

В.П. Тарасюк, А.Г. Лыков, А.С. Алдохина

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ  
КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ И ФОРМИРОВАНИЕ  
ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОЦЕССОМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРАЛИНОВЫХ МАСС**

Рассматриваемый технологический процесс приготовления пралиновых масс характеризуется временем, затрачиваемым на изготовление каждой партии готовой продукции [1]. Основными технологическими характеристиками дискретно-непрерывного технологического процесса являются производительность и качество изготовления изделий. На них влияет много факторов, важнейшими из которых являются технология производства, изменение физико – механических свойств сырья и др.

Процесс управления качеством продукции предусматривает следующие операции: выборку пробы из потока; измерение показателя и экспертную оценку качества готовой продукции; принятие решений об внесении корректив в технологический процесс, т.е. формирование и осуществление управляющего воздействия. Поскольку качество готовой продукции и соответственно точность технологического процесса определяют его технические показатели, то необходимо рассмотреть характеристики показателя качества готовой продукции [2].

Изменение показателя качества характеризуется серией последовательных случайных величин  $Z_j(n)$  (где  $n$  – количество составляющих в выборке с некоторого момента времени  $t_0$ ,  $j$  – показатель качества готовой продукции). Уравнение для определения показателя качества  $j=1$  можно представить в виде суммы двух некоррелированных последовательностей [3]

$$Z(n) = Z_1(n) + N(n) \quad (1)$$

где  $Z_1(n)$  - детерминированная составляющая показателя качества;

$N(n)$  - случайная составляющая показателя качества.

Появление детерминированной составляющей может являться следствием закономерного изменения технологических параметров процесса. Поскольку показатель качества является случайной величиной, то в общем случае можно рассматривать закон распределения этой случайной величины. На рис.1 приведены кривые, характеризующие дифференциальные законы распределения показателя качества готовых изделий неуправляемого технологического процесса  $f_z(Z)$  (кривая 1) и управляемого  $f_y(Y)$  (кривая 2).

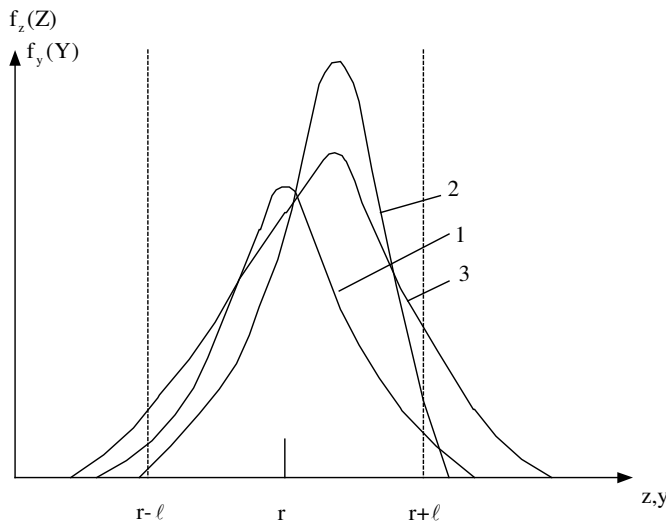


Рис.1 Дифференциальные законы распределения показателя качества готовой продукции

Показатель качества точности технологического процесса при отсутствии системы управления процессом

$$T_z = 100 \int_{r-l}^{r+l} f_z(Z) dZ, \quad (2)$$

при наличии системы управления

$$T_y = 100 \int_{r-l}^{r+l} f_y(y) dy. \quad (3)$$

Закон распределения случайной величины – показателя качества – является композицией законов

распределения трех слагаемых псевдодетерминированной регулярной составляющей  $\sum_i u_i \varphi_i(n)$  ( $\varphi_i(n)$  – известные функции времени,  $u_i$  – случайные величины) и двух случайных составляющих  $S(n)$  и  $N(n)$ .

Случайную последовательность  $S(n)$  можно рассматривать как плавно меняющуюся (низкочастотную) составляющую случайной последовательности  $Z(n)$ , называемую коррелированной составляющей со статическими характеристиками:

$$M[S(n)] = M[Z(n)];$$

$$R_S(\Theta) = M\{[S(n) - M[S(n)]] [S(n+\Theta) - M[S(n)]]\}, \quad (4)$$

где  $M$  – символ математического ожидания,  $R_S(\Theta)$  – автокорреляционная функция,  $\Theta = 1, 2, 3, \dots$

Случайную последовательность  $N(n)$  можно рассматривать как высокочастотную составляющую случайной последовательности  $Z(n)$ , называемую некоррелированной составляющей со статическими характеристиками:

$$M[N(n)] = 0; \quad R_N(\Theta) = \begin{cases} 0, & \text{при } \Theta \neq 0 \\ D_N, & \text{при } \Theta = 0. \end{cases} \quad (5)$$

где  $D_N$  – дисперсия случайной величины  $N$

$$D_N = M[N^2(n)] = M\{[Z(n) - Z_I(n)]^2\}. \quad (6)$$

На рис. 2 приведена автокорреляционная функция  $R_Z(\Theta)$  случайной последовательности  $Z(n)$  в виде суммы двух функций:

$$R_Z(\Theta) = R_S(\Theta) + R_N(\Theta). \quad (7)$$

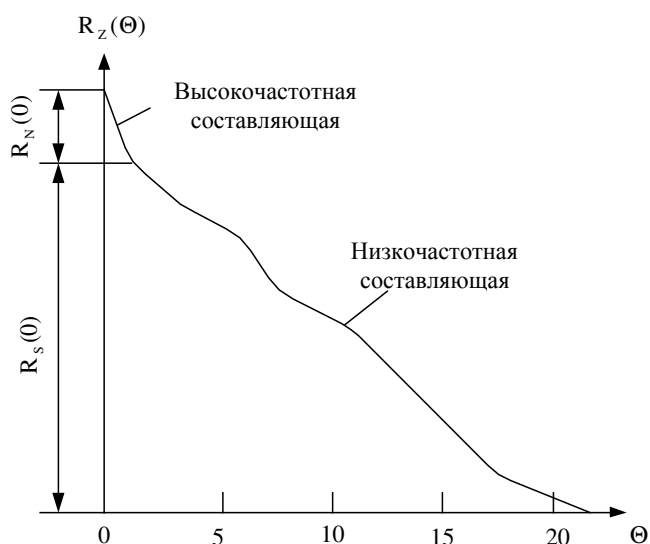


Рис. 2 Автокорреляционная функция случайной последовательности

Физическая интерпретация полученных результатов измерения показателя качества для рассматриваемого технологического процесса состоит в следующем: изменение физико-механических свойств сырья и полуфабрикатов имеют случайный характер, поэтому зависящие от них изменения показателя качества готовых изделий также имеют случайный характер. Кроме того различные партии сырья неоднородны (причем эта неоднородность также носит случайный характер), поэтому готовая

продукция имеет показатели качества, некоррелированные между собой. Этим объясняется появление составляющей  $N(n)$ . Усредненные физико-механические свойства сырья малых партий изменяются от партии к партии медленно и характеризуются сильной корреляционной связью, обуславливающей появление составляющей  $S(n)$ .

При отсутствии детерминированной составляющей и при нормальном законе распределения регулярной и нерегулярной составляющих и при математическом ожидании, равном некоторой постоянной  $M[S(n)] = r$ , в результате композиции двух нормальных законов (рис. 1 кривые 1 и 2) получаем нормальный закон распределения (кривая 3) с числовыми характеристиками:

$$\begin{cases} M[Z(n)] = M[S(n)] = r; \\ M\{[Z(n) - r]^2\} = D_z = R_S(0) + R_N(0). \end{cases} \quad (8)$$

Точность технологического процесса для этого случая

$$T_z = \Phi\left(\frac{\ell}{\sigma_z}\right) 100, \quad (9)$$

где  $\Phi\left(\frac{\ell}{\sigma_z}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\ell}{\sigma_z}} e^{-\frac{1}{2}\varepsilon^2} d\varepsilon$  - интеграл вероятности.

$\varepsilon = \frac{Z - r}{\sigma_z}$  - нормированная случайная величина;

$\sigma_z = \sqrt{D_z}$  - среднеквадратичное отклонение величины  $Z$ .

Целевая функция управления тогда формулируется следующим образом:

$$C_1 = T_y \rightarrow \max. \quad (10)$$

Очевидно, что задача управления состоит в том, чтобы обеспечить точность.

В случае, когда распределение показателя качества в пределах поля допуска приближенно имеет нормальный закон распределения, точность управляемого процесса в соответствии с формулой (2) определяется следующим образом

$$T_y = \left[ \Phi\left(\frac{r + \ell - m_y}{\sigma_y}\right) - \Phi\left(\frac{r - \ell - m_y}{\sigma_y}\right) \right] \cdot 50, \quad (11)$$

$$m_y = M[y(n)], \quad \sigma_y = \sqrt{M\{[y(n) - m_y]^2\}}. \quad (12)$$

Интеграл вероятности есть монотонно возрастающая функция, т.е. всегда  $\Phi(\varepsilon_2) > \Phi(\varepsilon_1)$ , если  $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ .

Тогда вместо целевой функции (10) можно записать

$$\sigma_y \rightarrow \min; |m_y - r| \rightarrow \min. \quad (13)$$

Учитывая, что  $M\{[y(n) - r]^2\} = D_y + (m_y - r)^2$ , то целевую функцию управления (13) с учетом (12) можно записать в следующем виде:

$$C_2 = \sqrt{D_y + (m_y - r)^2} \rightarrow \min \quad (14)$$

Эта целевая функция управления наиболее удобна при исследовании системы управления технологическим процессом на основе экспертных оценок.

На рис. 3 представлена структурная схема такой системы.

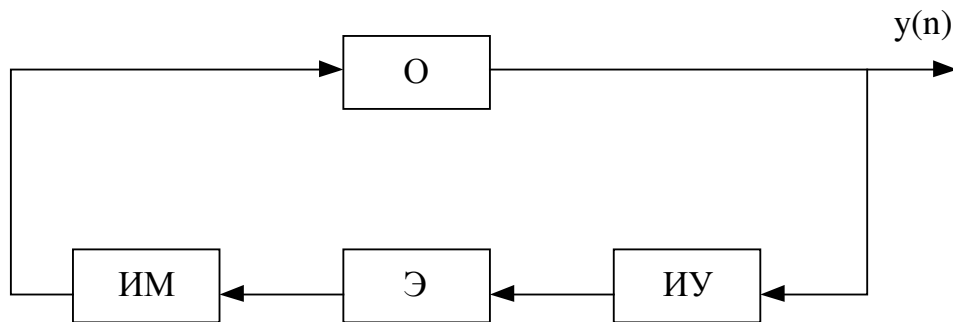


Рис.3 Структурная схема непрерывной системы управления технологическим процессом на основе экспертных оценок.

Она включает объект управления О (аппарат или устройство, участвующие в технологическом процессе), измерительное устройство (ИУ), исполнительный механизм (ИМ), экспертный анализатор (Э).

Величина показателя качества  $Z(n)$  неуправляемого процесса изменяется во времени случайным образом, как было показано выше. Перед началом процесса производится настройка оборудования и устройств, следовательно

$M[Z(n)] = r$ , усреднение ведется по множеству реализаций случайной последовательности  $Z(n)$  управляемого процесса  $y(n)$ .

По мере выпуска изделий (т.е. с ростом  $n$ ) качество продукции и точность процесса может уменьшаться и при выпуске  $d$ -й партии готовой продукции экспертный анализатор принимает решение о необходимости формирования управляющего воздействия. Причем управляющее воздействие, сформированное по результатам измерения  $d$ -й партии изделия, может быть использовано не ранее, чем при изготовлении  $(d+1)$ -й партии. После этого производится контрольная настройка технологического процесса таким образом, что  $M[z(d+1)] = r$ . В случае использования экспертных оценок этот недостаток можно устранить, путем введения корректирующих управляющих воздействий в течении приготовления  $d$ -й партии изделия, тем более, что конструкция рецептурной станции, на которой готовится пралиновая масса это допускает.

Следовательно, случайную последовательность величин показателя качества продукции управляемого процесса  $y(n)$  можно разбить на следующие циклы:

$$\begin{cases} 1n = 1, 2, 3, \dots, d(1); \\ 2n = d(1), d(1) + 1, d(1) + 2, \dots, d(2); \\ 3n = d(2), d(2) + 1, d(2) + 2, \dots, d(3); \\ Nn = d(N-1), d(N-1) + 1, d(N-1) + 2, \dots, d(N); \end{cases} \quad (15)$$

где  $j=1, 2, 3, \dots, N$  – номер цикла;

$d(j)$  – число партий продукции, после выпуска которых в  $j$ -м цикле экспертный анализатор принимает решение о необходимости формирования управляющего воздействия по отношению к качеству и составу исходного сырья.

Существует два принципиально разных подхода к созданию систем управления качеством продукции: с использованием сплошного или с использованием выборочного контроля. Вид контроля предопределяет процедуру выборки изделия из потока и объем информации об изменении текущего показателя качества.

При автоматизации контроля предпочтение отдается второму методу, использующему устройства контроля, не требующие остановки, имеет следующие особенности: не снижается производительность; в результате осуществления единичной операции по управлению точностью судить об изменении точности процесса можно только приблизительно. Этот метод предусматривает выполнение основных операций управления : выборка, измерение показателя качества, принятие решения, осуществление управления. Стратегия управления выраба-

тывается непосредственно на основе обработки результатов последовательных измерений показателя качества, и управление исполнительным механизмом осуществляется в процессе производства.

Случайную последовательность значений показателя качества изделий  $y(n)$  можно рассматривать как результат алгебраического суммирования двух случайных последовательностей — значений показателя качества неуправляемого процесса  $Z(n)$  и значений управляющих воздействий с обратным знаком  $u(n)$ :

$$y(n) = Z(n) - u(n). \quad (16)$$

На основе этого метода может быть создана автоматизированная система управления технологическим процессом приготовления пралиновых масс. Структурная схема управления может быть представлена в следующем виде (рис. 4).

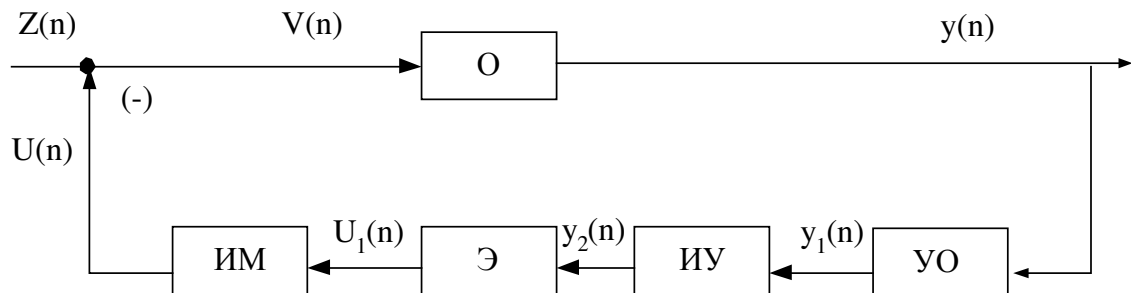


Рис.4 Структурная схема управления технологическим процессом

Опишем работу каждого из блоков этой системы:

О — объект управления представляет собой технологический процесс кондитерского производства, охватывающий совокупность устройств и машин для обработки сырья и полупродуктов. Соответствие между входом и выходом может быть записано через операторы  $A1$  и  $A2$ , обуславливающие всю совокупность математических действий, обеспечивающих выходную величину  $y(n)$ :

$$y(n) = A1 \cdot Z(n) - A2 \cdot u(n) \quad (17)$$

УО- устройство, предназначенное для отбора проб готовой продукции.

Причем обеспечивается экспресс - контроль, когда контролируются все партии изделия. Уравнение устройства отбора проб готовой продукции

$$y_i(n) = \begin{cases} y(n) & \text{при } n_0 + k \frac{T}{\Delta t} \leq n < n_0 + (k + j) \frac{T}{\Delta t} \\ 0 & \text{при } n_0 + (k + j) \frac{T}{\Delta t} \leq n \leq n_0 + (k + 1) \frac{T}{\Delta t} \end{cases}, \quad (18)$$

где  $y_i(n)$  - показатель качества готовой продукции;

$T$  - период работы импульсного элемента;

$$\frac{t_1}{T} = \frac{m_1 \Delta t}{\Delta t (m_1 + m_2)} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} = \gamma - \text{скважность импульсов};$$

$n_0$  - начальный момент времени.

Алгоритм экспертного анализатора Э может быть определен в результате структурного синтеза автоматизированной системы. В частности, он может быть сведен к определению оценки текущего среднего значения показателя качества по формуле

$$m_y^*(n) = \frac{1}{S+1} \sum_{k=n-S}^n y(k).$$

На анализатор поступают значения показателя качества готовых изделий, обрабатываются по соответствующему алгоритму и сигнал управления запоминается до тех пор, пока на выходе анализатора не появится новое значение управляющего сигнала, соответствующее новому моменту времени. Качество работы анализатора оценивается дисперсией его погрешности, зависящей от автокорреляционной функции случайного процесса.

Проведенный анализ дает необходимый материал для синтеза автоматизированной системы управления технологическим процессом на основе экспертных оценок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чичикало Н.И., Тарасюк В.П. Моделирование процесса дозирования в рецептурной станции приготовления пралиновых масс. Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. №4, 2000г., стр. 75-83.
2. Автоматизация технологических процессов пищевых производств/*под. ред. Е.Б. Карпина*, М.: Пищевая промышленность, 1977.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 2004. –479с.