Аллеза Одай

магистрант

Матвеев Юрий Николаевич

д-р техн. наук, профессор

Богатиков Валерий Николаевич

д-р техн. наук, профессор

Клюшин Александр Юрьевич

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

г. Тверь, Тверская область

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ ПРИ МЯГКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

***Аннотация**: мягкие ограничения используют в управлении в химико-технологическом процессе для настройки и улучшения производительности линейной модели прогнозирующего управления. В данной статье рассмотрено воздействие недостоверных моделей на производительность регуляризованного прогнозирующего контроллера, имеющего ограничения входа, скорости входа и мягкие ограничения на выходе.*

***Ключевые слова**: технологический процесс, процесс измельчения, система автоматизации, базы данных, база знаний.*

Необходимо сделать выбор мягких ограничений на выход химико-технологического процесса, учитываемого регулятором, – это ограничение или область вокруг эталонной цели управляемой переменной. Производительность управления с прогнозирующими моделями (УПМ) определяется на основании выбора ограничений вокруг эталонной цели. Слишком широкое ограничение может привести к замедлению работы регулятора и даже к отклонению от установившегося состояния. Выбор мягких ограничений очень близко к эталонным может сделать поведение регулятора традиционным и снизит его робастность. На рис. 1 представлен метод выбора мягких ограничений, где показана основная ступенчатая функция стоимости $\ell 2$-управления с прогнозирующими моделями (традиционная УПМ) и $\ell 2$-упреждающего управления с мертвой зоной (УПМ с мягкими ограничениями). Ступенчатая функция стоимости, или штрафная функция, графически изображена как функция ошибки заданного значения [1].

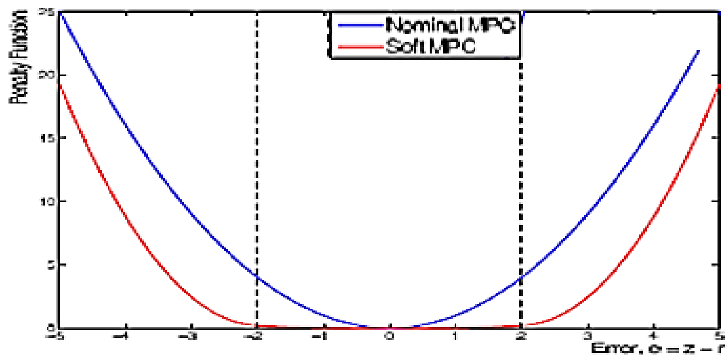

Рис. 1. Выбор мягких ограничений

Рассмотрим алгоритм использования метода с применением внутренних точек, который используется для решения задач оптимизации линейного и нелинейного выпуклого видов [2]. Алгоритмы метода внутренних точек были разработаны для линейного программирования. Основные элементы метода заключаются в барьерной функции, используемой для кодирования выпуклого множества. Симплексный метод, достигает оптимального решения путем обхода внутри области допустимых значений. Алгоритм метода внутренних точек, использующийся для решения задач линейного квадратичного программирования, приведен ниже.

Задача поиска оптимального решения может быть сформулирована как:

$$\min_{x \in R^n} g'x, \tag{1}$$

таких, что:

$$Ax = b, \quad x \geq 0. \tag{2}$$

Функция Лагранжа может быть представлена в виде:

$$L(x, \mu, \lambda) = g'x - \mu'(Ax - b) - \lambda' x \tag{3}$$

Условия оптимальности:

$$\nabla_x L(x,\mu,\lambda) = g - A'\mu - \lambda = 0,\ Ax = b,\ x \ge 0,\ \lambda \ge 0,\ x_i\lambda_i = 0,\ 1 = 1,2\ldots,mc. \quad (4)$$

Они могут быть выражены как:

$$r_L = \nabla_x L = g - A'\mu - \lambda = 0,\ r_A = Ax - b = 0,\ X\Lambda e = 0,\ x \ge 0,\ \lambda \ge 0. \quad (5)$$

Таким образом, условия оптимальности в матричной форме:

$$F(\mathrm{x},\mu,\lambda) = \begin{bmatrix} g - A'\mu - \lambda \\ Ax - b \\ X\Lambda e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 0. \quad (6)$$

Эти условия, таким образом, может быть решены с помощью метода Ньютона после формирования матрицы, как показано ниже:

$$F(x,\mu,\lambda) = \begin{bmatrix} 0 & -A' & -I \\ A & 0 & 0 \\ \Lambda & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta\mu \\ \Delta\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_L \\ r_A \\ r_C \end{bmatrix},\ x \ge 0,\ \lambda \ge 0. \quad (7)$$

где:

$$\begin{bmatrix} x \\ \mu \\ \lambda \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} x \\ \mu \\ \lambda \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta\mu \\ \Delta\lambda \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для решения матрицы выше мы сначала должны определить аффинное направления $\left(\Delta x^{aff}, \Delta\mu^{aff}, \Delta\lambda^{aff}\right)^T$, решая:

$$\begin{bmatrix} 0 & -A' & -I \\ A & 0 & 0 \\ \Lambda & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x^{aff} \\ \Delta\mu^{aff} \\ \Delta\lambda^{aff} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} g - A'\mu - \lambda \\ Ax - b \\ X\Lambda e \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} r_L \\ r_A \\ r_C \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Затем мы должны найти наибольший шаг α^{aff} и β^{aff} такие, что:

$$x + \alpha^{ff}\Delta x^{aff} \ge 0, \quad (10)$$

$$\lambda + \beta^{aff}\Delta\lambda^{aff} \ge 0. \quad (11)$$

Вычислить аффинное выражение:

$$s^{aff=}\left(x + \alpha^{ff}\Delta x^{aff}\right)'\left(\lambda + \beta^{aff}\Delta\lambda^{aff}\right)/n. \quad (12)$$

где *n*-размерность *x*.

Таким образом, для центрального шага, мы должны ввести двойственность меры:

$$s = \frac{x'\lambda}{n}, \tag{13}$$

параметр центрирования:

$$\sigma = \left(s^{aff} \ / \ s\right)^3. \tag{14}$$

Решим окончательное уравнение после его улучшения с помощью корректора шага и вычислим параметр центрирования как:

$$\begin{bmatrix} 0 & -A' & -I \\ A & 0 & 0 \\ \Lambda & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta \mu \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} r_L \\ r_A \\ r_C + \Delta X^{aff} \Delta \Lambda^{aff} e - \sigma s e \end{bmatrix}. \tag{15}$$

Далее мы вычисляем по величине длины шага α и β, таких, что:

$$x + \alpha \Delta x \geq 0, \tag{16}$$

$$\lambda + \beta \Delta \lambda \geq 0, \tag{17}$$

и обновление x, и

$$\begin{bmatrix} x \\ \mu \\ \lambda \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} x + \eta \alpha \Delta x \\ \mu + \eta \beta \Delta \mu \\ \lambda + \eta \beta \Delta \lambda \end{bmatrix}. \tag{18}$$

Таким образом, за счет улучшения корректорного шага и вычисления параметра центрирования получается общий шаг для следующей итерации.

Приведем, предиктор-корректорный алгоритм:

1. Вычислить (x_0, μ_0, λ_0) для $\kappa = 0, 1, 2, \ldots$
2. Установить $(x, \mu, \lambda) = \left(x_\kappa, \ \mu_\kappa, \ \lambda_\kappa\right)$ и решить (9) для $(\Delta x^{aff}, \Delta \mu^{aff}, \Delta \lambda^{aff})$;
3. Вычислить α^{aff} и β^{aff} как в (10 и 11);
4. Рассчитать $s^{aff} = (x + \alpha^{aff} \Delta x^{aff})^T (\lambda + \beta^{aff} \Delta \lambda^{aff}) / n$;
5. Установить параметр центрирования $\sigma = \left(s^{aff} / \mathrm{s}\right)^3$;
6. Вычислить (12) для $(\Delta x, \Delta \mu, \Delta \lambda)$;
7. Рассчитать α^{aff} и β^{aff} как в (16 и 17);
8. Установить $(x_{k+1}) = (x_k) + \hat{\alpha}(\Delta x)$;

9. Установить $(\mu_{\kappa+1}, \lambda_{\kappa+1}) = (\mu_\kappa, \lambda_\kappa) + \hat{\beta}(\Delta\mu, \Delta\lambda)$;

10. Конец.

Схема алгоритма представлена на рисунке 2.

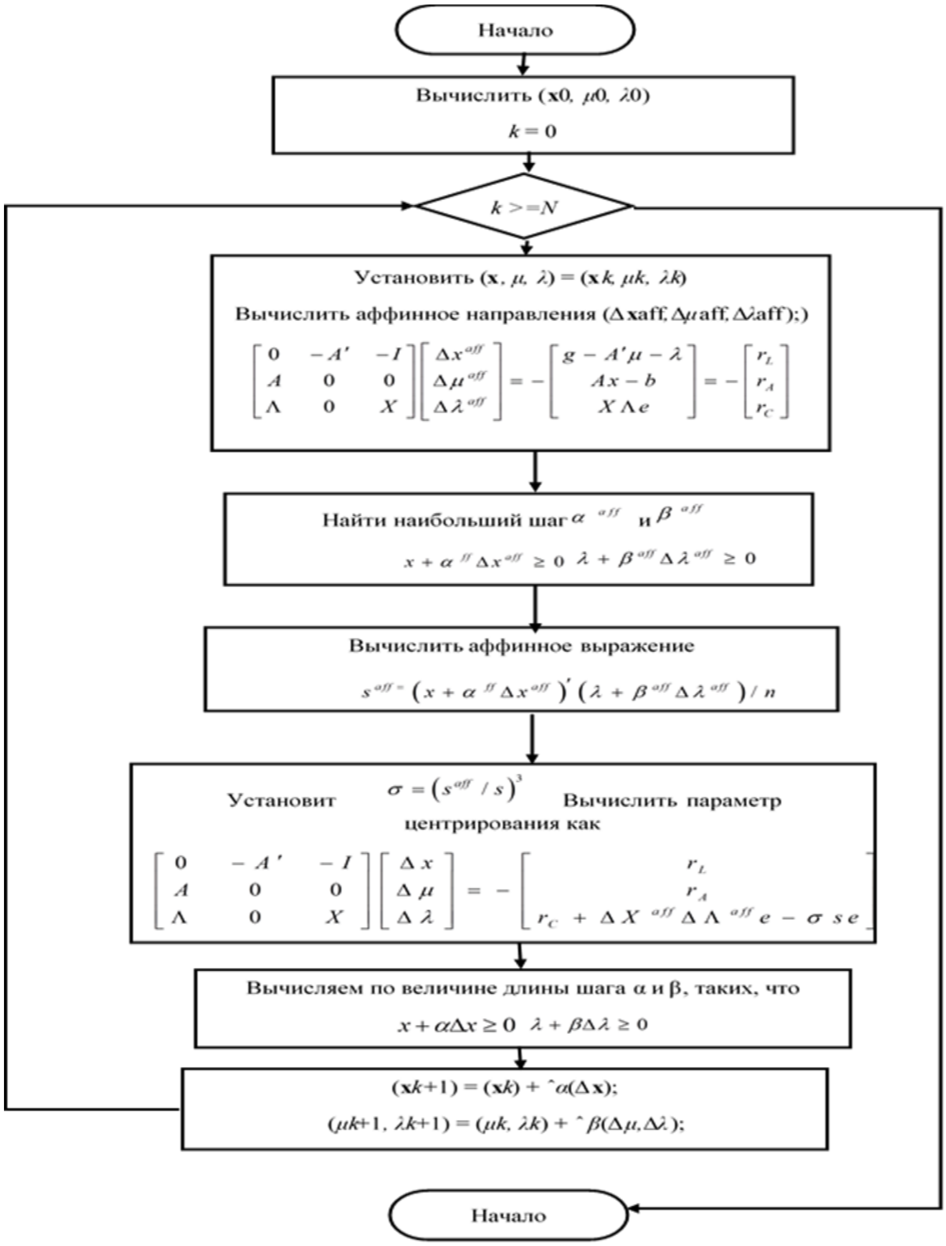

Рис. 2. Предиктор-корректорный алгоритм квадратичной программы

Список литературы

1. Туз А.А. Управление технологическими процессами измельчения и основные направления их автоматизации / А.А. Туз, Г.Н. Санаева, А.Е. Пророков, В.Н. Богатиков // Науковедение. – 2016. – Т. 8. – №2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN216.pdf

2. Богатиков В.Н. Исследование агрегата мокрого измельчения с замкнутым циклом как объекта автоматического управления / В.Н. Богатиков, А.Г. Кулаков // Информационные технологии в региональном развитии: Сборник научных трудов ИИММ КНЦ РАН. – Вып. IV. – Апатиты, 2004. – С. 80–91.