

УЧИМСЯ ЭКОНОМИТЬ: РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО УЗЛА ДОЗИРОВАНИЯ

А. СПЕСИВЦЕВ, инженер-технолог по хранению и переработке зерна

Опыт совместной работы показал, что еще много вопросов вызывает процесс дозирования у технологов по производству комбикормовой продукции. Если все вопросы сгруппировать в три больших кластера, они будут выглядеть следующим образом: как определить оптимальную грузоподъемность дозаторов (P); какие требования предъявить к поставщику по точности дозирования ($\sigma\Delta$); как обеспечить оптимальное распределение компонентов по дозаторам.

Существует немало способов определения оптимальной грузоподъемности. В этой статье мы рассмотрим лишь самый простой и быстрый, в котором используются закономерности из общей теории статистики, кратко пояснив суть еще одного, когда анализируются сотни и тысячи рецептов комбикормовой продукции. Он заключается в основном в том, что в результате анализа множества рецептов определяется диапазон ввода всех компонентов, которые входят в исследуемые рецепты, и подбирается комплект весовых дозаторов, способных обеспечить их ввод с заданной точностью. Провести подобный анализ также несложно, но он требует значительно большего времени, чем описанный ниже.

В качестве примера рассмотрим наиболее распространенный вариант, когда порция вырабатываемой продукции, в данном случае премиксов, принимается равной 1 т. Отметим, что все сказанное ниже справедливо и в отношении комбикормовых производств различной мощности.

Опустив математические выкладки и перейдя сразу к сути задачи, мы принимаем, что группы весовых дозаторов отличаются друг от друга по параметру грузоподъемности приблизительно в пять раз с достаточной точностью (округлением расчетной величины до ближайшего значения в параметрическом ряду). Количество дозаторов в группе может колебаться. Причем эту закономерность (отличие групп весовых дозаторов друг от друга по параметру грузоподъемности приблизительно в пять раз) можно использовать для расчета узлов дозирования на предприятиях по производству как премиксов, так и комбикормов.

Грузоподъемность дозаторов (P) первой группы принимаем равной 1000 кг, второй: $1000/5 = 200$ кг, третьей: $200/5 = 40$ кг (округляем до 50, то есть до ближайшего значения в параметрическом ряду), четвертой: $50/5 = 10$ кг и $10/5 = 2$ кг пятой. Как правило, все дозаторы группи-

руют в четыре весовых блока, у каждого из которых свое назначение. Дозаторы первой группы грузоподъемностью 1000 кг (первый блок) служат для дозирования наполнителей. На дозаторах второго блока грузоподъемностью 200 кг дозируют макрокомпоненты. Дозаторы третьего блока грузоподъемностью 50 и 10 кг предназначены для дозирования средних компонентов, четвертого — 10 и 2 кг — микрокомпонентов. Количество дозаторов в каждом блоке может быть от одного до четырех, иногда больше. Количество бункеров над дозаторами чаще всего от 40 до 100 шт. На российских предприятиях их может быть меньше, на европейских — больше. Бункеры могут быть оборудованы как одним, так и двумя шнековыми питателями, каждый из которых направляет компоненты в свой дозатор.

Точность дозирующего оборудования ($\sigma\Delta$), используемого в комбикормовой промышленности, колеблется в диапазоне $\pm 0,1-0,5\%$. Точность дозирования, выраженную в единицах веса, называют абсолютной погрешностью (Δ_a) и определяют как:

$$\Delta_a = \frac{P}{100} \cdot \sigma\Delta.$$

При грузоподъемности дозатора 1000 кг и точности $\pm 0,1; \pm 0,2; \pm 0,5\%$ абсолютная погрешность будет следующей:

$$\Delta_{a1} = \frac{1000}{100} \cdot (\pm 0,1) = \pm 1,0 \text{ кг};$$

$$\Delta_{a2} = \frac{1000}{100} \cdot (\pm 0,2) = \pm 2,0 \text{ кг};$$

$$\Delta_{a3} = \frac{1000}{100} \cdot (\pm 0,5) = \pm 5,0 \text{ кг}.$$

При грузоподъемности дозатора 2 кг и той же точности абсолютная погрешность составит:

$$\Delta_{a4} = \frac{2}{100} \cdot (\pm 0,1) = \pm 0,002 \text{ кг};$$

$$\Delta_{a5} = \frac{2}{100} \cdot (\pm 0,2) = \pm 0,004 \text{ кг};$$

$$\Delta_{a6} = \frac{2}{100} \cdot (\pm 0,5) = \pm 0,01 \text{ кг}.$$

Также существует понятие относительной погрешности (Δ_o), которое удобно использовать при расчете минимально допустимого веса (M_{min}) дозируемых компонентов. В соответствии со стандартами, принятыми ведущими

кормопроизводящими компаниями в Европе, относительная погрешность к дозируемой массе не должна превышать $\pm 4\%$. Ряд компаний, позиционирующих себя в качестве производителей премиксов премиум класса, декларируют, что дозируют компоненты с относительной погрешностью $\pm 1\%$. Применяя следующую формулу, мы можем рассчитать относительную погрешность (Δ_o) по отношению к любой дозируемой массе M , если принять массу за 100%:

$$\Delta_o = \frac{\Delta_a}{M} \cdot 100\%,$$

тогда минимально допустимый вес (M_{min}) будет равен:

$$M_{min} = \frac{\Delta_a}{\Delta_o} \cdot 100.$$

Подставив в эту формулу значения Δ_a , рассчитанные для весового дозатора грузоподъемностью 1000 кг, и максимальную относительную погрешность к дозируемой массе $\pm 4\%$, получим:

$$M_{min 1} = \frac{1,0}{4,0} \cdot 100 = 25 \text{ кг};$$

$$M_{min 2} = \frac{2,0}{4,0} \cdot 100 = 50 \text{ кг};$$

$$M_{min 3} = \frac{5,0}{4,0} \cdot 100 = 125 \text{ кг}.$$

Для дозатора грузоподъемностью 2 кг при тех же условиях:

$$M_{min 4} = \frac{0,002}{4,0} \cdot 100 = 0,05 \text{ кг};$$

$$M_{min 5} = \frac{0,004}{4,0} \cdot 100 = 0,1 \text{ кг};$$

$$M_{min 6} = \frac{0,01}{4,0} \cdot 100 = 0,25 \text{ кг}.$$

Приведенные закономерности удобны для расчета и анализа важнейшей составляющей технологического процесса — узла дозирования.

Так как капитальные вложения на новое строительство, реконструкцию или техническое перевооружение действующих предприятий всегда ограничены, то затраты на каждый узел, блок или технологическую линию, безусловно, должны быть оптимизированы. Если вы все же приобретете сверхточные и сверхдорогие дозаторы, то качество вырабатываемой продукции несколько не улучшится, а может быть и снизится, поскольку в дальнейшем вы будете вынуждены неоправданно экономить при покупке другого, не менее важного оборудования. Есть лишь одно направление, которое оправдывает любые вложения, — это повышение квалификации специалистов. Ничто не стоит так дорого, как некомпетентность, цена которой зачастую измеряется не только низким качеством продукции, но и потерями предприятия в целом и жизни людей.

Сейчас практически все стремятся оптимизировать затраты по многим направлениям. Но любые призывы экономить становятся пустыми словами, если не научиться этому. Комплексный расчет и анализ узла дозирования могут помочь решить одновременно две актуальные задачи: сократить единовременные затраты и обеспечить производство высокорентабельной, конкурентной на рынке комбикормовой продукции. Безусловно, потребуются определенные усилия для проведения расчета и анализа десятков таблиц с параметрами дозирования. В этой статье мы приведем лишь несколько фрагментов расчета, в полной мере демонстрирующих суть решаемой задачи. 

Таблица 1. Минимально допустимый вес компонентов, которые можно дозировать на дозаторах различной точности и грузоподъемности с заданной относительной погрешностью

Точность дозирования, %	Относительная погрешность, %	Грузоподъемность, кг									
		1000		200		50		10		2	
		Δ_a , кг	M_{min} , кг	Δ_a , кг	M_{min} , кг	Δ_a , кг	M_{min} , кг	Δ_a , кг	M_{min} , кг	Δ_a , кг	M_{min} , кг
$\pm 0,1$	± 1		100		20,0		5,00		1,00		0,200
	± 2		50		10,0		2,50		0,50		0,100
	± 3	$\pm 1,0$	34	$\pm 0,200$	6,8	$\pm 0,050$	1,70	$\pm 0,010$	0,34	$\pm 0,002$	0,068
	± 4		25		5,0		1,25		0,25		0,050
	± 5		20		4,0		1,00		0,20		0,040
$\pm 0,2$	± 1		200		40,0		10,00		2,00		0,400
	± 2		100		20,0		5,00		1,00		0,200
	± 3	$\pm 2,0$	68	$\pm 0,400$	13,4	$\pm 0,100$	3,40	$\pm 0,020$	0,68	$\pm 0,004$	0,134
	± 4		50		10,0		2,50		0,50		0,100
	± 5		40		8,0		2,00		0,40		0,080
$\pm 0,5$	± 1		500		100,0		25,00		5,00		1,000
	± 2		250		50,0		12,50		2,50		0,500
	± 3	$\pm 5,0$	170	$\pm 1,000$	34,0	$\pm 0,250$	8,50	$\pm 0,050$	1,70	$\pm 0,010$	0,340
	± 4		125		25,0		6,25		1,25		0,250
	± 5		100		20,0		5,00		1,00		0,200

Таблица 2. Оценка результатов весового дозирования по коэффициенту вариации, %

$V_c \leq 3$	$3 < V_c \leq 4$	$4 < V_c \leq 5$	$5 < V_c \leq 7,5$	$V_c > 7,5$
Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно	Недопустимо

Рассчитаем минимально допустимый вес компонентов, которые можно дозировать на дозаторах всех пяти групп точностью $\sigma\Delta$ равной $\pm 0,1$; $\pm 0,2$ и $\pm 0,5$ %. Результаты расчетов сведем в таблицу 1. Используя ее данные при изучении предложения поставщика узла дозирования, технолог сможет сделать полезные для себя выводы. Если на весовом дозаторе грузоподъемностью 1000 кг предполагается дозировать несколько видов наполнителя и минимальный вес одного из них будет равен или более 125 кг, то вполне подойдет дозирование с точностью $\pm 0,5\%$, так как относительная погрешность к дозируемому весу при этом не превысит $\pm 4\%$. При точности дозирования $\pm 0,1\%$ можно дозировать с относительной погрешностью, не превышающей $\pm 4\%$: макрокомпоненты весом 5 кг и более; средние компоненты весом 0,25 кг и более; микрокомпоненты весом 0,05 кг и более.

Если стоит задача на тех же дозаторах дозировать компоненты с относительной погрешностью $\pm 1\%$, то минимально допустимый вес составит: макрокомпонентов — $M_{min} \geq 20$ кг, средних — $M_{min} \geq 1$ кг, микрокомпонентов — $M_{min} \geq 0,2$ кг.

Оценку результатов весового дозирования компонентов в партии принято осуществлять по коэффициенту вариации, для чего разработаны определенные критерии, приведенные в таблице 2.

В случае оценки «недопустимо» процесс производства должен быть остановлен, «неудовлетворительно» — немедленно приняты меры по снижению вариаций веса дозируемых компонентов.

Применение оценочных критериев очень удобно, так как позволяет использовать единый параметр для комплексного анализа вариаций компонентов на всех этапах технологического процесса: при дозировании, смешивании, транспортировании, упаковке и т.д. Но здесь есть свои особенности, влияющие на величину коэффициента вариации (V_c) при вычислении:

$$V_c = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{D}}{\bar{X}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

где: S — стандартное отклонение;

\bar{X} — среднее значение веса дозируемых компонентов;

D — дисперсия или средний квадрат отклонений;

n — число наблюдений/отвесов;

X_i — текущее значение веса дозируемых компонентов.

При расчете дисперсии в знаменателе используется выражение $(n - 1)$, которое оказывает значительное влияние на результат при малом количестве измерений (числе отвесов) и, как следствие, на величину коэффициента вариации (V_c).

Тоже самое можно сказать об определении однородности комбикормовой продукции. При увеличении количества проб мы не только повышаем точность оценки, но и снижаем значение коэффициента вариации. Расчеты представим в таблице 3.

Данные таблицы показывают, что с уменьшением количества отвесов с 20 до 4 оценка дозирования по всем дозаторам изменилась с «отлично» на «хорошо», а коэффициент вариации возрос с 2,93 до 3,30%, или на 12,6%. При этом стоит отметить, что коэффициенты вариации для всех дозаторов рассчитывались из условия, что одна половина отвесов на них имела максимальное отклонение в большую сторону:

$$7,000 + 0,200 = 7,200 \text{ кг}; 1,750 + 0,050 = 1,800 \text{ кг}; \\ 0,350 + 0,010 = 0,360 \text{ кг}; 0,070 + 0,002 = 0,072 \text{ кг},$$

а другая половина — в меньшую:

$$7,000 - 0,200 = 6,800 \text{ кг}; 1,750 - 0,050 = 1,700 \text{ кг}; \\ 0,350 - 0,010 = 0,340 \text{ кг}; 0,070 - 0,002 = 0,068 \text{ кг}.$$

Таблица 3. Коэффициент вариации (V_c) и соответствующая ему оценка дозирования с точностью $\pm 0,1$ %, в зависимости от количества отвесов

Грузоподъемность дозатора, кг	Абсолютная погрешность, кг	Дозируемый вес, кг	Количество отвесов							
			20		10		6		4	
			V_c , %	Оценка	V_c , %	Оценка	V_c , %	Оценка	V_c , %	Оценка
200	$\pm 0,200$	7,000	2,93	Отлично	3,01	Хорошо	3,13	Хорошо	3,30	Хорошо
50	$\pm 0,050$	1,750								
10	$\pm 0,010$	0,350								
2	$\pm 0,002$	0,070								

Таблица 4. Абсолютная погрешность (Δ_a), коэффициент вариации (V_C) и соответствующая им оценка дозирования, в зависимости от количества отвесов и точности дозирования

Грузо-подъемность, кг	Количество отвесов	Дозируемый вес, кг	Точность дозирования, %					
			$\pm 0,1$			$\pm 0,2$		
			Δ_a , кг	V_C , %	Оценка	Δ_a , кг	V_C , %	Оценка
200	50	6,8	$\pm 0,200$	2,97	Отлично	$\pm 0,400$	5,94	Неудовлетворительно
	20	7,0		2,93			5,86	
	10	7,2		2,93			5,86	
	6	7,4		2,96			5,92	
	4	7,8		2,96			5,92	
50	50	1,70	$\pm 0,050$	2,97	Отлично	$\pm 0,100$	5,94	Неудовлетворительно
	20	1,75		2,93			5,86	
	10	1,80		2,93			5,86	
	6	1,85		2,96			5,92	
	4	1,95		2,96			5,92	
10	50	0,34	$\pm 0,010$	2,97	Отлично	$\pm 0,020$	5,94	Неудовлетворительно
	20	0,35		2,93			5,86	
	10	0,36		2,93			5,86	
	6	0,37		2,96			5,92	
	4	0,39		2,96			5,92	
2	50	0,068	$\pm 0,002$	2,97	Отлично	$\pm 0,004$	5,94	Неудовлетворительно
	20	0,070		2,93			5,86	
	10	0,072		2,93			5,86	
	6	0,074		2,96			5,92	
	4	0,078		2,96			5,92	

Этот принцип будет сохранен и в последующих расчетах. Еще значительно на оценку дозирования влияет точность дозаторов, что наглядно демонстрируется в таблице 4. При ее снижении с $\pm 0,1$ до $\pm 0,2\%$ при одинаковых отвесах вдвое увеличиваются абсолютная погрешность и коэффициент вариации. Оценка дозирования при этом изменяется с «отлично» на «неудовлетворительно». Уверен, что после знакомства с этой таблицей технологи будут настороженно воспринимать слова дилеров, что изменение точности дозирования на одну десятую процента якобы не играет никакой роли для поставляемых ими дозаторов, настолько они совершенны.

Практически на всех современных премиксных заводах предусматривается весовое дозирование компонентов на оборудовании, имеющем точность не менее $\pm 0,1\%$.

Имея перед собой таблицу, подобную таблице 5, любой технолог может легко распределить компоненты по дозаторам. Если партия состоит из шести отвесов, то на дозаторах с характеристиками:

- $P = 200$ кг, $\Delta_a = \pm 0,2$ кг можно дозировать компоненты весом 7,4 кг и более с оценкой «отлично», 7,2–5,6 кг — «хорошо», 5,4–4,4 кг — «удовлетворительно»;
- $P = 50$ кг, $\Delta_a = \pm 0,05$ кг можно дозировать компоненты весом 1,85 кг и более с оценкой «отлично»,

1,80–1,40 кг — «хорошо»,
1,35–1,10 кг — «удовлетворительно»;

- $P = 10$ кг, $\Delta_a = \pm 0,01$ кг можно дозировать компоненты весом 0,37 кг и более с оценкой «отлично», 0,36–0,28 кг — «хорошо», 0,27–0,22 кг — «удовлетворительно»;
- $P = 2$ кг, $\Delta_a = \pm 0,002$ кг можно дозировать компоненты весом 0,074 кг и более с оценкой «отлично», 0,072–0,056 кг — «хорошо», 0,054–0,044 кг — «удовлетворительно».

Таблица 5 является универсальной. Она может быть использована специалистами, контролирующими как относительную погрешность дозирования каждого отвеса, так и коэффициенты вариации дозирования компонентов в партии. Если минимальный расчетный вес не позволяет дозировать компоненты с заданной оценкой в автоматическом режиме, то их дозируют вручную.

В завершение хотелось бы дать несколько советов практикам. При подготовке запроса поставщику по узлу дозирования никогда не ограничивайтесь комплектом дозаторов и точностью дозирования. Обязательно оговорите возможность установки дополнительных дозаторов, если это предусматривается в дальнейшем, цикл дозирования при максимальной загрузке и использова-

Таблица 5. Минимально допустимый вес компонентов и соответствующие ему V_C и Δ_o , которые можно дозировать на дозаторах различной грузоподъемности с точностью $\pm 0,1\%$ с заданной оценкой, в зависимости от количества отвесов

Грузоподъемность, кг	Абсолютная погрешность, кг	Количество отвесов	Оценка результатов дозирования								
			Отлично			Хорошо			Удовлетворительно		
			M_{min} , кг	V_C , %	Δ_o , %	M_{min} , кг	V_C , %	Δ_o , %	M_{min} , кг	V_C , %	Δ_o , %
200	$\pm 0,2$	50	6,80	2,97	$\pm 2,94$	5,20	3,89	$\pm 3,85$	4,20	4,81	$\pm 4,76$
		20	7,00	2,93	$\pm 2,86$	5,20	3,95	$\pm 3,85$	4,20	4,89	$\pm 4,76$
		10	7,20	2,93	$\pm 2,78$	5,40	3,90	$\pm 3,70$	4,40	4,79	$\pm 4,55$
		6	7,40	2,96	$\pm 2,70$	5,60	3,91	$\pm 3,57$	4,40	4,98	$\pm 4,55$
		4	7,80	2,96	$\pm 2,56$	5,80	3,98	$\pm 3,45$	4,80	4,81	$\pm 4,17$
50	$\pm 0,05$	50	1,70	2,97	$\pm 2,94$	1,30	3,89	$\pm 3,85$	1,05	4,81	$\pm 4,76$
		20	1,75	2,93	$\pm 2,86$	1,30	3,95	$\pm 3,85$	1,05	4,89	$\pm 4,76$
		10	1,80	2,93	$\pm 2,78$	1,35	3,90	$\pm 3,70$	1,10	4,79	$\pm 4,55$
		6	1,85	2,96	$\pm 2,70$	1,40	3,91	$\pm 3,57$	1,10	4,98	$\pm 4,55$
		4	1,95	2,96	$\pm 2,56$	1,45	3,98	$\pm 3,45$	1,20	4,81	$\pm 4,17$
10	$\pm 0,01$	50	0,34	2,97	$\pm 2,94$	0,26	3,89	$\pm 3,85$	0,21	4,81	$\pm 4,76$
		20	0,35	2,93	$\pm 2,86$	0,26	3,95	$\pm 3,85$	0,21	4,89	$\pm 4,76$
		10	0,36	2,93	$\pm 2,78$	0,27	3,90	$\pm 3,70$	0,22	4,79	$\pm 4,55$
		6	0,37	2,96	$\pm 2,70$	0,28	3,91	$\pm 3,57$	0,22	4,98	$\pm 4,55$
		4	0,39	2,96	$\pm 2,56$	0,29	3,98	$\pm 3,45$	0,24	4,81	$\pm 4,17$
2	$\pm 0,002$	50	0,068	2,97	$\pm 2,94$	0,052	3,89	$\pm 3,85$	0,042	4,81	$\pm 4,76$
		20	0,070	2,93	$\pm 2,86$	0,052	3,95	$\pm 3,85$	0,042	4,89	$\pm 4,76$
		10	0,072	2,93	$\pm 2,78$	0,054	3,90	$\pm 3,70$	0,044	4,79	$\pm 4,55$
		6	0,074	2,96	$\pm 2,70$	0,056	3,91	$\pm 3,57$	0,044	4,98	$\pm 4,55$
		4	0,078	2,96	$\pm 2,56$	0,058	3,98	$\pm 3,45$	0,048	4,81	$\pm 4,17$

нии всех питателей, совместимость системы управления с ИАСУ завода. Не лишним будет оговорить алгоритм дозирования, а также какие именно компоненты намечаете дозировать. Их может быть около 100. Если в своем предложении предусматриваются какие-либо испытания, не лишним будет и ваше участие. Не оставляйте ни одного вопроса, ответ на который вам не понятен или имеет двойное толкование. Внимательно изучите все технические характеристики, инструкции и настав-

ления производителя на понятном для вас языке. Добросовестный поставщик охотно все предоставит. В противном случае вас должно это насторожить и лучше отказаться от поставки. Не менее внимательного отношения требуют и другие виды оборудования. Затраченные на структурный анализ технологических параметров усилия всегда с лихвой окупятся и позволят инвесторам сохранить средства, а технологам организовать производство высокоэффективной комбикормовой продукции. ■



ИНФОРМАЦИЯ

До старта международного инвестиционного проекта по производству мяса индейки в Первомайском районе Тамбовской области остается совсем немного времени. Владелец испанской компании Grupo Fuertes Рафаэль Фуэртес и заместитель главы администрации Тамбовской области Сергей Иванов проинспектировали стройплощадку компании. «В январе планируется закладка

инкубационного яйца, — прокомментировал С. Иванов. — Весной предприятие выпустит первую продукцию. Сегодня мы проверили, как идет строительство комбикормового завода. Испанские инвесторы приезжали на этот объект уже несколько раз и всегда были довольны темпами и качеством работ».

ООО «Тамбовская индейка» — это третье по величине российское пред-

приятие по получению мяса индейки. Объем производства — 40 тыс. т мяса ежегодно с перспективой увеличения втрое. Уникальность данного проекта заключается в том, что здесь будет выращиваться птица среднего размера, которая пользуется у потребителей большим спросом.

*Управление пресс-службы
и информации администрации
Тамбовской области*