

УДК 519.68

И.В. Рудакова, асп., Л.А. Русинов, д.т.н., проф., СПбГТИ (ТУ)

## ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ В АВТОКЛАВНОМ РЕАКТОРЕ

Технология получения полиэтилена высокого давления (ПЭВД) была разработана в конце 70-х годов. В погоне за количеством продукта основное внимание в последствие было направлено на исследование возможностей трубчатых реакторов, в то время как для автоклавных реакторов, работающих практически на пределе своей производительности, адаптировались только составы инициаторов, модификаторов и добавок. Однако и сейчас некоторые марки ПЭВД достаточно просто получают на реакторах автоклавного типа, в то время как на трубчатых реакторах такие марки нельзя получить в принципе или для этого требуется затратить гораздо больше средств и усилий.

Длительный период эксплуатации технологии получения ПЭВД в автоклаве показывает, что установка в режиме нормальной эксплуатации ведет себя достаточно стабильно, но при возникновении нештатных ситуаций, а также в режимах близких к нештатным ситуациям (пуск, переход с марки на марку) возможен стремительный выход в аварийный режим. Причин такого резкого перехода несколько, а именно ведение процесса вблизи границы его устойчивости, склонность реакции полимеризации к самоускорению при превышении температурного барьера и т.п.

Возникает необходимость своевременного выявления нештатных ситуаций, прогнозирования их развития и, в зависимости от результата, выдачи сообщения оператору (супервизорное управление) или управляющего воздействия на объект (непосредственное цифровое управление), таким образом, требуется непрерывное диагностирование состояния объекта.

Установка полимеризации относится к сложным объектам, знания о которых носят различный характер. Поэтому для представления их в диагностической модели используются методы, позволяющие интегрировать знания различной природы. Данная модель диагностики базируется на системе уравнений материального баланса (1) и на виртуальной модели, составленной по опросным листам операторов-технологов.

$$\frac{d[M]}{dt} = \frac{Q\rho_0(T_0, P_0)}{V\rho(T, P)}([M_0] - [M]) - K_M^0 \exp\left(-\left(\frac{E_M}{RT} + \frac{\Delta V_M(P - P_0)}{RT}\right)\right) \rho(T, P) [M]^{1.5} [I]^{0.5}, \quad (1)$$
$$\frac{d[I]}{dt} = \frac{Q\rho_0(T_0, P_0)}{V\rho(T, P)}([I]_0 - [I]) - K_I^0 \exp\left(-\left(\frac{E_I}{RT} + \frac{\Delta V_I(P - P_0)}{RT}\right)\right) \rho(T, P) [I][M]$$

где  $[M]$ ,  $[I]$  – весовые доли мономера (этилена) и инициатора соответственно;  $\rho_0$ ,  $\rho$  – плотность реакционной смеси на входе и выходе из реактора, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – объемный расход на входе в реактор, м<sup>3</sup>/ч;  $K_M^0$ ,  $K_I^0$  – константы скоростей реакций при стандартных условиях, м<sup>3</sup>/кг ч;  $E_M$ ,  $E_I$  – энергии активации, кДж/моль;  $\Delta V_M$ ,  $\Delta V_I$  – объемы активации, м<sup>3</sup>/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная кДж/моль °К;  $T$  – температура в реакторе, °К;  $P_0$ ,  $P$  – начальное и текущее давление в реакторе, Мпа;  $T_0$ ,  $T$  – начальная и текущая температура в реакторе, °К.

Представление данных в виртуальной модели выполняется посредством взвешенных продукционных правил, в которых на каждое утверждение левой части правила накладывается набор весов (локальных, в рамках самого правила, и глобальных, в рамках цепочки вывода) и коэффициентов уверенности в правиле.

Правило: Если переменная (1) есть значение переменной (1) и переменная (n) есть значение переменной (n), то выход есть значение выхода, где  $\lambda_i$  – пороговое значение для меры подобия между переменной (i) и наблюдаемым фактом значения переменной (i).

Если правило включено в цепочки выводов, ведущих к конечным целям  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , массив глобальных весов содержит n значений  $GW(R) = \{G_1(R), G_2(R), \dots, G_n(R)\}$ .

Использование аппарата нечеткой логики для более глубокой формализации экспертных знаний (нечетких, неточных, неоднозначных и неопределенных понятий) позволяет учесть степень влияния отдельных симптомов в выявлении причин текущего состояния процесса. При функционировании системы диагностики используется комбинированная стратегия. Она подразумевает постоянный мониторинг состояния объекта диагностики по ограниченной совокупности диагностических показателей, доступных к измерению в реальном времени с одной стороны, и периодическое углубленное диагностирование объекта с использованием результатов лабораторного анализа качества ПЭВД (показателя текучести расплава и молекулярно-массового распределения) с другой стороны.

Благодаря такому представлению реализуется наглядная и структурированная система знаний с достаточно легким их определением, приобретением, обновлением и расширением. В связи со сложностью и многосвязностью объекта диагностики была проведена его декомпозиция по функционально-территориальному признаку, что позволило структурировать диагностическую модель и снизить её размерность. Выбор такого варианта декомпозиции обусловлен тем, что непрерывно циркулирующий поток возвратного этилена последовательно проходит несколько групп аппаратов, которые можно выделить как по функциональному, так и по территориальному признаку.

Это позволяет сформировать структуру двухуровневой фреймово-продукционной модели, в которой верхний уровень представляет собой фреймовую сеть из семи фреймов (отделение компримирования этилена до промежуточного давления, отделение компримирования этилена до давления реакции, полимеризация этилена, линия отделителя высокого давления, линия отделителя низкого давления).

Перевод системы в режим непосредственного управления подразумевается только в случае существенного нарушения технологического регламента, в режиме нормальной эксплуатации система ведет только мониторинг состояния, а управление осуществляется средствами локального регулирования.