпучести с помощью воронок с отверстиями разного диаметра: 2,5; 5; 8; 12 и 18 мм

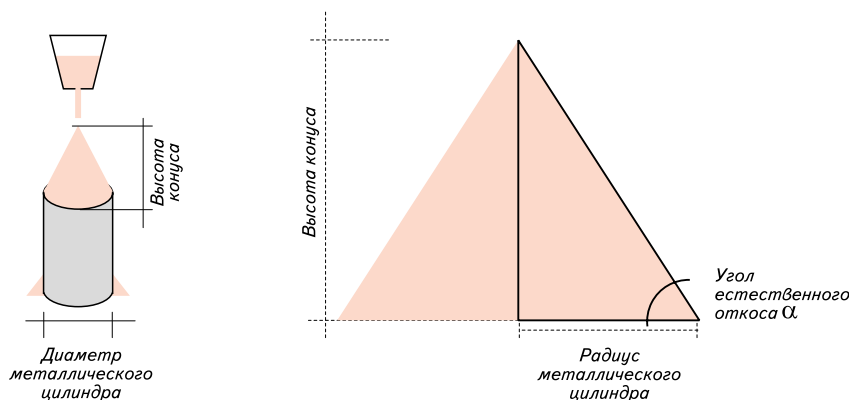


Рис. 2. Определение угла естественного откоса

просеивания через сито, расположенное над металлическим цилиндром. Затем измеряют высоту полученного конуса и определяют величину соответствующего угла (рис. 2). Чем меньше угол естественного откоса, тем лучше сыпучесть. При этом эти два параметра не всегда взаимосвязаны, то есть невозможно рассчитать один на основе другого. Угол естественного откоса характеризует технологические качества продукта при низкой упругости.

Насыпная плотность обязательно учитывается при разработке мешков, биг-бэгов и емкостей для хранения, а также используется для расчета объема кормов. Высокая насыпная плотность необходима для оптимальной загрузки контейнеров. Ее определяют путем измерения объема определенного количества сыпучего продукта. Как правило, насыпная плотность кормового сырья и добавок составляет от 350 до 790 кг/м³, или в среднем 600 кг/м³. В идеале кормовые добавки должны иметь схожие значения насыпной плотности. Это обеспечит высокую однородность смешивания и позволит избежать сегрегации.

Кажущаяся плотность в утрамбованном состоянии определяется как вес образца, поделенный на единицу объема после утрамбовки (рис. 3). Коэффициент CARR выражает разницу между насыпной плотностью и кажущейся плотностью в утрамбованном состоянии (1):

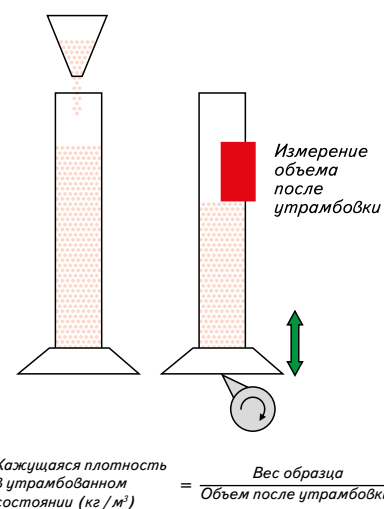
Идеальный коэффициент для компонентов комбикормов составляет менее 10%.

На комбикормовых предприятиях предпочтительно использовать сыпучие материалы с низким уровнем *пыльности*, в противном случае рабочим потребуется специальная защита органов дыхания. Пыльное сырье имеет тенденцию к слеживанию, в результате чего возможно неполное опустошение бункеров, налипание его остатков на стенки, потери продукта на участках хранения и транспортировки. Кроме того, пылевые слои гигроскопичного материала могут впитывать в себя влагу, становиться липкими и мешать работе транспортеров, что приводит к их простоям по причине очистки системы.

Пыльность определяют с помощью оптического метода. Исследуемый продукт падает с определенной высоты на дно прибора, который фиксирует изменение интенсивности светового луча вследствие присутствия в воздухе взвешенных частиц. Пыльность оценивают по относительной 100%-ной шкале. Ноль означает отсутствие пыли, в то время как 100% указывают на то, что воздух насыщен ею (рис. 4). Основные преимущества данного метода — это простота и быстрота, а также тот факт, что условия проведения близки к производственным.

Другой хорошо известный способ определения пыльности — анализ

Штаубера-Хойбаха, который проводится с использованием специального прибора с вращающимся барабаном из нержавеющей стали, оснащенным тремя лопастями (вращение барабана имитирует технологическую операцию). Образец продукта помещают в барабан. При помощи управляемого (горизонтального) потока воздуха пыль, генерируемая образцом, переносится на участок, где пылевидные частицы оседают на фильтре. Количество частиц на фильтре (их масса) и служит показателем пыльности образца. Недостатком данного метода является сложная процедура очистки прибора и, как следствие, большие затраты времени на его проведение. Кроме того, условия выполнения анализа довольно далеки от реальных производственных.



$$\text{Кажущаяся плотность в утрамбованном состоянии (кг/м}^3\text{)} = \frac{\text{Вес образца}}{\text{Объем после утрамбовки}}$$

Рис. 3. Определение кажущейся плотности в утрамбованном состоянии

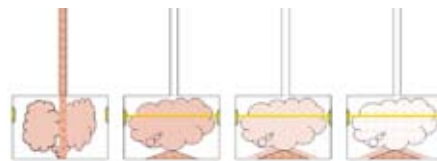


Рис. 4. Принцип определения пыльности: изменение интенсивности светового луча

$$\text{Коэффициент CARR} = \frac{(\text{Кажущаяся плотность в утрамбованном состоянии} - \text{Насыпная плотность})}{\text{Кажущаяся плотность в утрамбованном состоянии}} \times 100\% \quad (1)$$

Гигроскопичность сырья — очень важный параметр для предприятий по производству комбикормов по нескольким причинам. Высокая влажность продукта сопровождается увеличением силы сцепления частиц, что серьезно снижает сыпучесть и смешиваемость. Наличие комков и плохая сыпучесть приводят к слеживанию сырья в бункерах, шнеках, смесителях и вызывают закупоривание дозирующих систем. Гигроскопичность определяют путем размещения опытного образца в климатической камере в определенных стандартных условиях: при температуре 40°C и относительной влажности 75%, согласно ИСН (Международная конференция по гармонизации). По истечении определенного времени определяют увеличение массы образца вследствие влагопоглощения. Причем в ходе данного испытания возможно даже изменение внешнего вида образца. Как правило, содержание влаги в кормовых добавках ниже, чем в готовом корме, но зачастую ее достаточно для того, чтобы материал с течением времени затвердел. Повышенное содержание влаги, кроме того, может оказать отрицательное воздействие на стабильность аминокислот. «Идеальная» кормовая добавка не должна быть гигроскопичной и должна сохранять исходное физическое состояние после испытания в климатической камере.

Тенденция к *комкованию* зависит от химических и физических свойств продукта, например от структуры отдельных частиц, их размера, формы, пыльности и содержания влаги. Для определения способности к комкованию опытный образец помещают в климатическую камеру под давлением на 24 часа при температуре 40°C и относительной влажности 75%. При этом величина давления эквивалентна условиям хранения в нижнем слое стандартно упакованных паллет. Затем спрессованный образец помещают в динамометр для измерения усилия, которое необходимо приложить для вращения металлической лопасти. Чем тверже материал, тем больше

прикладывается усилий и тем выше тенденция к комкованию.

Распределение частиц по размеру (PSD) характеризует смешиваемость кормовых добавок и сырья. В идеале для качественного смешивания размер частиц всех компонентов комбикорма должен быть примерно одинаковым. На практике это, конечно же, не так. Поэтому распределение размера частиц, близкое к кривой нормального распределения, является преимуществом, которое обеспечивает хорошую смешиваемость и препятствует сегрегации. Если размер частиц сильно варьирует, это отрицательно сказывается на качестве готового корма. Определяются размеры частиц в специальной установке путем просеивания. Опытный образец перемещается потоком воздуха, что исключает трение частиц, через комплект сит с разным размером отверстий (рис. 5). Идеальный диапазон размера частиц должен составлять от 250 мкм до 1000 мкм. Для образцов, которые невозможно просеять, используют другой метод, сущность которого заключается в дифракции света.

Растворимость кормового сырья или добавок представляет особый интерес в случае жидкого кормления. Ее определяют путем постепенного добавления опытного образца в воду при температуре 20°C до получения насыщенного раствора. Любой корм — это смесь различных компонентов, и лишь некоторые из них являются легкорастворимыми, например поваренная соль. Как правило, в итоге получают суспензию.

Значение pH также имеет большое значение, так как сильноокислые или сильнощелочные вещества могут приводить к образованию коррозии. Нормальный диапазон pH — от слабокислого (pH 4,8 для минеральных добавок) до слабощелочного (pH 7,4 для известняка).

Оценка однородности смешивания

Оценка однородности смешивания сырьевых компонентов и кормовых добавок должна осуществляться непосредственно на предприятии. Для

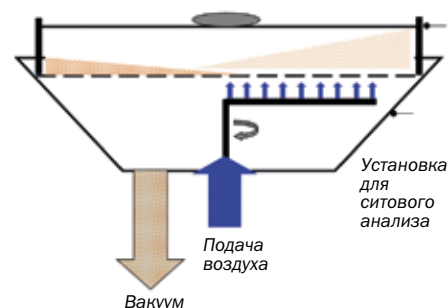


Рис. 5. Определение размера частиц с помощью системы воздушного просеивания

этого производят партию корма с обычным уровнем добавления изучаемой кормовой добавки.

Эффективность работы смесителя можно оценить, определив показатели, о которых речь пойдет ниже. Большое влияние на нее оказывает размер частиц каждого компонента смеси. Однородность смешивания можно охарактеризовать с помощью коэффициента вариации CV , который выражается как отношение стандартного отклонения (SD) к средней величине изучаемого параметра (например, содержание синтетических аминокислот), умноженное на 100 (2):

$$CV = \frac{SD}{\text{среднее}} \times 100\% \quad (2)$$

Интерпретация CV зависит от количества и размера отобранных образцов смеси, а также от метода анализа.

Для оценки работы смесителя с точки зрения однородности производимой им кормовой смеси можно придерживаться следующих значений:

$CV_{\text{смешив.}} < 5\%$ — отличная однородность, низкая аналитическая изменчивость;

$CV_{\text{смешив.}} 5\text{—}10\%$ — приемлемая однородность и аналитическая изменчивость;

$CV_{\text{смешив.}} > 10\%$ — плохая однородность и/или большая аналитическая изменчивость.

Тест на *расслоение (сегрегация)* используют для оценки качества кормовой смеси в отношении ее стабильности в ходе смешивания и

Оценка технологических свойств кормового сырья и добавок

Параметр	Метод	Оценка				MetAMINO® (среднее значение для всех заводов)
		Очень плохо	Плохо	Средне	Хорошо	
Сыпучесть	а) Тест на сыпучесть	Класс 6	Класс 4–6	Класс 3–4	Класс 1–3	Класс 3 или лучше
	б) Угол естественного откоса, град.	> 55	46–55	26–45	< 25	38
	с) Индекс Карра*, %	> 45	26–45	15–25	< 15	14
Слеживаемость	Тест на слеживаемость	> 800 Н	400–800 Н	40–400 Н	< 40 Н	> 40 Н
Распределение частиц по размеру	Ситовый анализ	Неоднородное	Неоднородное	Однородное/Неоднородное	Однородное	Значение d50** — 220 мкм
Пыльность	Тест на пыльность	> 70% относит.***	30–70% относит.	3–30% относит.	< 3% относит.	18% относит.
Гигро-скопичность	Тест на гигро-скопичность	Четко выраженные изменения, например образование твердых больших комков	Умеренные изменения, например образование твердых комков среднего размера	Незначительные изменения, например образование мягких небольших комков	+/- 0%, неизменно	+/- 0%
Гомогенность распределения	а) Коэффициент вариации	—	> 10%	5–10%	< 5%	< 5%
	б) Тест на расслоение	—	> 40%	30–40%	< 30%	< 30%

* Основные методы по определению насыпной плотности и кажущейся плотности в утрамбованном состоянии;

** Диаметр частиц, при котором 50% частиц имеют большие или меньшие значения d50;

*** Относит. — относительная шкала от 0 до 100%.

транспортировки, что также связано с однородностью. Кормовые добавки можно использовать в качестве маркеров, которые могут отражать поведение в смеси компонентов со схожими физическими свойствами (форма, текстура, размер частиц). Тест на расслоение проводят с помощью специального устройства. Опытный образец перемещается шнеком в камеру для сегрегации. Он сыпается в виде конуса, при этом грубые (крупные) частицы скатываются в основном по его бокам (рис. 6 позиция 1). После открытия нижнего отверстия часть образца просыпается, а боковые части остаются в устройстве («внешний контур»). Анализу подвергают весь опытный образец и ту его часть, которая осталась во «внешнем контуре». Затем анализируют состав образца и рассчитывают коэффициент вариации (рис. 6 позиция 2).

Оценить устойчивость кормовой смеси к расслоению можно по следующим значениям (3 уровня):

$CV_{\text{рассл.}} < 5\%$ — отличная гомогенность, низкая аналитическая изменчивость;

$CV_{\text{рассл.}} 5–10\%$ — приемлемые гомогенность и аналитическая изменчивость;

$CV_{\text{рассл.}} > 10\%$ — плохая гомогенность и/или большая аналитическая изменчивость.

Краткая схема оценки технологических свойств кормового сырья и кормовых добавок представлена в таблице. В качестве примера в последней колонке мы привели показатели технологических свойств MetAMINO® (DL-метионин производства подразделения Health & Nutrition компании Evonik Industries AG). Он обладает хорошими технологическими свойствами, близкими к «идеальной» кормовой добавке,

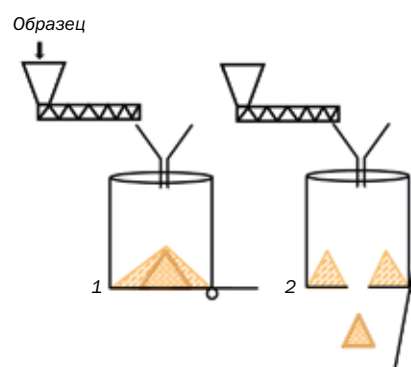


Рис. 6. Схема теста на возможность расслоения

и подходит для использования на высокотехнологичных комбикормовых предприятиях с большой производительностью.

Список литературы, использованной при подготовке статьи, можно запросить у автора или в редакции. ■