Доказательство теоремы существенно опирается на результаты работы [5]; из-за ограниченного объема статьи оно здесь не приводится.

Сформулированный результат дает строгое обоснование возможности достижения цели адаптации за конечное число испытаний, т.е. построение регулятора, обеспечивающего управление, субоптимальное по быстродействию.

Список источников

1. Кучеров Д.П. Об одной задаче синтеза адаптивной системы управления, субоптимальной по быстродействию// Праці П'ятої Української конференції з автоматичного управління "Автоматика-98": Київ, 13-16 травня 1998 р. – ч.І – Київ: НТУУ "КПІ", 1998. – С.238-244.

2. Кучеров Д.П. Решение одной задачи синтеза адаптивной системы управления, квазиоптимальной по быстродействию, при наличии ограниченного шума // Кибернетика и вычисл. техника. – 1999. – Вып. 122. – С. 13 – 22.

3. Кучеров Д.П. Адаптивное квазиоптимальное по быстродействию управление некоторой динамической системой: идентификационный подход // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2001. - Вып.4(16). - С. 78-81.

4. Кучеров Д.П. Об одном алгоритме обучения управлению, квазиоптимальному по быстродействию // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2002. - №1(10). – С. 30-34.

5. Якубович В.А. Рекуррентные конечно сходящиеся алгоритмы решения систем неравенств // Докл. АН СССР, 1966.-Т.166. -№ 6.-С.1308-1311.

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Казакова Е.И.,
Тарасевич В.И.,
Донецкий национальный технический университет

Современные условия экономического развития нашей страны ставят совершенно новые условия перед всеми отраслями промышленности, в том числе и горнодобывающей, которая занимает ведущее место в развитии сырьевой базы Украины. Проблема эффективности и качества взрывного дробления по-прежнему остается актуальной. Особенно остро это проявляется при отбойке блоков «неправильной» формы.

Глобальная цель процесса буровзрывных работ – получение взорванной горной массы оптимальной кусковатости. Для достижения заданного качества дробления необходимы разработки местных (локальных) критериев управления (расчета). При этом исходная задача представлена в виде канонической задачи нелинейного программирования с целевой функцией, выражающей суммарный расход взрывчатых веществ (ВВ), затрачиваемый на качественное дробление пород взрывом для блоков произвольной формы:

$$f(Q_i) = \sum_{i=1}^{n} Q_i \to \min \qquad (1)$$

при системе ограничений:

$$\begin{aligned} a_{\min} &\le a \le a_{\max} \\ W_{\min} &\le W \le W_{\max} \\ (T_i - Q_i / P) &\ge 0{,}75W \end{aligned} \qquad (2)$$

где a – расстояние между скважинами в ряду, м;

W – величина линии сопротивления по подошве, м;

T_i – полная глубина i–скважины, м;

P – вместимость I п.м. скважины, кг/м;

Q_i – количество ВВ приходящегося на i–скважину, кг.

Основные ограничения, накладываемые на a, W, $I_{заб}$, удовлетворяют требованиям технадзора.

Варьируя в допустимых пределах a и W, согласно (2), определяется необходимое оптимальное значение Q, как функции геометрических параметров. Но функцию цели Q нельзя вычислить аналитически, а можно только посчитать ее значение с помощью моделирования на ЭВМ процесса расчета суммарного количества ВВ. Так как функция имеет сложный вид, то для ее минимизации необходимо применить методы оптимизации, которые учитывают сложную структуру функции цели. Одним из таких методов является метод сопряженных градиентов в различных модификациях. Его достоинством является то, что он имеет скорость сходимости как метод Ньютона, но в тоже время не требует вычисления вторых производных. Применим данный метод для минимизации функции цели, на переменные которой наложены условия (2). Для описания метода введем следующие обозначения:

$$
\begin{aligned}
&x_1 - a, \quad x_2 - W; \\
&c_1 - a_{\min}, \quad c_2 - W_{\min}; \qquad (3) \\
&d_1 - a_{\max}, \quad d_2 - W_{\max}
\end{aligned}
$$

Запишем в векторной форме:

$$\vec{x} = (x_1, x_2)^t; \quad \vec{c} = (c_1, c_2)^t; \quad \vec{d} = (d_1, d_2)^t \qquad (4)$$

где t – символ транспонирования.

Обозначим через n количество компонентов в векторе $\vec{x}$ (в нашем случае n=2). Тогда задача в новом обозначении выглядит следующим образом: разработать метод минимизации функции, учитывающий условие:

$$c \le x \le d \qquad (5)$$

Будем считать i – й вектор $\vec{x}^i$ лучше j – го вектора $\vec{x}^j$, если $Q(x^i) < Q(x^j)$, а x^i и x^j удовлетворяют (5). Назовем вектор $\nabla Q(x)$ градиентом функции:

$$\nabla Q(x) = \left(\frac{\partial Q}{\partial x_1}, \frac{\partial Q}{\partial x_2}, \ldots, \frac{\partial Q}{\partial x_n} \right)^t \qquad (6)$$

Обозначим через I_k множество индексов компонент вектора $\vec{x}^k$, для которых неравенство (5) выполняется как равенство с одной и другой стороны:

$$I_k = \begin{cases} +i, \ x_i^k = d_i \\ -i, \ x_i^k = c_i \end{cases} \quad i = 1,2,\ldots n \qquad (7)$$

Множество I_k помогает судить о том, какие ограничения накладываются на равенство. При таких ограничениях метод оптимизации можно описать следующим образом. Выбираем первоначально допустимый вектор $\vec{x}^0$. Например, $\vec{x}^0$ может быть вычислено как $\vec{x}^0 = (c + d)/2$ или $\vec{x}^0 = c$.

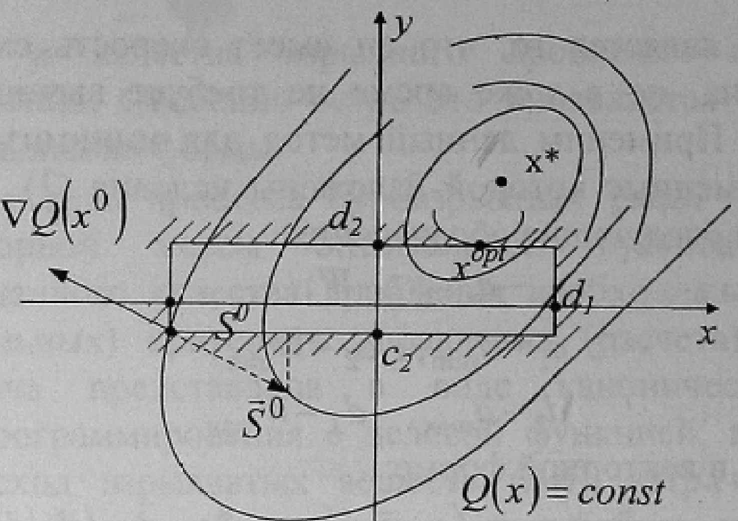

Рисунок 1 - Построение допустимого направления поиска $\vec{S}^0$

Вычислим $Q(x^0)$ и $\nabla Q(x^0)$, и обозначим через $q_i^0 = Q(x^0)$, $\vec{g}^0 = \nabla Q(x^0)$. Так как градиент представляет собой направление наибольшего возрастания функции, то в качестве первоначального направления минимизации $\vec{S}^0$ выберем направление, противоположное направлению градиента:

$$\vec{S}^0 = -\vec{g} \tag{8}$$

Пусть k – номер вектора $\vec{x}$. Положим k=0. Если вектор $\vec{x}^k$ находится на границе, то вектор направления минимизации $\vec{S}^k$ может выходить из допустимой области (рис. 1). Поэтому необходима специальная процедура построения такого вектора минимизации $\vec{S}^k$, который не выходит из допустимой области.

Процедура построения $\vec{S}^k$ выглядит следующим образом. Строим множество I_k для вектора $\vec{x}^k$ и анализируем его. Если множество I_k пустое, то, следовательно, вектор $\vec{x}^k$ лежит внутри допустимой области, и тогда $\vec{S}^k = \vec{S}$. Если множество I_k непустое, то в этом случае $\vec{S}^k$ строим следующим образом:

$$\vec{S}^k = \begin{cases} S_i^k, & если \quad \pm i \notin I_k \\ 0, & если \quad \pm i \in I_k \quad sign(i) = sign(S_i^k) \\ -S_i^k, & если \quad \pm i \in I_k \quad sign(i) \neq sign(S_i^k) \end{cases} \tag{9}$$

здесь функция $sign(\alpha)$ принимает значения:

$$sign(\alpha) = \begin{cases} -1, & если \quad \alpha < 0 \\ 0, & если \quad \alpha = 0 \\ 1, & если \quad \alpha > 0 \end{cases}$$

Например, точка x^0 лежит на двух границах $x_1^0 = c_1$, $x_2^0 = c_2$. Множество индексов $I = \{-1,-2\}$. Вектор $\vec{S}^0$ имеет направление, выходящее из допустимой области. Тогда $\vec{S}^0 = (S^0)$. После того, как выбрано направление минимизации, необходимо выбрать наилучший вектор $\vec{x}^{k+1}$ на данном направлении. Для этой цели служит следующая процедура определения максимального шага λ^k, который можно сделать в направлении $\vec{S}^k$, не выходя из допустимой области.

Обозначим через λ_1^k и λ_2^k шаги, с помощью которых могут быть достигнуты границы c и d:

$$\begin{cases} x^k + \lambda_1^k \cdot \vec{S}^k = c \\ x^k + \lambda_2^k \cdot \vec{S}^k = d \end{cases} \tag{10}$$

Граница c будет достигаться при отрицательных компонентах вектора $\vec{S}^k$, а граница d – при положительных компонентах вектора $\vec{S}^k$ (рис. 2), λ_1^k и λ_2^k определяются из условия:

$$\lambda_1^k = \min_{S_i^k < 0} \frac{c_i - x_i^k}{\vec{S}_i^k}$$
$$\lambda_2^k = \max_{S_i^k > 0} \frac{d_i - x_i^k}{\vec{S}_i^k} \tag{11}$$

Тогда максимальный шаг λ^k будет равен наименьшему из λ_1^k и λ_2^k:

$$\lambda^k = \min\left\{\lambda_1^k, \lambda_2^k\right\} \tag{12}$$

На рис. 2 показано, что из вектора $\vec{x}^k$ в направлении $\vec{S}^k$ можно сделать шаг λ_2^k до пересечения с границей $x_2 = d_2$ и шаг λ_1^k до пересечения с границей $x_1 = c_1$. Но при выполнении второго шага вектор $\vec{x}^{k+1}$ выходит из допустимой области, т.е. $\lambda_1^k > \lambda_2^k$. Так как вектор $\vec{x}^{k+1}$ находится в допустимой области, мы должны сделать шаг λ^k равный λ_2^k, т. е.

$$\lambda^k = \max\left\{\lambda_1^k, \lambda_2^k\right\} \tag{13}$$

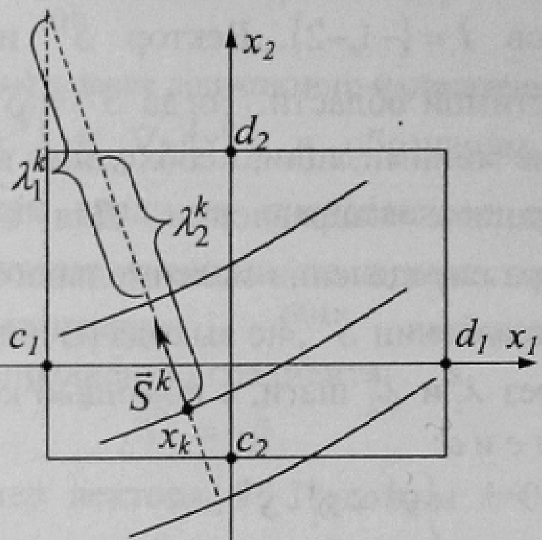

Рисунок 2 - Определение текущего максимально возможного шага поиска λ^k

С помощью одномерного поиска отыскиваем лучший вектор на данном направлении $\vec{S}^k$:

$$Q\left(x^{k+1}\right) = Q\left(x^k + \lambda^k \vec{S}^k\right) = \min_{0 \le \lambda \le \lambda^k} Q\left(x^k + \lambda^k \vec{S}^k\right) \tag{14}$$

Для нахождения направления $\vec{S}^{k+1}$ построим множество I_{k+1} для вектора $\vec{x}^{k+1}$. Если $I_{k+1} = I_k$, то новое направление находится по формуле:

$$\vec{S} = -\vec{g}^{k+1} + \alpha_k \vec{S}^k \tag{15}$$

где $\alpha = // g^{k+1} //^2 /// g^k //^2$,

$\vec{g}^{k+1}$ – градиент функции $Q\left(x^{k+1}\right)$,

$// g //$ – норма вектора $\vec{g}$.

Если $I_{k+1} \neq I_k$, то $\vec{S} = -\vec{g}^{k+1}$. Последний случай говорит о том, что мы попали на новые границы допустимой области, поэтому информацию о предыдущих направлениях поиска нет необходимости использовать. После нахождения $\vec{S}^{k+1}$ проверяются следующие условия окончания поиска:

$$
\begin{aligned}
& // x^{k+1} - x^k // \leq \varepsilon_1, \\
& / Q^{k+1} - Q^k / \leq \varepsilon_2, \qquad (16) \\
& // S^{k+1} // \leq \varepsilon_3
\end{aligned}
$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – заданные точности по вектору $\vec{x}$, по значению функции Q и по вектору направления $\vec{S}$, соответственно.

Если все условия выполнены, то происходит окончание процесса минимизации, иначе данный процесс повторяется, начиная с построения $\vec{S}^{k+1}$.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПРОКАТА НА ТЛС

Грабовский Г.Г., Иевлев Н.Г.
НПК Киевский институт автоматики

Анализ традиционных методов контроля качества листа по механическим свойствам на толстолистовых станах Украины и России показывает, что существующие методы управления и контроля механических свойств стали на толстолистовых прокатных станах не отвечают современным требованиям.

Обобщенная суть существующих методов контроля качества листов такова. Все прокатанные листы одной плавки делятся на партии листов. Это разделение по возможности осуществляют так, чтобы листы одной партии, кроме того, что принадлежат одной