

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЫРЬЯ

И. Е. ИЗВОЛЕНСКИЙ

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт пищевой промышленности

В автоматизированных системах экспресс-анализа качества АСЭАК растительного сырья определение количественных и качественных характеристик заканчивается выявлением некоторого обобщенного показателя — критерия качества, которым во многих случаях является стоимость [1, 2, 3].

Стоимость партии сырья является производной количественных показателей (масса поступившего сырья) и показателей качества.

Определение параметров качества проводится в два этапа — отбор представительной пробы из партии поступившего сырья и определение характеристик качества отобранной пробы.

Так, в АСЭАК картофеля определение параметров качества принятой партии сырья осуществляется линией обработки проб ЛОП, где отобранная проба подвергается различным методам анализа.

Функционирование ЛОП можно охарактеризовать с помощью некоторой конечной цели — критерия, представляющего собой композицию исходных целей (элементарных, промежуточных).

Рассмотрим некоторые композиции. Охарактеризуем ЛОП следующим набором элементарных целей:

- 1) $\partial C_n \Delta M_\varphi / \partial M_\varphi$ — ошибка φ -того взвешивания (по массе M) с соответствующим коэффициентом влияния на ошибку определения стоимости партии ΔC_n ;
- 2) $g_i P_{Qi} / t_{Qi}$ — стоимость i -того технологического устройства ЛОП, где $g_i = \text{const}$, которая обычно прямо пропорциональна количеству P_{Qi} параллельно работающих технологических устройств;
- 3) t_{Qk} — время выполнения k -ой технологической операции (например, взвешивания);
- 4) $a_j P_{Qj} / t_{Qj}$ — пропускная способность j -той технологической операции ($a_j = \text{const}$).

Промежуточные цели ЛОП представим в виде сумм:

$$\sum_{\varphi} \frac{\partial C_n}{\partial M_\varphi} \Delta M_\varphi; \quad \sum_i \frac{g_i P_{Qi}}{t_{Qi}}; \quad \sum_k \sigma_k t_{Qk}; \quad \sum_j \frac{a_j P_{Qj}}{t_{Qj}}; \quad (1)$$

где σ_k — весовые константы.

Из этих промежуточных целей на основании опыта технолога и физических соображений построим конечные цели в виде одной из следующих композиций:

$$K_k^{(1)} = \left| \alpha_1 \sum_{\varphi} \frac{\partial C_n}{\partial M_\varphi} \Delta M_\varphi - \alpha_2 \sum_i \frac{g_i P_{Qi}}{t_{Qi}} - \alpha_3 \sum_k \sigma_k t_{Qk} \right|; \quad (2)$$

$$K_k^{(2)} = \left| \alpha_1 \sum_{\varphi} \frac{\partial C_n}{\partial M_{\varphi}} \frac{r_{\varphi}}{t_{Q\varphi}} - \alpha_2 \sum_i \frac{g_i P_{Qi}}{t_{Qi}} + \alpha_4 \sum_j \frac{a_j P_{Qj}}{t_{Qj}} \right|, \quad (3)$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_4, r_{\varphi}$ — весовые коэффициенты.

Промежуточные цели (1) формируются из элементарных целей путем их суммирования с использованием или без использования весовых коэффициентов. Конечные цели (2) и (3) могут включать определенные промежуточные цели (или нет) в зависимости от постановки задачи и представляют собой выпуклые функции (модули) линейных комбинаций промежуточных целей. При этом коэффициенты взаимосвязи α_i ($i=1, \dots, 4$); r_{φ} в одних случаях подлежат оптимизации, в других — задаются из опыта.

Линия обработки проб как система будет удовлетворять требованиям практики, если будут выполняться неравенства:

$$K_k^{(1)} < \Delta \quad \text{или} \quad K_k^{(2)} < \Delta.$$

Первоначальный выбор Δ , а также коэффициентов $\alpha_1, \dots, \alpha_n, g, \sigma_k, r_{\varphi}, \alpha_i$ осуществляется путем подстановки известных или желаемых реальных значений $\Delta M_{\varphi}, t_{Qi}, P_{Qi}, \frac{\partial C_n}{\partial M_{\varphi}}$ и т. д. в соотношения $R_k - \Delta = 0$ или $R_k = 0$, где R_k определено выражением:

$$K_k = |R_k| = |\pm \alpha_1 N_1 \pm \alpha_2 N_2 \pm \alpha_{3,4} N_{3,4}|. \quad (4)$$

Композиция конечных целей K_k , характеризующих ЛОП, и выбор практически приемлемых вариантов ЛОП может оцениваться по следующим соображениям: а) если фактическая ошибка ΔC_n велика (N_1 — велико), нужно применить ЛОП с оборудованием большей стоимости N_2 (за счет повышения точности показателей) — это уменьшит величину $|R_k|$; б) если время контроля i -той операции велико, нужно увеличить число P_{Qi} элементарных технологических операций, что увеличит пропускную способность, не увеличивая ошибки ΔC_n .

Физический смысл построения целей K_k следующий: увеличение (знак «+») ошибки ΔC_n (первое слагаемое в выражении для R_k) соответствует уменьшению (знак «—») стоимости ЛОП (второе слагаемое), уменьшению (знак «—») времени контроля (третье слагаемое), увеличению (знак «+») пропускной способности (третье слагаемое).

Неравенства типа $K_k < \Delta$ и $R_k - \Delta = 0$ позволяют проектировать ЛОП, удовлетворяющую противоречивым требованиям по ошибкам, стоимости, пропускной способности.

Приведем некоторые регулярные процедуры оптимизации ЛОП.

Пусть ЛОП может иметь определенное количество модификаций, перечисленных буквой M_1 . Приведем алгоритм обучения [4] для выбранной ошибки взвешивания ΔM_1 , приняв $\varphi = 1$:

$$\begin{aligned} \Delta M_1[m] = \Delta M_1[m-1] - \Gamma[m] \text{Sign} \left[\alpha_1 \frac{\partial C_n}{\partial M_{10}} \Delta M_{10}[m-1] - \right. \\ \left. - \alpha_2 \sum_i \frac{g_i P_{Qi}[m]}{t_{Qi}[m]} - \alpha_3 \sum_k \sigma_k t_{Qk}[m] \alpha_4 \frac{\partial C_n}{\partial M_{10}} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Если предполагается оптимизировать ЛОП одновременно по ошибке M_1 и количествам P_{Qi}, \dots, P_{Qj} элементарных технологических операций, будем иметь алгоритмы обучения в виде системы дифференциально-разностных уравнений:

$$\begin{aligned}
 \Delta M_1[m] &= \Delta M_1[m-1] - \Gamma[m] \text{Sign} \left| \alpha_1 \frac{\partial C_n}{\partial M_{10}} \Delta M_1[m-1] - \right. \\
 &\quad \left. - \alpha_2 \sum_i \frac{g_i P_{Qi}(m-1)}{t_{Qi}(m)} - \alpha_3 \sum_k \sigma_k t_{Qk}(m) \right| \alpha_1 \frac{\partial C_n}{\partial M_{10}}; \\
 P_{Qi}[m] &= P_{Qi}[m-1] + \Gamma[m] \text{Sign} \left| \alpha_1 \frac{\partial C_n}{\partial M_{10}} \Delta M_1[m-1] - \right. \\
 &\quad \left. - \alpha_2 \sum_i \frac{g_i P_{Qi}[m-1]}{t_{Qi}[m]} - \alpha_3 \sum_k \sigma_k t_{Qk}[m] \right| \alpha_2 g_i \frac{P_{Qi}[m-1]}{t_{Qi}[m]}; \\
 P_{Qi}[m] &= P_{Qi}[m-1] + \Gamma[m] \text{Sign} \left| \alpha_1 \frac{\partial C_n}{\partial M_{10}} \Delta M_1[m-1] - \right. \\
 &\quad \left. - \alpha_3 \sum_i \frac{g_i P_{Qi}[m-1]}{t_{Qi}[m]} - \alpha_3 \sum_k \sigma_k t_{Qk}[m] \right| \alpha_2 g_i \frac{P_{Qi}[m-1]}{t_{Qi}[m]}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Целесообразность решения такой системы уравнений определяется требованиями к разработке ЛОП.

Таблица

Номер модификации	Ошибка определения стоимости партии	Стоимость ЛОП	Пропускная способность
1	ΔC_{n1}	C_1	Q_1
2	ΔC_{n2}	C_2	Q_2
3	ΔC_{n3}	C_3	Q_3
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
i	ΔC_n	C_i	Q_i

Во многих реальных случаях достаточно ограничиться ниже приведенной методикой ранжировки целей. Она заключается в том, что сначала строится таблица значений элементарных или промежуточных целей, характеризующих всевозможные модификации ЛОП.

Далее выбирается приоритет по промежуточным целям: например, на первом месте ста-

вится ошибка ΔC_n , на втором — пропускная способность, на третьем — стоимость ЛОП.

Производится ранжировка по приоритету номер один, при этом сопутствующие промежуточные цели соответствуют ранжируемой.

После первой ранжировки делается оценка ранжированного ряда (столбца) и отбрасывание целей ниже (выше) определенного уровня на основе операции сравнения с некоторым порогом. Оставшиеся цели ранжируются по приоритету номер два и производится аналогичное отбрасывание целей ниже (выше) некоторого уровня. Наконец, после ранжировки по последнему приоритету и аналогичного отбрасывания целей остается ограниченное количество целей (в идеале один набор), характеризующее оптимум ЛОП.

Приведенную процедуру нетрудно провести для небольшого количества промежуточных целей, характеризующих качество контроля сырья. При наличии большого количества целей аналогичные задачи оптимизации могут быть запрограммированы и решены на ЭВМ.

В качестве примера рассмотрим реализацию критерия (2) для ЛОП картофельного сырья, где параметр C_n — стоимость партии сырья зависит от показателей качества принимаемого картофеля.

Возьмем составляющую $\sum \frac{\partial C_n}{\partial M_x} \Delta M_x$ критерия K_k , представляющую сумму частных производных стоимости партии сырья по различным параметрам M_x . В конкретном примере рассмотрим влияние точности определения массы большого картофеля M_6 на стоимость партии сырья. Тогда

$$\partial C_n / \partial M_6 = -0,0072 L_m 100 \% / M_u \quad (7)$$

и критерий (2) примет следующий вид:

$$[-\alpha_1 (0,0072 L_m 100 \% / M_u) \Delta M_6 - \alpha_2 (S - S_0) - \alpha_3 (\sigma_1 t_{Q1} + L)]^2 = \Delta, \quad (8)$$

в которой $S_0 = (g_1 P_{Q1} / n_{Q1})$ — стоимость технологического оборудования. Поскольку сам критерий — величина безразмерная, то весовые коэффициенты $\alpha_1^* = \alpha_1 / P_1$, $\alpha_2^* = \alpha_2 / S$, $\alpha_3^* = \alpha_3 / t_{Q1}$ служат для устранения размерных зависимостей, где коэффициенты α_1 , α_2 , α_3 , ... берутся из условия нормировки [5]: $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1$. Тогда, задаваясь значениями α_1 и α_2 , соблюдая указанное условие, найдем α_3 :

$$\alpha_3 = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2). \quad (9)$$

Зная α_1^* , α_2^* , α_3^* и подставив эти значения в известный набор данных (8), находим стоимость оборудования для определения массы большого картофеля:

$$S = [-\alpha_2^* S_0 - \alpha_1 0,0072 L_m 100 \% \Delta M_6 / M_u - \alpha_3 (\sigma_1 t_{Q1} + L) - \sqrt{\Delta}] / \alpha_2^*. \quad (10)$$

Следует отметить, что величины S_0 , L , Δ в выражении (8) являются постоянными, характеризующими в некоторой оптимальной ЛОП стоимость оборудования, пропускную способность и погрешность определения стоимости соответственно. Их параметры определяются на основании анализа характерных величин, получаемых из опыта. Целесообразно провести оптимизацию используемого критерия путем ранжировки по Δ , т. е. используя наборы значений для α_1 и α_2 , вычисляя α_3 , осуществлять решение уравнения (8) для нахождения оптимальной (минимальной) величины Δ .

Предложенная методика использована при расчете и оптимизации ЛОП АСЭАК картофеля, приемочные испытания и опытная эксплуатация которой успешно проведены в 1980—1981 гг. на Чемерском спиртзаводе.

ВЫВОДЫ

1. Разработан обобщенный критерий для оценки линии обработки проб АСЭАК растительного сырья.
2. Показана зависимость конечного критерия оценки, представленного в виде композиции исходных целей, от величины этих целей.
3. Предложен алгоритм оптимизации ЛОП по заданной погрешности ΔM_1 и система уравнений, решение которой позволяет производить оптимизацию ЛОП одновременно по нескольким параметрам.
4. Приведена упрощенная методика оптимизации ЛОП, типа ранжировки целей, применение которой целесообразно при небольшом количестве промежуточных целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луцк В. И., Скобло Д. И. Автоматизация управления процессами пищевых производств по показателям качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1980, № 3, с. 44.
2. Луцк В. И., Пивень Е. Н. Автоматизация определения показателей качества сырья полуфабрикатов и готовой продукции в пищевой промышленности. — Киев: Знание, 1980. — 36 с.
3. Коновалов К. В., Изволенский И. Е., Флон В. С., Луцк В. И. Вычислительно-информационный комплекс автоматизированной системы экспресс-анализа качества сырья. — Механизация и автоматизация управления, 1979, № 4, с. 28.
4. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматизированных системах. — М.: Наука, 1968. — 400 с.

Кафедра автоматизации
производственных процессов

Поступила 16 V 1984