

# ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА



**Н. ЧЕРНЯЕВ**, канд. техн. наук, профессор

При обсуждении проблемы технологии комбикормов большинство авторов литературных источников ограничиваются описательными методами (сырье, рецептурный состав, технико-химический контроль, построение технологических линий, объемно-планировочные решения и т.д.). Авторы при рассмотрении отдельных процессов используют частные теоретические представления, касающиеся именно их. Например, при рассмотрении процесса сепарирования — теорию случайных процессов; измельчения — затраты энергии на образование новой внешней и внутренней поверхности; дозирования — теорию вероятности; аспирации и пневмотранспорта — законы аэродинамики; при расчете рецептур комбикормов — методы линейного программирования; рассуждая о биологически активных веществах, широко используют понятия биохимии; при оценке эффективности кормов — показания питательности, физиологию животных, не забывая о явлениях антагонизма и синергизма компонентов; моделируя движение сыпучих тел в емкостях и коммуникациях, применяют знания из области механики сыпучих сред, адгезии; при гранулировании учитывают явление меланоидирования (сахаро-аминные реакции, связывающие L-лизин), термолабильность ферментов и других БАВ; при хранении сырья и кормов — окисление

жиров, токсичность микроэлементов, микотоксиновое загрязнение и т.д.

Многие из этих процессов чрезвычайно важны при производстве высококачественных кормов, специфичны, необыкновенно сложны. Они находятся в постоянном изучении и развитии и составляют некое понятийное поле вокруг технологии комбикормов, но кроме них остается еще ядро процесса и сама технология производства. В общем смысле технология — проверенная наукой и практикой рациональная последовательность действий, приводящая к заданному результату. В этом определении ключевое слово — «рациональная», то есть наиболее эффективная последовательность действий.

Заранее условимся, что в технологический процесс допущены только те виды сырья, которые полностью соответствуют зоотехническим показателям по безопасности кормления. В этом случае при реализации технологии надо решить две основные задачи (назовем их не в порядке важности, а в порядке хронологии).

*Первая задача* была рассмотрена автором этой статьи в 1990—1993 гг. и относилась к формулированию и решению задач оптимизации движения материальных потоков в технологических системах с целью поиска режимов работы, обеспечивающих в наибольшей степени эффективную загрузку оборудования. Наиболее полно на примере реальных производств эта задача была изложена в «Сборнике задач и упражнений по технологии комбикормов» (М.: ЦНИИТЭИ «Хлебпродинформ», 1995). Было показано, что, используя метод построения циклограмм, можно выявить и реализовать резервы, найти решения, направленные на усовершенствование технологических систем (вместимость и место установки оперативных бункеров, их роль наряду с оборудованием, место

установки датчиков и др). При этом обосновывается также очередность выработки комбикормов различного рецептурного состава с учетом рациональной загрузки основного технологического оборудования (оперативный суточный или сменный план работы). Метод позволяет находить экстремумы, то есть максимальное количество произведенной продукции при минимальном времени работы, или минимальное количество времени на выполнение задачи любой сложности, обеспечивая минимальное время простоя основного оборудования. При таком подходе экономится электроэнергия и снижается износ оборудования. Метод построения циклограмм применяется как при проектировании нового производства, так и при эксплуатации действующего. Последнее попадает под понятие «технологическая подготовка производства». В связи с большим объемом вычислительной работы, после согласования алгоритмов, рациональные режимы работы, скорее всего, могут находить и рекомендовать фирмы, владеющие компьютерными технологиями.

*Вторая задача* — в процессе производства обеспечить в готовой продукции необходимое содержание всех нормируемых показателей питательности, несмотря на его колебания (в потоке) в сырье и системные ошибки в работе оборудования. Эту задачу рассмотрел доктор технических наук И.Г. Панин при подготовке докторской диссертации в 2005 г. По его мнению, в процессе производства должна осуществляться «оптимизация гарантируемой питательной ценности». Для этого разработаны алгоритмы и программное обеспечение, которые нивелируют системные погрешности технологического процесса. Понимая значимость данных разработок для формирования более глубокого научного подхода к технологии комбикор-

мов, автор приглашает специалистов к обсуждению указанных достижений и призывает к их внедрению в производственный процесс.

Для рассмотрения критериев качества работы технологических систем было решено повторно изложить методику оценки стабильности технологического процесса производства комбикормов (впервые она была опубликована в журнале «Комбикорма» № 1—1995 г.).

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ

### Основные понятия

На ход технологического процесса (ТП) производства комбикормов и другой аналогичной продукции оказывает влияние ряд факторов: изменение качества исходного сырья в течение смены, суток или на более длительном отрезке времени — от партии к партии; технический уровень и исправность оборудования; квалификация и отношение к работе кадров — технологического и ремонтного персонала; уровень автоматизации технологического про-

цесса; уровень организации труда; глубина технологической подготовки производства, включая обоснованность применяемых алгоритмов выполнения конкретных заданий; построение технологических систем (ТС); возможность контроля и управления ходом производства; скорость и однозначность отклика технологической системы в целом и входящих в нее подсистем на управляющие воздействия производственного персонала и ряд других факторов.

Об уровне стабильности технологического процесса условимся судить косвенно — по поддержанию стабильности отдельных качественных показателей вырабатываемой продукции и их совокупности. Чем больше будет показателей, тем больше информации мы сможем получить о качестве функционирования ТС.

### Оценка технологического процесса по коэффициенту вариации

О качестве технологического процесса можно судить по коэффициенту вариации  $V_c$  показателей качества: сырого протеина, клетчатки, поваренной соли, кальция, фосфора и других показателей по формуле:

$$V_c = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $x_i$  — текущее значение наблюдаемой величины;

$\bar{x}$  — среднее арифметическое значение наблюдаемой величины в данной серии опытов;

$n$  — число опытов (не менее 10).

В соответствии с требованиями ГОСТ 13496.0-80 «Комбикорма, сырье. Методы отбора проб» образцы продукта необходимо отбирать в потоке через равные промежутки времени, желательно с использованием автоматических пробоотборников. При отборе образцов в течение 8-часовой смены через каждые 30 мин по результатам химических анализов можно с уверенностью судить о качестве ТП на протяжении именно этой смены по обеспечению необходимого содержания анализируемых конкретных показателей. О качестве ТП в другое время судят предположительно, проанализировав изменчивость факторов, упомянутых выше.

Для правильности выводов необходимо сопоставить значения следующих величин:  $x$  — содержание показателя качества в анализируемом комбикорме, который можно считать зоотехническим требованием (допуском);  $\bar{x}$  — среднее арифметическое значение изучаемой величины;  $V_c$  — коэффициент вариации как отношение среднего квадратического значения отклонения к среднему значению.

Если:

$x$  совпадает или мало отличается от  $\bar{x}$  и при этом  $V_c < 3\%$  [1] технологический процесс по данному показателю считают стабильным и точным, что соответствует понятию устойчивости;

$x \cong \bar{x}$ , а  $V_c$  находится в диапазоне от 3 до 7,5%, — у процесса хорошая устойчивость;

$x \cong \bar{x}$ , а  $V_c$  находится в диапазоне от 7,5 до 15%, — устойчивость процесса удовлетворительная;

$x \cong \bar{x}$ , а  $V_c > 15\%$  — устойчивость процесса неудовлетворительная.

Среднее значение анализируемой величины  $\bar{x}$  может значительно отличаться от заданного зоотехнического требования  $x$  в ту или иную сторону, однако при этом коэффициент вариации может быть очень мал, например,

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

$V_c < 3\%$ . В этом случае можно говорить о стабильности ТП, но в то же время и о его неточности. Чаще всего это связано с недостоверными сведениями по качеству сырья, системными ошибками в работе дозирующего или другого оборудования, а в ряде случаев с заниженными нормами ввода белковых и других дефицитных видов сырья.

В остальных случаях, когда  $\bar{x}$  значительно отличается от  $x$ , а  $V_c$  имеет значительную величину, процесс следует охарактеризовать как неточный и нестабильный.

#### Оценка технологического процесса по коэффициенту стабильности

Коэффициент стабильности  $\eta$  рассчитывают с использованием понятия энтропии как меры упорядоченности связей в системе [2]:

$$\eta = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad (2)$$

где  $H$  — энтропия системы, находящейся в данном функциональном состоянии;

$H_{\max}$  — максимально возможная энтропия, соответствующая полной неопределенности в поведении системы.

Максимум энтропии  $H_{\max} = 1$  соответствует ее неустойчивому состоянию, при котором вероятность достижения желаемого результата  $P_1$  равна получению нежелательного результата  $P_2$ . С учетом этого

$$\eta = 1 - \frac{H}{I}. \quad (2')$$

Энтропию функционирующей системы рассчитывают по формуле:

$$H = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2, \quad (3)$$

где  $P_1$  — вероятность совершения события в заданном (желаемом) интервале;

$P_2 = 1 - P_1$  — вероятность выхода события из заданного интервала.

Для простоты использования формулы (3) значения величины  $(-P \log_2 P)$  приведены в таблице.

Рассчитав значение энтропии  $H$  и подставив его в формулу (2'), находят коэффициент стабильности  $\eta_i$  для каждого показателя качества вырабатываемой продукции.

Оценку процесса по коэффициенту стабильности  $\eta$  целесообразно проводить при наличии большой выборки данных ( $n = 25-30$ ). Это возможно, например, при отборе образцов продукции в потоке через каждые 5–10 мин и их анализе с применением ИК-анализатора или при специально организованной проверке химическими методами.

#### Литература

1. Черняев Н.П. Технология комбикормового производства / Н.П. Черняев. — 2-ое изд. — М: Колос, 1992.
2. Панфилов В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств / В.А. Панфилов. — М: Агропромиздат, 1986. ■

Продолжение в следующих номерах

#### КНИЖНАЯ ПОЛКА



**Богдан Викторович Егоров**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии комбикормов, ректор Одесской национальной академии пищевых технологий, подготовил и издал учебник «Технология производства комбикормов» («Технологія виробництва комбікормів», Одесса: Друкарський дім, 2011) для подготовки специалистов в Украине по специальностям «Пищевая технология и инженерия» (бакалавры) и «Технология хранения и переработки зерна» (специалисты и магистры).

Учебник издан на украинском языке объемом 28 п.л.

Выход в свет учебника — заметное явление на всем постсоветском пространстве, явление давно ожидаемое, тем более, что подготовил его высокочеловеческий специалист, ученый, педагог, много лет отдавший служению этой отрасли. В то время как в Российской Федерации подготовка инженеров-технологов для комбикормовой отрасли практически свернута, в Украине продолжает работать специализированная кафедра, накопившая в этом направлении значительный опыт, что положительно сказывается на восстановлении деятельности комбикормовых предприятий в стране, строительстве новых заводов и подъеме животноводства в целом.

Ознакомление с учебником дает возможность положительно оценить его содержание, структуру, глубину и науч-

ную подоснову. Структура учебника классическая, соответствующая программе чтения курса, дающая широкий аспект знаний инженеру-технологу, в то же время несущая необходимый заряд любви к специальности, что бывает важнее конкретных знаний, которые быстро устаревают и которые необходимо постоянно обновлять. На примере этого замечательного издания можно с уверенностью сказать, что педагог выполнил древний завет: «Студент не сосуд, который надо наполнить, а факел, который нужно зажечь!» Я говорю это с уверенностью, поскольку сам заведовал аналогичной кафедрой более 16 лет, хотя занимался со взрослыми студентами в системе заочного образования.

Хочу отметить, что каждый раздел учебника содержит обновленные данные по сравнению с ранее выпущенными изданиями, апеллирует к мировому опыту.

Учебник содержит обширную, хорошо продуманную библиографию, которая позволит выпускникам продолжить углубленное изучение этого увлекательного и жизненно важного предмета.

Хочется поблагодарить уважаемого Богдана Викторовича за этот труд и пожелать издать учебник на русском языке, внеся, по необходимости, правки, ориентированные на российского студента и специалиста. ■

**Н. ЧЕРНЯЕВ**

