ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

О.Э. Кимизбаева, Ш.Ш.Садикова, Д.А. Устинов

Узбекистан, Ташкент

В промышленном производстве растительного масла возникает задача оптимального управления процессом с целью максимизации его производительности. Основным управляющим воздействием является скорость вращения шнекового вала экстрактора. Выход масла в единицу времени довольно сложным образом связан как с оборотами шнекового вала, так и с целым рядом параметров, характеризующих конструктивные особенности экстрактора, с одной стороны, и рядом внешних случайных факторов - другой (в частности, составом поступающего сырья и т.п.). Таким образом, максимизируемый критерий также является случайной величиной при одном и том же значении управляющего воздействия.

Эмпирическую зависимость, описывающую исследуемый процесс в упрощенном виде, можно представить следующим образом.

Пусть M_0 -% содержание масла в исходном продукте (мезге), а М - % содержание масла в жмыхе после переработки, τ - время обработки. Тогда эмпирическую зависимость $M(\tau)$ можно представить в виде:

$$M(\tau) = M_0,\ \tau < \tau_0;$$

$$M(\tau) = M_0\tau / \tau_0, \quad \tau \geq \tau_0 , \qquad (1)$$

где $\tau = a / x,\ x$ - скорость вращения шнека (об/мин).

Выход масла в единицу времени пропорционален величине

$$Q = \left[M_0 - M(\tau)\right] = \frac{M_0\tau_0}{a_0}\frac{a}{\tau} - x, x < a / \tau_0 . \quad (2)$$

Здесь M_0, τ_0, a - случайные параметры с некоторыми заданными вероятностными распределениями.

Задача максимизации $Q(x) \to \max \Rightarrow x$ имеет единственное случайное решение $x = \frac{a}{2}\tau_0$ и $Q(x) = M_0 a / 4\tau_0$.

Современная система имитационного моделирования должна быть снабжена средствами для оптимизации моделей как параметрических, так и структурных. При этом успех применения средств оптимизации целиком зависит от эффективности мер по сокращению числа программ моделей, необходимых для оптимизации. Достичь этого можно путем снижения дисперсии оценки эффективности имитируемой системы за счет введения накопления или зависимых испытаний. Другой мерой является выбор эффективных средств оптимизации - таких, например, как методы случайного поиска. Умелая комбинация этих мер может повысить эффективность системы оптимизации.

Проблема зависимых испытаний возникает всякий раз, когда стохастическая оценка характеристик имитационной модели требует слишком много времени. Таковой является поисковая оптимизация имитационных моделей. Рассмотрим применение положительной и отрицательной корреляции порознь.

Для изучения влияния, которое оказывает корреляционная зависимость изменения параметров $M_0,\ t\ a_i$, целесообразно ограничиться простейшей моделью зависимых испытаний с равномерным распределением, а в качестве алгоритма оптимизации выбрать метод случайного блуждания по решетке с постоянным шагом. При неудачном шаге направление движения изменяется на противоположное. Кроме того, поскольку величина

τ входит как в параметр сдвига a/τ, так и в параметр масштаба $M_0\tau_0/a$, то без потери общности нельзя варьировать лишь случайные величины M, a, зафиксировав τ_0.

Обозначив M_0, τ_0 через b, определим случайные последовательности a_i, b_i следующим образом:

$$a_i = \overline{a} + \xi_i, b = \overline{b + \psi_i}, \; i = 1 \;, \qquad (3)$$

где ξ_i, ψ_i - независимые, равномерно распределенные в промежутке □0,1□ случайные величины, $\overline{a}$, $\overline{b}$ - константы.

Далее

$$\xi_{i+1} = \xi_i + \gamma U_i \;, u\psi_{i+1} = \psi_i + \varDelta \quad _i \;, \qquad (4)$$

где U_i, ϑ_i - независимые, равномерно распределенные в интервале □-1,1□ случайные величины, а $0 \le \gamma, \varDelta \le 1$.

При этом в последовательности чисел U_i, $_i$ берутся только те значения, которые не выводят процесс за пределы интервала □0,1□.

Можно показать, что порожденная таким образом случайная последовательность обладает следующими свойствами: случайные величины ξ_i не зависят от ψ_i; случайные величины ξ_i, ψ_i равномерно распределены в промежутке □0,1□ для каждого i; корреляция $\rho(\xi_i, \xi_{i+1}), \rho(\psi_i, \psi_{i+1})$ монотонно возрастает от 0 до 1, если γ, $\varDelta$ монотонно изменяется от 1 до 0.

Таким образом, параметрами γ, $\varDelta$ монотонно регулируется величина положительного коэффициента корреляции. С другой стороны, если видоизменить процесс, положив:

$$\xi_{i+1} = 1 - \xi_i + \gamma U_i, \psi_{i+1} = 1 - \psi_i + \varDelta v_i \;, \qquad (5)$$

то будет аналогично охвачен случай отрицательных корреляций.

В процессе моделирования нами реализованы описанные выше схемы зависимых испытаний, а также различные их модификации, связанные с вариацией пределов изменения случайных величин и соотношения параметров ξ_i, ψ_i путем введения коэффициента отражения от границ; случайного тренда и направленного сноса к центру притяжения и т.д. Использовался также прием сглаживания путем осреднения значений функционала по симметричным точкам блуждания и пропорционального уменьшения величины шага.

Для оценки скорости сходимости при некоторых фиксированных значениях корреляции оценивалось математическое ожидание *E(t)* и дисперсия *D(t)* продолжительности поиска. В целом по результатам эксперимента не выявлено однозначной зависимости между величиной корреляции и скоростью сходимости. Хотя в отдельных случаях имеется слабо выраженный оптимум в пределах $0{,}3 < E(t), \gamma(t) > 0{,}7$. Этот оптимум, однако, не является статистически достоверным из-за сравнительно большой дисперсии наблюдений.

Интересно заметить, что наличие оптимума отличается только в области отрицательной корреляции между зависимыми испытаниями.

Таким образом, прямое применение положительной и отрицательной корреляции в зависимых испытаниях не приводит к значительному эффекту при оптимизации имитационных моделей.

Отсюда можно сделать вывод: при оптимизации имитационных моделей следует использовать оба знака корреляции.

Результаты оптимизации с применением корреляции обоих знаков, когда приращение Q оценивается по формулам:

$$\varDelta Q = Q(x_2) - Q(x_1),$$

$$Q(x_i) = 0{,}5\left[Q(x_i, \xi_i^j, \psi_i^j) + Q(x_i, \xi_2^j, \psi_2^j)\right], \qquad (6)$$

j=1,2.

При этом ξ_1 и ξ_1 ($\psi_1\psi_2$) коррелировали отрицательно: $\xi_2^j = 1 - \xi_i^j + \gamma U_i$, $\psi_2^j = 1 - \psi_i^j \square \Delta\vartheta$, а ξ_i^1 и ξ_i^2 и (ψ_i^j и ψ_i^2) (i=1,2) – положительно. Здесь $\gamma=\Delta$..

Установлено, что эффективность оптимизации связана с квадратичностью зависимости Q(x), и оптимальные значения составляют $\xi = \psi = 0$. Иными словами, оптимальной является единичная корреляция.

Осуществлена оптимизация имитационной модели процесса экстрагирования хлопкового масла в шнековых экстракторах, когда максимизируемый критерий эффективности является случайной величиной при одном и том же значении управляющего воздействия. Решение задачи достигнуто путём снижения дисперсии распределения в соответствии с алгоритмом оптимизации, основанным на методе случайного блуждания по решётке с постоянным шагом.

Предложено применение имитационного моделирования к инжинирингу систем управления технологическими процессами маслоэкстракционного производства и обоснована структура имитационного моделирования с использованием программно-логического регулятора, реализуемая как специализированные программные модули, связанные с имитационными моделями исследуемого процесса по единому интерфейсу и протоколу обмена: от имитационной модели – к системе управления и измерения, от систем управления (с программно-логическим регулятором) – к имитационной модели.

Предложено систему имитационных моделей масложировой промышленности реализовать на следующих четырёх уровнях иерархии:

– уровень имитационных моделей производственных участков;

– уровень имитационных моделей цехов;

– уровень имитационных моделей технологического комплекса масложирового предприятия

– уровень имитационной модели всего технологического цикла масложирового предприятия с обработкой поступающей из внешней окружающей среды (имитация поступления сырья, материалов, отгрузка конечной продукции и т.д.).

Обоснована структурная схема мультиагентной имитационной модели оперативного планирования и оптимизации деятельности МЖП.