

СТАБИЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

В. ЕГОРОВ, канд. техн. наук, Одесская Национальная академия пищевых технологий

Развитие промышленности на всех его этапах обуславливало ряд требований в первую очередь к качественным характеристикам выпускаемой продукции, а с внедрением систем автоматического управления — непосредственно к процессу производства. Основой менеджмента качества производственного процесса является его совершенство — высокие технологичность и организация, которые способствуют стабильному выпуску продукции в строгом соответствии с требованиями нормативной документации.

Для технологических процессов важное свойство — их стабильность. Под этим термином понимают обуславливающее постоянство распределений вероятностей для его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне (Орлов А.И., «Математика случая. Вероятность и статистика — основные факты», 2004). Информация, полученная в результате статистического анализа точности и стабильности технологического процесса, может быть использована как аргумент для регулятора в системе автоматического управления для синтеза соответствующего управляющего воздействия. При этом запаздывание в канале регулирования системы — основополагающий фактор эффективности и целесообразности применения показателей стабильности технологического процесса.

Статистические методы анализа и оценки качества продукции в ходе технологического процесса и статистические методы регулирования технологических процессов являются составляющими управления качеством продукции.

Существует ряд определений термина «стабильность» в привязке к процессу. Так, в соответствии со стандартами ГОСТ РВ 15.002-2003 СРПП ВТ «Системы менеджмента качества. Общие требования» и ГОСТ 15895-77 «Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения» стабильность — свойство технологического процесса, которое обуславливает постоянство распределения вероятности его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне. В привязанности же к системам стабильность — это способность системы функционировать, не изменяя собственную структуру, и находиться в равновесии, что должно быть неизменным во времени. В качестве количественных показателей точности и стабильности технологического процесса предлагаются различные критерии. В то же время

очевидно, что в любом случае процесс будет точным, если распределение контролируемого параметра не выйдет за границы нормы, и стабильным, если этого же не произойдет за некоторый интервал времени.

Технологические процессы зерноперерабатывающей промышленности реализуются, как правило, в виде сложных технологических комплексов, включающих в себя взаимосвязанные аппараты и оборудование, взаимодействующие потоки сырья, энергоносителей, комплектующих изделий, полуфабрикатов и продукции. Им свойственна высокая степень неполноты информации о свойствах изначального сырья и о свойствах сырья непосредственно во время технологического процесса.

Для оценки показателей точности и стабильности предлагаются различные методы: показатель точности технологического процесса; через соотношение среднее квадратических отклонений в фиксированный момент времени; с использованием критерия Кохрана; с помощью индекса центрированности. Предлагается метод оценки стабильности технологического процесса по энтропии как меры упорядоченности связей в системе (Черняев Н.П., «Оценка стабильности технологического процесса», 2012). Применение энтропии для оценки стабильности технологического процесса, с нашей точки зрения, затруднительно, поскольку предполагает знание значений вероятности совершения события в желаемом интервале и вероятности выхода события из заданного интервала. Безусловно, приблизительное понимание указанных вероятностей мы можем оценить из неравенства Чебышева, из которого следует, что вероятность того, что случайная величина отстоит от своего математического ожидания более чем на k стандартных отклонений, составляет менее $1/k^2$, однако только приблизительно. Применение же среднеквадратического отклонения и стандартного среднеквадратического отклонения имеет не только преимущества, но и недостатки.

Следует отметить, что перечисленные выше показатели так или иначе характеризуют процесс с точки зрения стабильности без сопоставления средней величины процесса $\bar{x}$ с заданным значением. Кроме того, для получения данных о технологическом процессе на зерноперерабатывающем предприятии требуются лабораторные исследования. И даже применение инфракрасных экспресс-анализаторов

вносит в канал регулирования существенное запаздывание, что неприемлемо для функционирования эффективных систем автоматического управления.

Егоров Б.В., Макаринская А.В. и Кац И.С. (2008) в работе «Математические основы оценки стабильности технологических процессов производства премиксов и комбикормов» указывают, что поскольку дисперсия рассеивания какого-либо параметра технологического процесса как системы характеризует его способность достигать поставленную цель — заданный диапазон рассеивания и заданное абсолютное значение искомой величины X_i , то представляется возможным оценить стабильность технологического процесса по степени возобновления дисперсии рассеивания с течением времени t по формуле:

$$St = 1 - \frac{\left[\frac{\sigma_{X_i}}{\bar{X}_i} \right]_n - \left[\frac{\sigma_{X_i}}{\bar{X}_i} \right]_m}{\left[\frac{\sigma_{X_i}}{\bar{X}_i} \right]_n}; \quad (1.1)$$

где σ_{X_i} — дисперсия случайной величины;
 $\bar{X}_i$ — среднее значение;
 n — момент времени оценки σ_{X_i} ;
 m — момент времени в $n + \Delta t$.

Выражение (1.1), как указывают авторы, является справедливым в случае, если структура технологического процесса в течение промежутка времени t между двумя измерениями не изменялась. В этом случае отклонение в оценке дисперсии будет связано с проявлением влияния возмущающих воздействий как в отношении однородности характеристик используемого сырья, так и в отношении постоянства значений конструктивно-технологических факторов.

Вопрос стабильности технологических процессов до настоящего времени не подведен обобщенной концепцией. Приведем ряд очевидных утверждений, описывающих стабильность процесса как понятие:

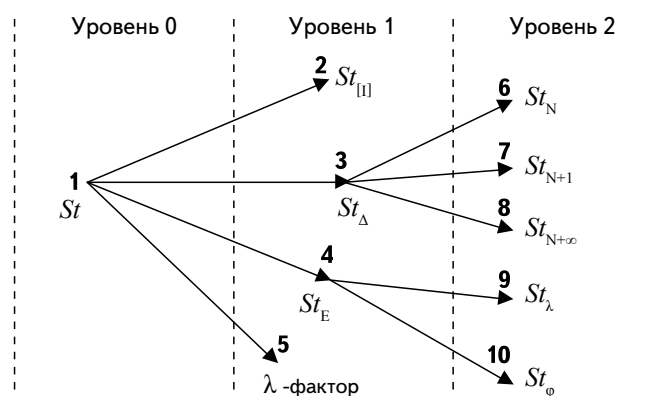
- стабильность — это свойство процесса, в том числе технологического;
- свойство стабильности — это дифференцированное, а не бинарное свойство («уровень», или «степень» стабильности);
- средство достижения «заданной» степени стабильности процесса — управление.

Существует два вида стабильности технологического процесса: абсолютная (идеализированное понятие, в природе недостижимо) и условная (квазистабильность). На практике возможно применение именно квазистабильности (далее — стабильность). Это свойство технологического процесса, характеризующееся постоянством соотношений и причинно-следственных связей между тремя ее мультипликативными составляющими на определенном интервале времени:

- а. стабильность показателей качества продукта St_{Δ} ;
- б. стабильность технико-экономических показателей процесса St_E ;
- с. массово-объемная стабильность производительности процесса St_{Σ} .

Для оценки стабильности процесса на качественном уровне, как и любого другого свойства любого другого процесса, применяют показатели стабильности — мультипликативные составляющие самой стабильности. Таким образом, $St_{[i]} = St_{\Delta} \cdot St_E \cdot St_{\Sigma} \cdot \lambda$; где λ — фактор стабильности неучтенной составляющей. При принятом решении не учитывать конкретную составляющую считаем ее равной единице.

Обобщенную структуру системы стабильности технологического процесса можно представить ориентированным деревом (связанным ациклическим графом) с корнем, соответствующим общей стабильности (см. рисунок).



Графическое изображение обобщенной структуры системы стабильности

Исходящие степени всех вершин упорядоченного графа, кроме терминальных (концевых узлов), не меньше 2. Терминальные вершины (2, 5, 6, 7, 8, 9 и 10), очевидно, могут находиться на любом уровне, кроме нулевого. Подсистемы, соответствующие терминальным вершинам в графическом представлении структуры обобщенной стабильности, рассматриваемой как сложная система, являются элементарными компонентами системы — «конечные» стабильности. Конечная стабильность — это свойство процесса изменения показателя, которое характеризует его способность сохранять значения этого конкретного показателя в заданных границах поля допуска на протяжении определенного интервала времени при среднеквадратическом отклонении $\rightarrow 0$ и математическом ожидании $\rightarrow$ к середине поля допуска.

Для расчета показателя «конечная стабильность» различными авторами предлагалось множество методов: через коэффициент вариации и через энтропию функционирующей системы; с применением дифференциальных уравнений, векторов и линейно нормированных многомер-

ных пространств. На наш взгляд, наиболее эффективный метод контроля возможных отклонений показателей качества готовых смесей — это метод, оценивающий стабильность функционирования технологических процессов по формуле:

$$St = 1 - \frac{D[x]_{\max} - D[x]_{\min}}{D[x]_{\max}} = \frac{D[x]_{\min}}{D[x]_{\max}}; \quad (1.2)$$

где $D[x]_{\max}$ и $D[x]_{\min}$ — максимальная и минимальная дисперсии распределения случайной величины x_i как параметра оценки стабильности функционирования технологической системы.

Однако все перечисленные методы позволяют получить характеристику не стабильности, а лишь одного из ее свойств. Так, формула для расчета стабильности (1.2) дает представление только о стабильности колебаний в процессе, но не характеризует настроенность процесса (соответствие математического ожидания процесса середине поля допусков) и не характеризует нахождение распределения вероятностей процесса в пределах полей допусков.

Для решения указанной проблемы предлагаем ввести комбинированный показатель конечной стабильности, взяв за основу предложенную авторами Егоровым Б.В., Макарянской А.В. и Кац И.С. формулу показателя стабильности колебаний и умножив его на составляющие, характеризующие настроенность и нахождение распределения в пределах полей допусков:

$$St = \frac{D[x]_{\min}}{D[x]_{\max}} \cdot e^{\frac{-(\bar{x} - x_o)}{\Delta}} \cdot th\left[\frac{\Delta}{6\sigma}\right] \cdot \lambda; \quad (1.3)$$

где $St = \frac{D[x]_{\min}}{D[x]_{\max}} \rightarrow 1$ — асимптотическое приближение к «1» при стабилизации уровня колебаний процесса;

$e^{\frac{-(\bar{x} - x_o)}{\Delta}} \rightarrow 1$ — при коэффициенте настроенности $K_H = \frac{|\bar{x} - x_o|}{\Delta} \rightarrow 0$;

$th\left[\frac{\Delta}{6\sigma}\right] \rightarrow 1$ — функция гиперболического тангенса при индексе разброса $C_p = \frac{\Delta}{6\sigma} \rightarrow \infty$;

$D[x]_{\max}$ и $D[x]_{\min}$ — максимальная и минимальная дисперсии распределения случайной величины x_i ;

$x_i, \bar{x}$ — среднее арифметическое значение (математическое ожидание);

x_o — середина поля допуска;

Δ — поле допуска;

σ — оценка среднеквадратического отклонения;

λ — фактор стабильности неучтенной составляющей.

Таким образом, предложенный показатель конечной стабильности является комбинированным: при стабилизации $St \rightarrow 1$, при дестабилизации $St \rightarrow 0$. Стабильность технологического процесса — одна из ключевых характеристик любого процесса, в том числе технологического. Применение оценки стабильности и ее первой производной существенно расширяет возможности системы автоматического управления, что важно для повышения эффективности технологических процессов на пищевых и зерноперерабатывающих производствах. Один из способов достижения заданного ее уровня — применение систем гарантирующего управления для предотвращения события выхода показателя стабильности за определенные оператором границы поля допусков (Хобин В.А., «Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения», 2008). Кроме того, реализация в системе автоматического управления подсистем гарантирующего управления стабильностью показателей качества и ее первой производной позволит свести к минимуму запаздывания в каналах регулирования из-за отсутствия непрерывных лабораторных исследований. Важность внедрения функции управления стабильностью технологической системы трудно переоценить, так как широкое внедрение системы контроля качества НАССР не позволяет рассматривать возможность управления качеством технологических процессов в динамике, а только в статике, что не гарантирует качества производимой продукции.

Мультипликативность строения стабильности приводит к одному из выводов системного анализа: дестабилизация любой из составляющих стабильности процесса приводит к дестабилизации всего процесса. Под дестабилизацией при этом понимают процесс, при котором одна из мультипликативных составляющих стабильности уменьшается либо ее изменение приводит к уменьшению другой. Состояние равновесия — это состояние системы, при котором показатель стабильности системы находится в одной из точек оптимальности. ■



В Тобольске 15 октября состоялось открытие завода «Тобольск-полимер» по выпуску полипропилена, входящего в тройку самых распространенных в мире пластиков. Из него делают тару

и упаковку, детали машин, трубы для водопровода, бытовую технику, медицинские приборы и др. В настоящее время российский рынок этого материала дефицитен. В 2012 г. его было

произведено 660 тыс. т при спросе более 880 тыс. т. «Тобольск-полимер» будет решать важную задачу по импортозамещению и экспорту.