

# ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА\*

Н. ЧЕРНЯЕВ, канд. техн. наук, профессор

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОПУСКИ

Специалисты по кормлению, разрабатывая рецепты комбикормов с учетом вида животных и их половозрастного состава, указывают пределы содержания показателей питательности комбикорма тремя способами: «не более», «не менее» или одновременно ограничивая нижним и верхним пределами.

Последний способ — с заданным диапазоном — наиболее приемлемый, его следует считать «зоотехническим допуском». В диапазоне зоотехнического допуска можно назначить технологический допуск, внутри которого в идеальном случае должны находиться все множества реализуемых параметров. При функционировании системы в результате появления случайных и систематических погрешностей отдельные данные могут выходить за пределы технологического допуска, что расширяет его рамки. Главным становится вопрос о вхождении в зоотехнический допуск.

С учетом точности стандартизованных химических методов анализа следует принять следующее правило включения результата в зоотехнический допуск: если результат  $x_i$ , выходящий за рамки зоотехнического допуска, с учетом допускаемых стандартизованным методом расхождений входит в этот допуск, то его следует принимать как положительный результат (величина  $P_1$ ).

Окончательно принимаемое в зоотехнический допуск значение изучаемой величины будет равно:

$$|x_i| = x_i \pm D',$$

где  $D' = 0,92D$  ( $D$  — допускаемые расхождения между результатами, полученными в разных условиях: в разных лабораториях, в разное время, при работе на разных приборах и т.д.).

Применение коэффициента 0,92 обосновано преднамеренным созданием более жестких рамок для зоотехнического допуска, то есть меньше ожидаемого  $D$  на 8%.

Пример: в документе о качестве производитель указал содержание в комбикорме сырого протеина не менее 15%. Рассчитываем величину  $D$  в соответствии с ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина» по формуле:

$$D = 0,09 + 0,05 \bar{x} = 0,09 + 0,05 \cdot 15\% = 0,084\%.$$

Таким образом, нижний предел по содержанию сырого протеина, при котором продукция будет отвечать требованиям НТД, соответствовать заявке потребителя и данным производителя, составит:

$$15\% - 0,84\% = 14,16\%,$$

а с учетом  $D'$ :

$$15\% - 0,92 \cdot 0,84\% = 14,23\%.$$

Этот пример показывает, что при зоотехническом ожидании показателя сырого протеина более 15% при обработке результатов анализов в диапазон  $P_1$  следует засчитать все данные  $x_i$  по нижнему диапазону

$$|x_i| = \bar{x} - 0,92 D.$$

При оценке функционирования технологической системы совокупностью показателей пользуются обобщенным выражением

$$\eta = 1 - \frac{H}{H_{max}},$$

объединяющим частные показатели в единый комплекс. Коэффициент стабильности, рассчитанный, например, для четырех показателей, будет равен:  $\eta_{сум4} = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 - 3$ ; аналогично для пяти:  $\eta_{сум5} = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5 - 4$ .

Из этого следует: чем больше связанных между собой показателей стабильности, тем выше должна быть стабильность каждой подсистемы для достижения заданной стабильности системы в целом.

Если принять  $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = \eta_5$ , то для достижения коэффициента стабильности системы, например, 0,8 частные коэффициенты стабильности для четырех подсистем должны быть равны:  $\eta_{сум4} = 4\eta_i - 3$ ;  $\eta_i = (\eta_{сум4} + 3)/4$ ;  $\eta_i = (0,8 + 3)/4 = 0,95$ ; для пяти:  $\eta_{сум5} = 5\eta_i - 3$ ;  $\eta_i = (\eta_{сум5} + 4)/5$ ;  $\eta_i = (0,8 + 4)/5 = 0,96$ .

Из этого следует *первый практический вывод*: для достижения сложными технологическими системами относительно высокой стабильности входящие в нее подсистемы должны функционировать с чрезвычайно высокой надежностью.

В комбикормовой промышленности сложилась практика оценивать качество продукции чаще всего по пяти основным показателям (по результатам химических анализов): сырой протеин, сырая клетчатка, поваренная соль, кальций и фосфор. Таким образом, можно считать, что в технологической системе существует пять взаимосвязанных подсистем.

С учетом уровня техники, технологии, организации и управления технологическим процессом, нестабильности качества сырья и требований потребителя к качеству продукции примем следующие градации коэффициента стабильности оценочных критериев:

$\eta_{сум5}$  менее 0,1 — удовлетворительная стабильность;

$\eta_{сум5}$  от 0,1 до 0,15 — хорошая стабильность;

$\eta_{сум5}$  свыше 0,15 — очень хорошая стабильность.

Тогда частные коэффициенты стабильности процессов для удовлет-

\* Продолжение. Начало в №3-2012

ворительной стабильности системы будут равны:

$$\eta_i = (0,1 + 4)/5 = 0,82;$$

для хорошей стабильности:

$$\eta_i = (0,15 + 4)/5 = 0,83;$$

для очень хорошей:

$$\eta_i = (0,2 + 4)/5 = 0,84.$$

Для нулевой стабильности системы в целом частные стабильности пяти подсистем будут равны:

$$\eta_i = (0 + 4)/5 = 0,8.$$

Если четыре подсистемы из пяти работают с очень высокой стабильностью, равной, например, 0,96 (это соответствует выходу из «зоотехнического допуска» приблизительно 1–1,5 показателей из массива в 200 выборок), а одна подсистема обеспечивает сравнительно низкую стабильность — 0,2, то общая стабильность работы системы остается низкой:

$$\eta_{\text{сум5}} = 4 \eta_{1..4} + \eta_5 - 4;$$

$$\eta_{\text{сум5}} = 4 \cdot 0,96 + 0,2 - 4 = 0,04.$$

Из этого следует *второй практический вывод*: необходимо обеспечивать примерно одинаковую стабильность по всем технологическим подсистемам.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА СТАБИЛЬНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ

В наших исследованиях при производстве комбикормов через каждые 5 мин производился отбор проб и их анализ. Всего было обобрано 30 проб, что соответствует работе технологической системы в течение 2,5 ч. Сырого протеина в анализируемом комбикорме должно было содержаться не менее 14,5%.

На основании результатов анализа рассчитываем среднее арифметическое значение изучаемой величины:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{30} x_i / 30 = 14,62\%.$$

Также рассчитываем допустимое расхождение результатов анализов, выполненных в разных условиях:

$$D' = 0,09 + 0,05 \cdot 14,62 = 0,82\%.$$

Допустимое отклонение результатов по анализируемой выборке, экстраполированное на возможные расхождения с данными потребителя, равно 0,92 D, то есть  $D' = 0,92 \cdot 0,82 = 0,75\%$ .

Нижний предел допустимых значений сырого протеина, при котором продукция считается стандартной либо соответствует заявленному или

декларируемому значению, будет равен:  $|x_i| = 14,62 - 0,75 = 13,87\%$ .

Проанализируем всю выборку данных и отметим те, которые менее  $|x_i|$ . Таких данных всего два — 13,64% и 13,81%, что составляет от общего числа выборок 6,7%. Это соответствует выходу данных из зоны зоотехнического допуска  $P_2 = 0,067$ .

В допустимом интервале будет 28 данных, соответственно  $P_1 = 0,933$ .

Используя данные таблицы и экстраполируя ближайшие значения ( $-P \log_2 P$ ), рассчитаем энтропию системы по формуле:

$$H = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2;$$

$$H = -0,933 \cdot \log_2 0,933 - 0,067 \times \log_2 0,067 = 0,093 + 0,261 = 0,354.$$

Коэффициент стабильности системы — по показателю сырого протеина по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{H}{H_{\text{max}}},$$

$$\eta_{\text{прот}} = 1 - 0,354/1 = 0,646.$$

Таким образом, данные по  $\eta_{\text{прот}}$  соответствуют значению стабильности системы ниже среднего. Учитывая, что среднее значение  $\bar{x} = 14,62\%$  достаточно близко к заданному  $x = 14,5\%$ , процесс можно считать устойчивым с недостаточной стабильностью.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА СТАБИЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ

Допустим, что помимо коэффициента стабильности по протеину ( $\eta_{\text{прот}} = 0,646$ ) на основании результатов анализов отобранных проб были рассчитаны коэффициенты стабильности и по другим показателям: по клетчатке ( $\eta_{\text{клетч}} = 0,9$ ), по поваренной соли ( $\eta_{\text{NaCl}} = 0,92$ ), по кальцию ( $\eta_{\text{Ca}} = 0,8$ ) и по фосфору ( $\eta_p = 0,95$ ).

С использованием этих данных рассчитаем стабильность технологической системы в целом для пяти подсистем:

$$\eta_{\text{сум5}} = 0,646 + 0,9 + 0,92 + 0,8 + 0,95 - 4 = 0,216.$$

Эти данные свидетельствуют об очень хорошей стабильности.

В заключение отметим, простота и доступность данной методики позволяют использовать ее в практических целях на каждом комбикормовом предприятии. ■

Значения величины ( $-P \log_2 P$ )

P	$-P \log_2 P$	P	$-P \log_2 P$	P	$-P \log_2 P$	P	$-P \log_2 P$
0,01	0,0664	0,26	0,5053	0,51	0,4954	0,76	0,3009
0,02	0,1129	0,27	0,5100	0,52	0,4906	0,77	0,2903
0,03	0,1518	0,28	0,5142	0,53	0,4854	0,78	0,2796
0,04	0,1858	0,29	0,5176	0,54	0,4800	0,79	0,2687
0,05	0,2161	0,30	0,5211	0,55	0,4744	0,80	0,2575
0,06	0,2435	0,31	0,5238	0,56	0,4684	0,81	0,2462
0,07	0,2686	0,32	0,5260	0,57	0,4623	0,82	0,2348
0,08	0,2915	0,33	0,5278	0,58	0,4558	0,83	0,2231
0,09	0,3127	0,34	0,5292	0,59	0,4491	0,84	0,2113
0,10	0,3322	0,35	0,5301	0,60	0,4422	0,85	0,1993
0,11	0,3503	0,36	0,5306	0,61	0,4350	0,86	0,1871
0,12	0,3671	0,37	0,5307	0,62	0,4276	0,87	0,1748
0,13	0,3826	0,38	0,5304	0,63	0,4199	0,88	0,1623
0,14	0,3971	0,39	0,5298	0,64	0,4121	0,89	0,1496
0,15	0,4105	0,40	0,5288	0,65	0,4040	0,90	0,1368
0,16	0,4230	0,41	0,5274	0,66	0,3957	0,91	0,1238
0,17	0,4346	0,42	0,5256	0,67	0,3871	0,92	0,1107
0,18	0,4453	0,43	0,5236	0,68	0,3884	0,93	0,0974
0,19	0,4552	0,44	0,5211	0,69	0,3694	0,94	0,0839
0,20	0,4644	0,45	0,5184	0,70	0,3602	0,95	0,0703
0,21	0,4728	0,46	0,5153	0,71	0,3508	0,96	0,0565
0,22	0,4806	0,47	0,5120	0,72	0,3412	0,97	0,0426
0,23	0,4877	0,48	0,5083	0,73	0,3314	0,98	0,0286
0,24	0,4941	0,49	0,5043	0,74	0,3215	0,99	0,0140
0,25	0,5000	0,50	0,5000	0,75	0,3113	1,00	0,0000