

УДК 66.02.001

СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА

А.О.Оспанова
ЮКГУ им.М.Ауезова, г.Шымкент

Рассмотрим задачу идентификации процесса полимеризации стирола. Сделаем анализ априорной информации об исследуемом объекте. Предполагаем известной структуру математической модели, которая была получена в результате экспериментального исследования кинетических закономерностей процесса, экспериментального изучения гидродинамических особенностей процесса, структуры потоков в реакторах.

Априорная параметрическая модель представлена для удобства использования ее в задаче оценивания в форме описания «вход – выход».

С учетом этого уравнение статики процесса записывается:

$$y_j = y_{j-1} + Ax_j \quad (1)$$

где j – номер реактора, $j = \overline{1, m}$.

A – коэффициент модели.

Здесь в качестве входных и выходных переменных приняты:

$$\frac{C_{jn}}{F(C_{jn})} = y_{jn} ; \exp(-E/RT_{jn}) \cdot \tau_j = x_{jn} \quad (2)$$

где C , T – конверсия и температура в реакторе, $F(C)$ – функция конверсии, τ – время пребывания полимеризующейся массы в реакторе.

Динамическая модель процесса в дискретном виде может быть представлена:

$$y_{jn+1} = y_{jn} + y_{j-1n} + A x_{jn} \quad (3)$$

где $j = \overline{1, m}$; m – число реакторов в каскаде.

В детерминированной физико-химической модели процесса не рассматриваются случайные возмущения, действующие на реальный объект. Под влиянием таких неконтролируемых возмущений в аппаратах большой мощности изменяются условия перемешивания, что и способствует тому, что скорость реакции в верхних и нижних слоях массы будет разной и поэтому конверсия стирола в реакторе имеет разброс, что было подтверждено наблюдениями.

Это говорит о том, что при переходе к промышленным аппаратам большой мощности могут измениться условия перемешивания, структура потоков, и предположение об идеальности перемешивания требует корректировки.

Далее, для более точного описания промышленного процесса полимеризации стирола важен учет этих неконтролируемых возмущений. В соответствии с этим ставится задача разработки математической модели, позволяющей учесть влияние случайных неконтролируемых возмущений.

При такой постановке задачи часто выбирается чисто эмпирический способ построения моделей с помощью уравнений множественной регрессии. Однако такие уравнения дают удовлетворительные результаты только для узких условий, при которых они получены.

Более точное описание процесса может быть получено при использовании структуры модели, соответствующей физико-химическим закономерностям процесса с включением в нее источника неопределенности (модели шума).

Таким образом, можно представить комбинированную математическую модель, в основе которой лежит детерминированная модель процесса, с включением в нее аддитивной помехи, аккумулирующей все неучтенные факторы. К таким факторам можно отнести нарушение или несоблюдение идеальности перемешивания, что привело к большому разбросу значений температуры по высоте аппарата, также увеличение вязкости полимеризующейся массы по мере возрастания конверсии, налипания полимеризующейся массы, при котором изменяется плотность массы за счет образования пузырьков воздуха. Все эти факторы, вызывающие отклонение реального промышленного процесса от усредненного идеализированного состояния, описываемого детерминированной моделью, считаем суммарным ненаблюдаемым шумом в объекте ε , который согласно центральной предельной теореме подчиняется закону распределения Гаусса и представляет собой некоррелированные между собой и во времени случайные последовательности неконтролируемых возмущений с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией:

$$M[\varepsilon_n] = 0; M[\varepsilon_n \varepsilon_{n+1}] = \delta_0; \delta_0 = \begin{cases} 1, & i \neq 0 \\ 0, & i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

δ_0 – символ Кронекера; n – дискретное время.

Поскольку процесс полимеризации стирола непрерывный в рассматриваемом нами производстве, все случайные воздействия в объекте имеют плавный характер изменения во времени, их значения в последующий момент времени зависят от значения в предыдущий мо-

мент. В силу этого введем предположение о коррелированности во времени ненаблюдаемого шума в объекте [1].

Модель шума в авторегрессионной форме опишем уравнением:

$$\vartheta_n = \lambda \vartheta_{n-1} + \varepsilon_n \quad (5)$$

где λ – неизвестный коэффициент;

Таким образом, случайный процесс ϑ_n регрессирует на прошлое отклонение процесса ϑ_{n-1} . При этом математическая модель, описывающая статику процесса, представляется в виде:

$$Y = A X + \vartheta_n \quad (6)$$

Модель динамики процесса позволяет прогнозировать текущие значения переменных состояния объекта на один такт. Стохастическая модель процесса в $(n+1)$ – момент времени с учетом действия коррелированной помехи принимает вид:

$$y_{j\ n+1} = y_{jn} + y_{j-1n} + A_j x_{jn} + \vartheta_{jn+1} \quad (7)$$

Идентификация или, в данном случае, оценивание коэффициентов модели осуществляется из условия минимизации ординат взаимнокорреляционной функции между белым шумом ε_n и наблюдаемыми переменными. Частным случаем такого подхода является метод наименьших квадратов.

Для оценивания неизвестных коэффициентов модели необходимо иметь оценки вторых моментов $R_{xx}[k]$, $R_{xy}[k]$ (оценки авто- и взаимнокорреляционных функций) входных и выходных переменных X и Y .

В этом случае качество идентификации оценивается по значению среднеквадратичной ошибки (СКО) прогноза выходной переменной состояния на один шаг на данной реализации δ [2].

$$\delta_{\text{ст.}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [y_n - \hat{A}x_n]^2 = \hat{R}_{yy}(0) - 2\hat{A}\hat{R}_{xy}(0) + A^2\hat{R}_{xx}(0) \quad (8)$$

Оценки дисперсии прогноза (или СКО) для динамической системы $\delta_{\text{дин}}$ определяется из выражения:

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_{\text{дин.}} &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [y_n - y_{n-1} - \hat{A}x_{n-1}]^2 = \\ &= \hat{R}_{yy}(0) + \hat{R}_{yy}(1) + A\hat{R}_{xy}(0) - 2A\hat{R}_{xy}(1) + A^2\hat{R}_{xx}(0) \end{aligned} \quad (9)$$

Значение среднеквадратичной ошибки прогноза δ для оценок параметров и оценок вторых моментов для динамической системы с учетом коррелированности помех может быть выражено в виде:

$$\begin{aligned} \hat{\delta} &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [y_{n+1} - \hat{y}_{n+1}]^2 = \varphi_1 \hat{R}_{yy}(0) + \varphi_2 \hat{R}_{yy}(1) + \varphi_3 \hat{R}_{yy}(2) + \varphi_4 \hat{R}_{yy}(-1) + \\ &+ \varphi_5 \hat{R}_{xy}(0) + \varphi_6 \hat{R}_{xy}(1) + \varphi_7 \hat{R}_{xy}(2) + \varphi_8 \hat{R}_{xx}(0) + \varphi_9 \hat{R}_{xx}(1); \end{aligned} \quad (10)$$

или

$$\hat{\delta} = \sum_{\tau=-1}^2 \hat{R}_{yy}(\tau) \varphi_{\tau} + \sum_{\tau=0}^2 \hat{R}_{xy}(\tau) \varphi_{\tau} + \sum_{\tau=0}^1 \hat{R}_{xx}(\tau) \varphi_{\tau}$$

где φ – постоянные коэффициенты.

Таким образом, идентификация процессов полимеризации в определенных задачах может быть сведена к оценке коэффициентов математической модели с учетом коррелированности помех. Такая модель позволяет получить наилучший прогноз, т.е. является более точной.

Литература

- 1 Оспанова А., Штейнберг Ш.Е. Идентификация параметров математической модели промышленного реактора полимеризации стирола с учетом коррелированности помех // Вопросы промышленной кибернетики.- М., 1976.- №48.
- 2 Оспанова А.О., Идентификация процесса полимеризации стирола // Труды международной конференции «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ-14.- Смоленск, 2001.
- 3 Оспанова А.О., Кокетаев А.И. Идентификация математической модели процессов химической технологии // Промышленность Казахстана.- 2004.- №3.-С.88-89.

Қорытынды

Жұмыста полистироль пластиктердің араластырғыш құрылғылары бар реакторлы түрдегі аппараттарда өндірістік процестерін математикалық моделдеу мәселелері қарастырылған.

Бастапқы математикалық модель ретінде детерминирлі моделді ұсынуға болады. Бұл моделде стиролдан полимер жасалу процестерінің жылдамдылығын қарастыру үшін кинетикалық заңдарына мән берілген және идеалды араластырғыш құрылғылары бар деген реакторлардың қарқынының құрамы қарастырылған.

Summary

The presented work is devoted to the questions of mathematical modeling of the production processes. It investigates the production of polystyrene plastics in the reactor type apparatus with mixing devices.

Determined model can be presented as a priori mathematical model, which accounts kinetic conformities of the styrene's polymerization process for describing the velocity of polymerization reaction. Also it accounts the structure of streams in reactors, with an assumption of ideal mixing.