ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОМБИКОРМАХ

И. ПАНИН, д-р тех. наук, **В. ГРЕЧИШНИКОВ**, **А. ПАНИН**, кандидаты с.-х. наук,
А. ПАНИН, компания «КормоРесурс»

Химический состав и питательная ценность комбикормов должны точно соответствовать физиологической потребности животных. Как недостаток, так и избыток питательных веществ приводит к ухудшению однородности поголовья, снижению продуктивности животных и ухудшению экономических показателей их выращивания. Специалисты по кормлению тщательно анализируют качество корма и довольно часто предъявляют претензии к его производителю, особенно если возникают проблемы с продуктивностью или здоровьем животных и птицы.

В данной статье мы постарались изложить некоторые вопросы оценки питательной ценности комбикормов как со стороны производителя, так и со стороны потребителя. Материал состоит из трех частей: в первой части авторы рассуждают об аналитической погрешности и ее интерпретации; во второй — о естественных технологических вариациях при производстве комбикорма и подходах к учету их влияния, в третьей — об условно систематических погрешностях, которые возникают случайно, но носят устойчивый характер.

ЧАСТЬ 1. Главная задача производителя — получить на выходе продукт, полностью соответствующий по питательности заданным при расчете рецепта значениям, по сути, требованиям заказчика. Для достижения этой цели производственники на каждом этапе технологического процесса контролируют основные параметры продукции. На этапе закупок сырья — химический состав каждой его партии на содержание протеина, жира, клетчатки, кальция, фосфора и других специфических для данного вида сырья показателей. При составлении рецепта комбикорма используют фактические значения показателей питательности каждого компонента. По завершении выработки лаборатория анализирует химический состав готовой продукции, результаты заносятся в качественное удостоверение — сопроводительный документ на партию. При этом точность процесса обеспечивается периодической поверкой лабораторного оборудования, весовых и дозирующих устройств; проверка смесителей для оценки однородности смешивания — в соответствии с технологическим регламентом предприятий.

При получении комбикорма потребитель также анализирует его на соответствие качественному удостоверению (как правило, выборочно). И как раз на этом этапе довольно часто возникают недоразумения из-за несовпадения данных собственного анализа потребителя с данными качественного удостоверения производителя. Иногда отмечается существенная разница в значениях, поэтому важно ее правильно интерпретировать.

Рассмотрим на примере типичную ситуацию: в качественном удостоверении на партию комбикорма производитель указал содержание сырого протеина 18,0%, а при анализе образцов данной партии у потребителя получен результат 17,3%. Вправе ли потребитель предъявлять поставщику претензию на несоответствие этого показателя декларируемому?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо вспомнить некоторые понятия из метрологии. Основной ее постулат гласит, что определить истинное значение измеряемой величины невозможно, поэтому результат измерения X характеризуется несколькими показателями: полученным средним значением $\bar{x}$, величиной границы погрешности измерения Δ и вероятностью p попадания в данный интервал (доверительная вероятность). Результат записывают в виде:

$$X = (\bar{x} \pm \Delta) \text{ с доверительной вероятностью } p.$$

Запись интерпретируется так: истинное значение измеренной величины X с заданной доверительной вероятностью p находится в диапазоне от $(\bar{x} - \Delta)$ до $(\bar{x} + \Delta)$.

Чтобы ответить на вопрос о соответствии или несоответствии результата декларируемому поставщиком значению, необходимо рассчитать *границы погрешности измерения* для контролируемого показателя питательности, в данном случае для сырого протеина. В ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина» приводятся уравнения для оценки аналитического стандартного отклонения S_a и границы погрешности измерений Δ_a при доверительной вероятности $p = 0{,}95$, которые после пересчета азота на сырой протеин имеют вид:

$$S_a = 0{,}2 + 0{,}018 \cdot X,$$
$$\Delta_a = 0{,}32 + 0{,}028 \cdot X.$$

Таким образом, для $X = 18{,}0\%$ получаем $S_a = 0{,}52$, $\Delta_a = 0{,}82$. Следовательно, в качественном удостоверении производителю комбикорма необходимо было указать информацию о содержании сырого протеина в таком

виде: $X = 18{,}0 \pm 0{,}82\%$. Если измеренное у потребителя значение находится в диапазоне от $X_{\min} = 17{,}18\%$ до $X_{\max} = 18{,}82\%$, то качество комбикорма по сырому протеину следует признать соответствующим заявленному производителем. И на поставленный ранее вопрос, вправе ли предъявлять претензии к поставщику при значении протеина 17,3%, следует дать отрицательный ответ: не вправе. Аналогично проверяется соответствие и по другим показателям питательности.

ЧАСТЬ 2. Диапазон границы погрешности измерений определяется только погрешностью метода анализа и измерительных приборов.

Однако потребитель комбикорма должен понимать и тот факт, что в технологическом процессе любого предприятия действуют случайные возмущающие факторы, которые приводят к вариациям показателей однородности комбикорма и его химического состава, то есть к случайному отклонению значений показателей питательности от рассчитанных. Эти факторы известны: погрешности аналитических методов и измерительных лабораторных приборов, паспортные погрешности весодозирующих систем, конечная однородность смешивания, расслоение комбикорма (если он, конечно, рассыпной) после основного смесителя при загрузке в силос готовой продукции. Назовем эти случайные отклонения технологическими вариациями. *Технологические вариации* имеют естественную природу, поэтому их невозможно исключить полностью ни на каком заводе. Однако конкретная их величина индивидуальна для каждого завода и зависит от организации технологического процесса, от характеристик используемого технологического оборудования. Обобщенно можно сказать, что из двух заводов технологические вариации будут ниже там, где используется более совершенное технологическое оборудование и лучше организована система контроля качества сырья.

Подходы к методам оценки вариабельности комбикорма в технологическом процессе производства мы описывали ранее в публикациях, поэтому здесь ограничимся только примером того, как можно оценить суммарное действие аналитических и технологических вариаций. Наши многолетние исследования свидетельствуют о том, что технологический коэффициент вариации по содержанию сырого протеина на разных комбикормовых заводах колеблется от 2 до 5%. Для дальнейших рассуждений примем $C_v = 3\%$ (на большинстве современных заводов он не превышает данную величину). Находим стандартное отклонение по содержанию сырого протеина S_t из-за вариаций в технологическом процессе:

$$S_t = \frac{X \cdot C_v}{100} = 0{,}54.$$

Таким образом, на результат измерения содержания сырого протеина в комбикорме влияют два случайных независимых фактора: аналитические и технологические вариации. Находим суммарное стандартное отклонение, используя правило сложения дисперсий:

$$S_\Sigma = \sqrt{S_a^2 + S_t^2} = 0{,}75.$$

При таком стандартном отклонении результирующий коэффициент вариации будет равен:

$$C_v = \frac{S_\Sigma \cdot 100}{X} = 4{,}17\%.$$

Используя стандартную функцию Лапласа, находим диапазон Δ_Σ, в котором с заданной вероятностью p будут находиться результаты измерений при данной вариабельности:

$$\Delta_\Sigma = r(p) \cdot S_\Sigma,$$

где $r(p)$ — параметр функции Лапласа, определяемый величиной доверительной вероятности p.

Для односторонней доверительной вероятности $p = 0{,}95$ имеем $\Delta_\Sigma = 1{,}23$, поэтому фактическое значение сырого протеина с вероятностью $p = 0{,}95$ будет находиться в диапазоне $X = 18{,}0 \pm 1{,}23\%$. Вероятность того, что измеренный результат будет не ниже допускаемого значения $X_{\min} = 17{,}18\%$, составляет $p = 0{,}86$.

Итак, с учетом естественных вариаций гарантии качества производителя снижаются с вероятности $p = 0{,}95$ (которые он имеет право допускать) до вероятности $p = 0{,}86$ (которые он не имеет права допускать). Если же потребитель будет требовать выполнения гарантий с вероятностью $p = 0{,}95$ при любых обстоятельствах, у производителя остается только один вариант: создавать страховой запас при расчете рецепта, то есть устанавливать ограничение по сырому протеину не «минимум 18,0%», а «минимум 18,0% + δ», где δ — величина страхового запаса. В мировой практике производства комбикормов принято считать, что если с вероятностью $p = 0{,}95$ мы хотим попасть в допустимый диапазон аналитических вариаций, то в качестве страхового запаса принимают величину, равную половине стандартного отклонения; в нашем случае $\delta = 0{,}5 \cdot S_\Sigma = 0{,}38\%$. Более точно страховой запас рассчитывается по следующей формуле:

$$\delta = \Delta_\Sigma - \Delta_a = 0{,}41\%.$$

Следует понимать, что создание страхового запаса приводит к удорожанию цены комбикорма, величина удорожания и будет ценой обеспечения гарантий. При создании страхового запаса в проигрыше останутся обе стороны — и производитель, для которого удорожание снизит конкурентоспособность продукции, и потребитель, для которого неприятен не только факт повышения цены, но и лишний протеин в рационе, нарушающий его сбалансированность. Потребитель должен решить, приемлема ли для него эта цена или лучше согласиться с неизбежностью естественных вариаций. Чтобы принять решение, потребитель должен знать реальный коэффициент вариации питательных веществ на заводе. Если он находится в допустимых пределах (2–5%), то разумно ему согласиться с естественными вариациями, поскольку они не приводят

к существенному снижению качества комбикорма. При этом следует не забывать, что при испытаниях отклонения с равной вероятностью должны попадать в области как меньших, так и больших заявленных значений. Эту информацию важно систематизировать для исключения случаев умышленного занижения показателей питательности.

Чтобы узнать истинное значение естественных вариаций, необходимо подвергнуть испытанию несколько партий комбикорма для различных видов животных и при статистической обработке результатов исключить аналитическую погрешность по описанной выше методике. Для рассыпных комбикормов анализ следует проводить на пробах, отобранных непосредственно на заводе после заключительного смешивания. Если пробы отбирать на месте потребления, получим искаженные результаты из-за расслоения комбикорма при транспортировке. Это замечание не относится к гранулированным комбикормам.

ЧАСТЬ 3. До этого момента мы вели речь о случайных погрешностях, которые выявляются статистической обработкой многократных измерений, описываются статистическими законами и могут быть спрогнозированы. Бóльшую неприятность в производстве комбикорма доставляют *условно систематические погрешности*, то есть погрешности, устойчивые на достаточно большом временном интервале (так называемые дрейфующие погрешности). Они возникают неожиданно и действуют в течение неопределенного времени, трудно спрогнозировать момент их возникновения и величину. Дрейфующая погрешность может быть скорректирована поправками в данный момент времени, но она вновь непредсказуемо может появиться по другой причине.

Пример реального проявления такой погрешности изображен на рисунке 1, на котором представлены результаты анализа на содержание сырого протеина в 10 пробах комбикорма, отобранных от одной партии. В соответствии с расчетом оно должно составлять 18,67%. После статистической обработки получено: среднее значение сырого протеина $\bar{x}$ =17,84%, коэффициент вариации C_v = 3,63% (суммарно аналитические и технологические вариации), стандартное отклонение S_Σ = 0,63%. Вывод: при вполне приемлемых коэффициенте вариации и стандартном отклонении имеет место систематическая погрешность Δ, равная 0,83% (Δ = 18,67 − 17,84 = 0,83%).

Для более наглядной иллюстрации различного вида вариаций качества комбикормов воспользуемся образом стрелковой мишени (рис. 2). Пусть рассчитанное значение контролируемого параметра лежит в самом центре мишени, и мы, как любой хороший стрелок, хотим попадать только в центр мишени, только в «яблочко». Белые крестики в черном круге отображают именно этот случай: технологический процесс хорошо отлажен — при анализе шести проб комбикорма в каждой пробе значение контролируемого параметра очень близко к расчетному.

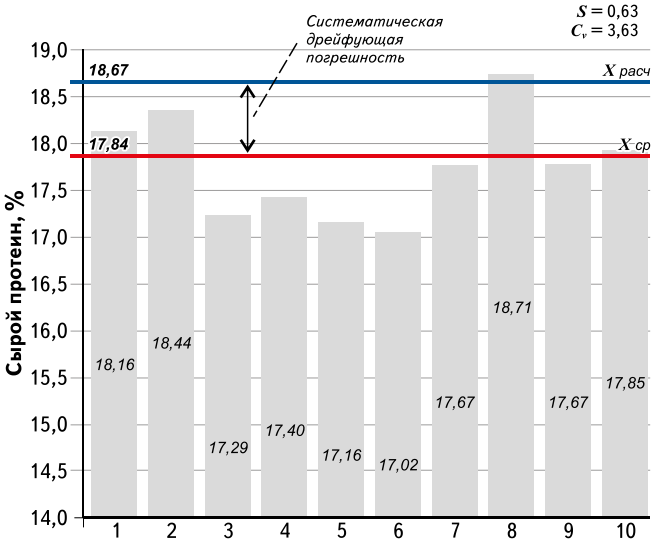

Рис. 1. Распределение значений содержания сырого протеина в 10 пробах комбикорма одной партии

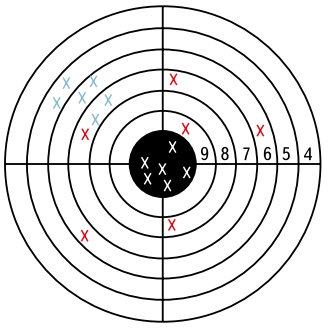

Рис. 2. Иллюстрация видов вариаций питательных веществ в комбикорме

Красные крестики отображают не очень хороший технологический процесс: хотя значения контролируемого параметра группируются вокруг черного круга (вокруг среднего значения), разброс от среднего велик (большой коэффициент вариации). Синие крестики характеризуют хорошо отлаженный технологический процесс, но в нем есть устойчивая погрешность, которая привела к смещению контролируемого параметра на одинаковую величину во всех пробах. Именно этот случай иллюстрирует рисунок 1.

Причин возникновения устойчивой дрейфующей погрешности может быть несколько: грубая ошибка в оценке показателя питательности компонента, занимающего большой удельный вес в рецепте; сбой в работе весодозирующих или транспортных систем и др.

В качестве гипотезы о возникновении такой погрешности рассмотрим процесс загрузки шести партий пшеницы от разных поставщиков в силос вместимостью 170 т и последующую подачу ее в производство. На рисунке 3 в левой его части показана последовательность заполнения силоса пшеницей, начиная с первой по шестую партии, на правом — воронкообразное истечение зерна из силоса, при котором вначале истекают верхние слои, а затем нижние. Поэтому шестая партия, загруженная последней, будет истекать первой, а партия, загруженная первой, истечет из силоса последней.

При поступлении каждая партия была исследована на содержание сырого протеина (см. таблицу).

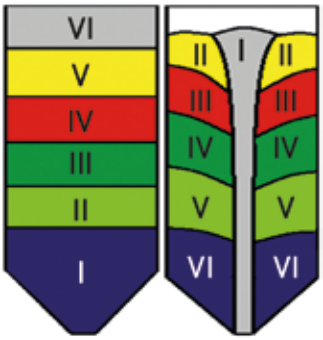

Рис. 3. Заполнение силоса зерном и особенности его истечения из силоса

Если оценивать зерновую массу (M) в силосе как единое целое, то при решении нашей задачи она будет характеризоваться следующими параметрами: массой $M = 151$ т; средневзвешенным значением сырого протеина $X = 10{,}74\%$, которое будет использоваться при расчете рецепта; стандартным отклонением по сырому протеину $S = 1{,}02$; коэффициентом вариации содержания сырого протеина $C_v = 9{,}49\%$; размахом выборки $d = X_{max} - X_{min} = 12{,}0 - 9{,}1 = 2{,}9\%$.

Уже при истечении первого слоя (шестая партия) отличие фактического значения сырого протеина (12,0%) от средневзвешенного (10,74%) составляет 1,34%. При вводе пшеницы в комбикорм в количестве 40% устойчивая погрешность в готовой продукции составит +0,54%. Эта погрешность будет действовать до истечения из силоса 40 т пшеницы, дальше погрешность сменит знак на минус и ее значение в рецепте будет составлять −0,376%. Хотя обе погрешности одинаково неприятны, вторая приводит к повышению вероятности выхода за нижнюю допустимую границу. При устойчивой погрешности −0,376% вероятность того, что содержание сырого протеина войдет в диапазон, учитывающий технологические и аналитические вариации ($X = 18{,}0 \pm 1{,}23\%$), составит $p = 0{,}87$, а в диапазон аналитических вариаций ($X = 18{,}0 \pm 0{,}82\%$) войдет только с вероятностью $p = 0{,}72$.

Причина такой погрешности кроется в очень большом размахе d по содержанию сырого протеина в партиях пшеницы. При анализе выработанной партии комбикорма лаборатория завода увидит эту погрешность, как увидит ее и лаборатория потребителя. Довольно высока вероятность того, что погрешность будет выходить за допустимые границы даже с учетом технологических вариаций. Как к этому относиться?

Сошлемся на зарубежный опыт. В соответствии с приложением IV «Разрешенные допуски по указанию состава на этикетках кормовых материалов или комбикормов» Регламента ЕС №767/2009 от 13 июля 2009 г. о размещении на рынке и использовании кормов разрешаются следующие допустимые отклонения от указанных в этикетке значений для сырого протеина, сахара, крахмала и инулина: одна абсолютная единица при содержании показателя в корме менее 10%; 10% от заявленного значения при содержании показателя в корме от 10 до 30%; три абсолютных единицы при содержании показателя в корме более 30%. В этих допусках, установленных на основе многолетнего практического опыта (точно такие допуски действовали в Законе о кормах в Германии до принятия данного Регламента ЕС), учитываются аналитические и технологические вариации, возможность возникновения дрейфующей погрешности и вероятность расслоения комбикорма при транспортировке.

Масса партии и содержание сырого протеина в пшенице

Партия	Масса, т	Содержание сырого протеина, %
I	20	9,1
II	30	11,0
III	25	10,0
IV	16	11,5
V	20	9,8
VI	40	12,0

Таким образом, если следовать разрешенным европейским регламентом допускам, то для рассматриваемого нами примера устанавливается допуск $X = 18{,}0 \pm 1{,}8\%$. При этом нижняя граница, при которой результат принимается как соответствующий заявленному значению, будет больше или равна 16,2%. Заметим, что Регламент ЕС устанавливает максимально возможный допуск. В Регламенте прямо сказано, что отклонения от заявленных значений говорят об ухудшении качества комбикорма. В конкретных договорах на поставку потребитель может выставить собственные требования по обеспечению гарантий качества и границы возможных отклонений, с учетом или без учета технологических вариаций и возможных дрейфующих погрешностей.

В заключение отметим, что данной публикацией мы хотели, чтобы при заключении договоров на поставку комбикорма или при оценке его качества потребителем обе стороны — и производитель, и потребитель — обладали всей полнотой информации по проблеме количественной оценки вариаций питательных веществ в комбикормах.

При проверке соответствия качества комбикорма заявленным значениям целесообразно учитывать не только аналитические, но и естественные вариации технологического процесса, чтобы не увеличивать цену из-за необходимости создания страхового запаса. Величина естественных вариаций хорошо прогнозируется, и она должна быть известна потребителю. Производитель комбикорма должен свести к минимуму влияние дрейфующих погрешностей. Поскольку их невозможно исключить полностью, возможны редкие случаи выхода показателей питательности комбикорма за пределы технологических и аналитических вариаций. Потребитель должен систематизировать информацию о качестве комбикорма, чтобы иметь возможность провести его статистическую обработку.

Литература

1. *Панин, И.Г.* Технологические аспекты оптимизации рецептов комбикормов с гарантируемой питательностью / И.Г. Панин // Сб.: Проблемы развития современных комбикормовых технологий. — Одесса, 2008. — С. 23–36.
2. *Панин, И.Г.* Оценка вариации питательных веществ в комбикорме / И. Панин, Ю. Колпаков, Е. Шенцова, В. Гречишников // Комбикорма. —2009. — №5. — С. 76–77.