ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: GÓRNICTWO z. 179 Nr kol. 1039

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Е.В. КАЛЫГИН
Г.А. БАГАУТИНОВ

Свердловский горный институт
Свердловск - СССР

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ ПО МИНИМУМУ ПРОИЗВЕДЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ И ВРЕМЕНИ БУРЕНИЯ ЗА РЕЙС

Резюме. Критерием эффективности проходки геологоразведочных скважин алмазными коронками принят минимум произведения себестоимости и времени бурения рейса. Добиться минимума компромиссного критерия можно при использовании системы управления с оптимальной программой, синтезу алгоритма функционирования которой посвящена эта работа.

Синтез оптимальной программы произведен для самозатачивающегося и затупляющегося породоразрушающего инструмента.

Взаимосвязи механической скорости бурения и скорости изнашивания высоты матрицы алмазной коронки можно записать в виде [I]

$$V = V_{об}(1 + y - \alpha y^2), \tag{I}$$

$$\mu' = \mu'_{об}(1 + \beta y), \tag{2}$$

где V - механическая скорость, $V_{об}$ - механическая скорость на базовом режиме при $t \approx 0$, t - время, $y = (P\omega - (P\omega)_б)/(P\omega)_б$ - режим бурения, P - осевая нагрузка, ω - частота вращения, μ' - скорость изнашивания высоты матрицы, $\mu'_{об}$ - скорость изнашивания на базовом режиме, α и β - эмпирические коэффициенты.

Воспользуемся выражением стоимости проходки в рейсе [I]

$$Q = A(t_{сп} + t) + \mu' d_к t (\Delta\mu_{доп})^{-1}, \tag{3}$$

где A - стоимость часа работы буровой установки, $t_{сп}$ - время спуско-подъемных и вспомогательных операций, отнесенное к одному рейсу, $d_к$ - стоимость алмазной коронки, $\Delta\mu_{доп}$ - допустимый износ высоты матрицы коронки.

Полагая, что V и M' – неизвестные функции времени, зависящие от управления, получим соотношения, связывающие эти параметры. Разрешим (I) относительно y, подставим результат в (2). Получим

$$M'(t) = (m_1 - m_2(m_3 - m_4 V(t))^{1/2} M'_{об}, \qquad (4)$$

где $m_1 = 1 + 0{,}5\beta\alpha^{-1}$, $m_2 = 0{,}5\beta\alpha^{-1}$, $m_3 = 1 + 4\alpha$, $m_4 = 4\alpha V_{об}^{-1}$.

Подставляя (4) в (3), поставим целью минимизацию функционала вида

$$J(h(t)) = \int_0^{t_к} (A(t_{сп} + t) + (m_1 - m_5(m_3 - m_4 V(t))^{1/2}) \times$$
$$\times d_к M'_{об}(\Delta M_{доп})^{-1} dt \to \min_{h(t)}, \qquad (5)$$

имеющего смысл произведения стоимости и времени бурения за рейс, где h – проходка, m_5 – неизвестная пока константа.

Из (5) следует, что задача оптимизации сведена к вариационной задаче. Причем экстремаль $\bar{h}(t)$ ищем в классе допустимых, удовлетворяющих равенству,

$$\int (m_1 - m_2(m_3 - m_4 V(t))^{1/2}) dt = m_1 t - m_5 t(m_3 - m_4 V(t))^{1/2}. \qquad (6)$$

Дифференцируя (6) по t и решая полученное уравнение с разделяющимися переменными, получим класс допустимых экстремалей

$$V = m_3 m_4^{-1} - c_1 m_4^{-1} t^{2(m_2/m_5 - 1)}. \qquad (7)$$

Запишем функцию Лагранжа для нашей задачи

$$\mathcal{L} = \int_0^{t_к} (\Psi_0 (A(t_{сп} + t) + (m_1 - m_5(m_3 - m_4 u)^{1/2}) ct +$$
$$+ p(\dot{h} - u)) dt + \Psi_1 h(0) + \Psi_2 (h(t_к)), \qquad (8)$$

где $\dot{h} = V$, u – управление, $c = d_к M'_{об}(\Delta M_{доп})^{-1}$.

Для решения воспользуемся принципом максимума. Уравнение Эйлера для лагранжиана L имеет вид

$$L_h - \frac{d}{dt} L_{\dot{h}} = -\frac{d}{dt}(0{,}5 m_5 m_4 ct(m_3 - m_4 \dot{h})^{-1/2}) - \frac{d}{dt} p = 0 \qquad (9)$$

и приводит к соотношению $\dot{p} = 0$. Условие трансверсальности по h дает

$$p(0) = \Psi_1, \quad p(t_к) = \Psi_2. \qquad (10)$$

Условие минимума по u

$$\min_{u \in R} = (\Psi_0 (m_1 - m_5 (m_3 - m_4 u)^{1/2}) ct - pu) =$$
$$= \Psi_0 (m_1 - m_5 (m_3 - m_4 \bar{u})^{1/2}) ct - p\bar{u}.$$

Если $\Psi_0 = 0$, то из (10) $\Rightarrow p \equiv 0$ и $\Psi_1 = \Psi_2 = 0$. Все множители Лагранжа нули. Полагаем $\Psi_0 = 1$. Так как $p(0) \neq 0$, то в начальный момент времени управление равно нулю $u(t_0) = 0$, а затем оно определяется из уравнения

$$p = -0{,}5 m_5 m_4 ct (m_3 - m_4 \bar{u})^{-1/2} = const, \tag{11}$$

которое получено из условия $L_u = 0$.

Момент времени смены управления в точке τ определяется из равенства

$$\tau c (m_1 - m_5 (m_3 - m_4 \bar{u})^{1/2}) = p\bar{u}. \tag{12}$$

Условиям (9) и (11) удовлетворяет оптимальное управление и экстремаль вида

$$\bar{u} = a - c_1 t^2, \tag{13}$$

$$\bar{h} = at - c_1 t^3/3. \tag{14}$$

Для нахождения численного значения p вставим (14) в (11) и возьмем предел, получим

$$p = \lim_{t \to 0} 0{,}5 m_5 m_4 ct (m_3 - m_4 \bar{u})^{-1/2} = 0{,}25 c m_2 (m_4 c_1^{-1})^{1/2}, \tag{15}$$

так как из (8) и (13) следует, что $m_5 = 0{,}5 m_2$.

Таким образом необходимые условия существования минимума функционала (5) доказаны. Так как функционал (5) выпуклый, то необходимые условия будут и достаточными. Следовательно, оптимальное управление (13) дает абсолютный минимум в задаче.

Постоянную интегрирования c_1 можно найти, воспользовавшись начальными $t(0) = 0, h(0) = 0$ и конечными $h(t_к) = h_{кол}$ условиями, где $h_{кол}$ - длина колонковой трубы, а также соотношением

$$\mathcal{L}(\bar{p}, (\bar{t}_к), \bar{h}(\bar{t}_к), \bar{t}_к) = 0.$$

Таким образом найдено оптимальное управление, минимизирующее компромиссный критерий - произведение стоимости и времени бурения в рейсе при использовании самозатачивающегося породоразрушающего инструмента (импрегнированных алмазных коронок).

Обоснуем оптимальную задачу управления режимом бурения при использовании затупляющегося породоразрушающего инструмента.

Пусть механическая скорость от времени изменяется по закону $V = V_{об} exp(-kt)$, где k - интенсивность затухания скорости. Тогда $m_4 exp(kt) = 4\alpha (V_{об} exp - kt)^{-1}$, а скорость изнашивания как функция механической скорости будет иметь вид

$$\mathcal{M}' = \mathcal{M}'_{об} (m_1 - m_2 (m_3 - m_4 exp(kt) \dot{h})^{1/2}), \qquad (16)$$

где $\dot{h} = V(t)$.

Таким образом, задача оптимизации сведена к задаче вида (5). Вышеизложенным методом найдено оптимальное управление, имеющее вид,

$$\bar{u} = m_3 m_4^{-1} exp(-kt) - c_2 exp(kt) t^2 m_4^{-1} (2 - kt)^{-2}. \qquad (17)$$

Составлена методика расчета оптимального управления для различных условий бурения [2]. Произведен расчет. Например, при бурении незатупляющимся породоразрушающим инструментом оптимальное управление может иметь вид $u = 2,98 - 0,023 t^2$. При использовании затупляющегося породоразрушающего инструмента, как показал анализ результатов расчета, оптимальное управление близко к режиму максимума механичеккой скорости.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калыгин Е.В. К задаче оптимального управления процессом алмазного бурения // Изв. вузов. Горный журнал. - 1983. - №1. - С. 56-63.

2. Калыгин Е.В., Гафиятуллин Р.Х. Одна задача оптимального управления по минимуму произведения стоимости и времени рейса при алмазном бурении скважин // Изв. вузов. Горный журнал. - 1987. - №3. - С. 120-129.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

ALGORYTM STEROWANIA DYNAMICZNYM PROCESEM WIERCENIA DIAMENTOWEGO WEDŁUG MINIMUM ILOCZYNU KOSZTÓW WŁASNYCH I CZASU WIERCENIA W TRAKCIE PRZEJŚCIA

S t r e s z c z e n i e

Za kryterium efektywności przeprowadzania odwiertów geologiczno-rozpoznawczych przy użyciu koronek diamentowych przyjęto minimum iloczynu kosztów własnych i czasu wiercenia przejścia. Minimum kompromisowego kryterium można osiągnąć przy wykorzystaniu systemu sterowania z optymalnym programem, syntezy algorytmu działania, której została poświęcona niniejsza praca.

A CONTROL ALGORITHM FOR A DYNAMIC DIAMOND DRILLING MINIMIZING THE PRODUCT OF PRIME COST AND DRILLING TIME A SINGLE PASS

S u m m a r y

A minimum value of a product of prime cost and the drilling time of a pass was accepted a criterion of effectiveners of exploratory geological drillings. The minimum of the compromise criterion may be reached by applying the control system with optimum program and by synthesis of the operating algorithm desaibed by the present paper.