

УДК 636.085

## Влияние системных погрешностей технологического процесса на уровень обеспечения гарантий качества комбикормов

*Д-р техн. наук И.Г.ПАНИН*

ООО «КормоРесурс», г. Воронеж

*Д-р техн. наук О.Е.ЩЕРБАКОВА*

Московский государственный университет технологий и управления

Кормление является главным фактором, влияющим на количественную и качественную сторону обмена веществ в организме животного. Недостаток или избыток в корме необходимых питательных веществ изменяет течение биохимических процессов в организме, снижает продуктивность и даже может привести к заболеваниям.

По этим причинам потребители предъявляют жесткие требования к качеству комбикормов, в первую очередь к точному соответствию их питательной ценности потребностям конкретной половозрастной группы животных.

Современный комбикорм представляет собой сложное промышленное изделие, которое характеризуется, с одной стороны, показателями безопасности, с другой стороны, показателями потребительских свойств. К таким показателям относят: компонентный состав (10–18 компонентов), питательную ценность (10–14 показателей), содержание витаминов (3–12 видов), микроэлементов (5–6 видов), биологически активных добавок (2–5 видов), однородность состава и др.

Обеспечение гарантированного качества готовой продукции по всей номенклатуре показателей является серьезной научно-технической проблемой для комбикормовых предприятий.

При испытании комбикорма на соответствие гарантируемым значениям по каждому показателю питательности оценивается разность  $\Delta C_j$  и проверяется выполнение условия

$$\Delta C_j = (C_j - \bar{C}_{kj}) \leq \Delta C_{j\sigma},$$

где  $\bar{C}_{kj}$  — результат измерения в испытательной лаборатории  $j$ -го показателя питательности;  $C_j$  — гарантируемое значение  $j$ -го показателя питательности, указанное в удостоверении качества производителя;  $\Delta C_{j\sigma}$  — допустимый предел разности сравниваемых величин.

По значению величины  $\Delta C_{j\sigma}$  судят о соответствии или несоответствии  $j$ -го показателя питательности гарантируемому значению.

В стандартах на методы анализа представлены уравнения регрессии для оценки значений  $D_{j\sigma}$ , которые являются пределами воспроизводимости при

испытаниях одинаковых образцов в двух различных лабораториях. Значение  $D_{j\sigma}$  при доверительной вероятности  $P = 0,95$  связано с аналитическим стандартным отклонением воспроизводимости  $S_{aj}$  зависимостью  $D_{j\sigma} = 2,8S_{aj}$ .

Величина  $D_{j\sigma}$  может служить критерием для оценки соответствия гарантируемого и фактического значения. Считается, что если

$$\Delta C_j = (C_j - \bar{C}_{kj}) \leq D_{j\sigma},$$

то результаты измерений согласуются. Это дает основание признать значение  $j$ -го показателя питательности соответствующим гарантируемому.

Задача ставится следующим образом.

Задано требование (ограничение) по содержанию в комбикорме  $j$ -го питательного вещества —  $C_j$ . С учетом воздействия системных погрешностей в технологическом процессе требуется рассчитать новое значение ограничения для  $j$ -го показателя питательности  $C_j^+$ , при использовании которого в готовом комбикорме обеспечивается выполнение условия  $\Delta C_j = (C_j - \bar{C}_{kj}) \leq \Delta C_{j\sigma}$  с доверительной вероятностью не ниже  $P$ .

В любой технической системе обеспечение требуемой надежности готового изделия достигается двумя дополняющими друг друга способами: совершенствованием технологии изготовления и резервированием запаса прочности. Это справедливо и для комбикормового производства. Гарантированное качество комбикормов может быть обеспечено использованием сырья со стабильными характеристиками питательности, применением современного технологического оборудования и установлением некоторого запаса прочности по показателям питательности. Причем, чем более стабильно качество исходного сырья и более совершенное оборудование используется на предприятии, тем меньше надо будет устанавливать запас прочности по питательности, и наоборот.

Из-за отсутствия математических подходов к оценке влияния случайных факторов на показатели готовой продукции у нас в стране и за рубежом составители рецептов на основании собственного опыта и интуиции устанавливают запас прочности по главным контролируемым показателям.

Подход, основанный только на опыте и интуиции, всегда сопряжен с неопределенностью. Задавая малый запас прочности, можно выйти за пределы допустимых отклонений. Задавая большой запас прочности, увеличиваем цену и снижаем конкурентоспособность продукции. Для обеспечения конкурентоспособности своей продукции запас прочности должен быть научно обоснован и минимизирован. Для этого необходимо уметь оценивать влияние системных погрешностей технологического процесса на стабильность показателей питательности готовой продукции на этапе составления рецепта комбикорма.

Нами проанализированы системные погрешности, влияющие на стабильность показателей питательности готового комбикорма. Их можно разделить на три основные группы:

- группа естественных факторов.
- группа аналитических факторов
- группа технологических факторов.

Группа естественных факторов связана с вариациями показателей питательной ценности в различных партиях одного вида сырья. Естественные факторы воздействуют, если в качестве показателей питательности используются табличные (среднестатистические), а не истинные значения, которые должны определяться путем проведения химических анализов.

В практике комбикормового производства естественные вариации питательной ценности компонентов представляют наибольшую проблему при обеспечении гарантированного качества конечной продукции, так как из-за невозможности проведения химических анализов по всем показателям питательности у каждой партии сырья приходится пользоваться табличными данными.

Для всех компонентов характерны существенные вариации показателей питательности; для зерновых — в зависимости от сорта растений, состояния почвы, природно-климатических условий выращивания; для подсолнечных жмыхов и шротов, дрожжей, мясокостной муки — в зависимости от качества исходного сырья и особенностей технологического процесса их производства; для рыбной муки — в зависимости от преимущественного вида рыб и времени улова; для минеральных компонентов — в зависимости от карьера.

В таблице приведены коэффициенты вариации  $K_V$  показателей питательности для некоторых компонентов комбикормов, через которые могут быть получены значения стандартных отклонений

$$S_{ij} = K_V C_{ij}. \quad (1)$$

Компонент	Влажность	Жир	Протеин	Клетчатка	Кальций	Фосфор	Натрий
Пшеница	8,8	25,7	15,3	23,4	—	—	—
Ячмень	14,1	31,8	8,64	18,6	—	—	—
Кукуруза	9,9	9,7	7,4	—	—	—	—
Подсолнечный шрот	8,5	36,3	13,7	24,7	—	—	—
Соевый шрот	9,3	62,3	4,0	18,4	—	—	—
Рыбная мука	24,05	24,9	3,4	—	16,1	14,4	32,5
Мясокостная мука	22,1	33,9	22,2	—	78,9	67,3	42,6

Группа аналитических факторов связана с погрешностями существующих методов количественного химического анализа, которые определяют остаточную неопределенность при оценке качества исходных компонентов.

Стандартное отклонение случайной погрешности измерения может быть получено из выражения

$$S_{aj} = 0,36d_{jc}, \quad (2)$$

где  $d_{jc} = \kappa_1 + \kappa_2 \bar{c}_{ij}$  — допустимое значение для сходимости результатов испытаний в одной лаборатории.

Группа технологических факторов связана с погрешностями систем дозирования компонентов комбикормов и неоднородностью их смешивания в смесителях. Влияние технологических факторов связано с погрешностями систем дозирования компонентов комбикормов и неоднородностью их смешивания в смесителях.

Для расчета дисперсии содержания питательного вещества после смесителя  $S_{jc}^2$  используются статистические характеристики смесителей. Однородность комбикорма, прошедшего через смеситель, определяется коэффициентом однородности  $\eta$ .

Различные типы смесителей, применяемых на отечественных комбикормовых заводах, позволяют получать комбикорма с однородностью в интервале значений от 0,7 до 0,95. Однородность смешивания определяется по вариации содержания одного из показателей питательности, который выбирается в качестве индикаторного.

Ожидаемое значение дисперсии  $j$ -го показателя питательности  $S_{jc}^2$  связано с его содержанием  $C_j$  в комбикорме зависимостью

$$S_{jc}^2 = [C_j(1-0,01\eta)]^2. \quad (3)$$

Дисперсия массы  $i$ -го вида сырья в комбикорме за счет погрешностей работы дозаторов определяется выражением

$$S_{mi}^2 = \Delta m_i^2 / 3, \quad (4)$$

где  $\Delta m_i$  — граница абсолютной погрешности дозирования  $i$ -го вида сырья, зависящая от класса точности дозаторов.

Характеристикой случайной погрешности разности  $\Delta C_j$  является суммарная дисперсия  $S_j^2$  содержания  $j$ -го питательного вещества в комбикорме.

Нами получено выражение для оценки суммарной дисперсии вариаций  $j$ -го питательного вещества в

готовом комбикорме из-за воздействия указанных факторов:

$$S_j^2 = S_{jc}^2 + \sum_{i=1}^n \bar{m}_i^2 \{ \delta S_{ji}^2 + (1-\delta) S_{aj}^2 \} + \frac{1}{m_\Sigma^2} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - C_j)^2 S_{mi}^2, \quad (5)$$

где  $S_{jc}^2$  — дисперсия  $j$ -ого питательного вещества в комбикорме за счет работы смесителя;  $C_{ji}$  — содержание  $j$ -ого питательного вещества в  $i$ -м виде сырья;  $S_{ji}^2$  — дисперсия  $j$ -ого питательного вещества в  $i$ -м виде сырья за счет естественных факторов;  $S_{aj}^2$  — дисперсия  $j$ -ого питательного вещества в  $i$ -м виде сырья за счет погрешностей методов анализа;  $\delta$  — дельта-функция ( $\delta = 1$ , если по  $j$ -му показателю питательности проводился химический анализ,  $\delta = 0$ , если не проводился);  $S_{mi}^2$  — дисперсия массы  $i$ -го вида сырья за счет работы дозатора, которая определяется классом точности дозатора и значением измеряемой массы продукта;  $m_\Sigma = \sum_{i=1}^n m_i$  — масса комби-

корма, предназначенного для выработки;  $\bar{m}_i$  — отношение  $m_i/m_\Sigma$ ;  $n$  — количество видов сырья, используемое при производстве комбикорма.

Зная все составляющие (1)–(4), по формуле (5) рассчитывается суммарная дисперсия  $S_j^2$ .

При известной дисперсии  $S_j^2$  вероятность того, что в контрольной лаборатории измеренное значение не выйдет за границы допуска, определяется выражением

$$P\{\bar{c}_{kj} > (c_j - \Delta_j)\} = 0,5 + \Phi(\tau), \quad (6)$$

где  $\Phi(\tau)$  — специальная функция Лапласа;  $\tau$  — параметр функции Лапласа,  $\tau = \Delta/S_j$ .

По заданной вероятности рассчитываются значения функции Лапласа (6) и соответствующий ей пара-

метр  $\tau$ . Новое ограничение  $j$ -го показателя питательности для рецепта  $C_j^+$  рассчитывается по формуле

$$C_j^+ = C_j - \tau S_{aj}. \quad (7)$$

Выражение (6) используется для расчета ограничений, заданных в форме «не менее». Это относится к сырому протеину, аминокислотам, фосфору. Для тех показателей питательности, ограничение которых имеет вид «не более» (сырая клетчатка), используя свойство нечетности функции Лапласа, выражение (7) имеет вид

$$C_j^+ = C_j - \tau S_{aj}. \quad (8)$$

Для некоторых показателей питательности комбикормов применяются двусторонние ограничения: «не менее  $C_{j\min}$ » и «не более  $C_{j\max}$ » (кальций для кур-несушек, натрий, поваренная соль — для всех видов животных). В этом случае для  $C_j^+$  рассчитывается диапазон возможных значений:

$$(C_{j\min} + \tau S_{aj}) < C_j^+ < (C_{j\max} - \tau S_{aj}). \quad (9)$$

Из выражений (7)–(9) понятно, что всякое обеспечение гарантий по питательности свыше 50 % требует ужесточения ограничений, что приводит к повышению цены продукции. Это должны понимать и производители, и потребители. Разработанная модель позволяет обеим сторонам прийти к разумному уровню обеспечения гарантий качества.

Как показывает анализ, проведенный нами по данным формулам, предприятия с современной технологией (тензометрические системы дозирования, смесители с высоким коэффициентом однородности) требуют меньшего запаса прочности  $C_j^+$ , чем системы с объемным дозированием и устаревшими смесителями, т.е. обеспечивают одинаковый уровень гарантий при более низкой цене продукции.