

## КОНТРОЛЬ БУРИМОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД В ПРОЦЕСІ ПОГЛИБЛЕННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Я.Р.Козуч, Н.В.Сабат

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 45386

e-mail: kafatp@nung.edu.ua

*Рассматривается бесконтактный метод контроля буримости горных пород в процессе углубления нефтяных и газовых скважин. Показаны особенности метода, которые дают возможность применять его при бурении горизонтальных и наклонно-направленных участков скважин.*

Розроблення методу безконтактного контролю буримості гірських порід в режимі реального часу є актуальною науково-практичною задачею у зв'язку з використанням при провідці нафтових і газових свердловин нових алмазних доліт [1] і сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій буріння.

Наявність такої інформації дає можливість розділити гірські породи в розрізі свердловини на пачки з приблизно однаковими фізико-механічними властивостями. Це, в свою чергу, дає підстави для уточнення математичної моделі процесу буріння і розрахунку оптимальних режимів буріння [1].

З 2003 року широко застосовуються алмазні долота БИТ 214,3 М 5 в компоновці з гвинтовими двигунами і телесистемами при бурінні похило-спрямованих і горизонтальних свердловин в інтервалі 800-2300 м. Середня проходка на таке долото складає більше 2000м. Відомі [2] також сучасні породоруйнівні інструменти ЗАТ "НДІ КБ бурового інструменту", оснащені алмазними композиційними матеріалами (бурові долота АП-123 МС, АП-214,3 МС, Д 2Ц-138/90 МС) та твердосплавними вставками (лопатеві бурові долота ЗЛ-85 МС, Л-112 МС, Л-151 МС, 2Л-120,6 МС, 3Л-120,6 МС, 4Л-120,6 МС, 3Л-295,3 МС; шарошкові долота І 215,9 МСЗ-ГВ-Р1; ІІ 215,9 МСЗ-ДРШ; ІІІ 215,9 МСЗ-ГАУ, ІІІ-295,3 МСЗ ГАУ).

Для контролю за процесом поглиблення свердловин такими долотами застосовують станції геолого-технічного контролю параметрів процесу буріння типу "Разрез-2", яка дає змогу контролювати: вагу на гаку; навантаження на долото; тиск нагнітання; положення талевого блоку; крутний момент на роторі і ключах; витрату, питому вагу і температуру промивальної рідини; глибину свердловини; положення долота; механічну швидкість буріння; детальний механічний каротаж; дані газового каротажу.

Проте аналіз літературних джерел [1, 2, 3, 4] свідчить, що ні станція "Разрез-2", ні інші системи контролю параметрів процесу буріння (МВД-650/350, ЛВД-650/350, МВД-350, СКУБ-М тощо) не забезпечують контроль буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин.

*It is examined the noncontact method considered of boreability of rock in process of deepening oil and gas wells. It is shown the features of method, which give possibility to use it for boring horizontal and aslant directed sections of wells.*

Тому метою даної роботи є розробка безконтактного методу контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Глибокий аналіз результатів дослідження [4], проведених у цьому напрямку, засвідчив, що з позицій оптимізації процесу поглиблення свердловини основними ознаками, які відрізняють одну гірську породу від іншої, є базова механічна швидкість буріння  $v_{0\delta}$  при бурінні незатупленим долотом, коли  $\varepsilon(0) = 1$ , і базова інтенсивність відносного зносу оснащення долота  $K_{is}$ .

Тут  $\varepsilon(t) = \frac{v_0}{v(t)}$  – оцінка відносного зносу оснащення бурового долота;

$K_\varepsilon = \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$  – оцінка швидкості відносного зносу оснащення бурового долота;

$K_i = \frac{K_\varepsilon}{v_0}$  – оцінка інтенсивності відносного зносу оснащення бурового долота.

Якщо в межах досліджуваного інтервалу глибини свердловини поточні середні значення цих величин незмінні, то відповідну пачку гірських порід можна вважати однорідною за буримістю.

При цьому головною задачею є вибір базової механічної швидкості буріння.

Запропоновано як базове значення механічної швидкості буріння обирати ту механічну швидкість, яка визначається на початку буріння незатупленим буровим долотом з оптимальними параметрами режиму буріння. Задача вибору оптимальних параметрів режиму буріння вирішується розробленою системою оптимального управління [4], а визначення значень  $v_{0\delta}$  і  $K_{i0}$  здійснюється за допомогою відповідного алгоритму ідентифікації.

Отже, буримість  $B$  гірської породи визначається згідно з правилами:

$$B(v_0, K_{i0}): v_0 \left| v_p(x) \xrightarrow{x \in S} \max \bigcap K_{i0} \right| v_p(x) \xrightarrow{x \in S} \max \cup$$

$$v_0 \left| C(x) \xrightarrow{x \in S} \min \bigcap K_{i0} \right| C(x) \xrightarrow{x \in S} \min \cup \quad (1)$$

$$v_0 \left| h(x) \xrightarrow{x \in S} \max \bigcap K_{i0} \right| h(x) \xrightarrow{x \in S} \max ,$$

де:  $v_p(x)$  – рейсова швидкість буріння;  
 $C(x)$  – собівартість метра проходки;  
 $h(x)$  – проходка на долото;

$$S = \left\{ \begin{array}{l} (F_i, n_i)_{i=1, \dots, N}; F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max}; \\ n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \end{array} \right\};$$

$F_i, n_i$  – осьове навантаження на долото і швидкість його обертання в  $i$ -му рейсі;

$H$  – проектна глибина свердловини, яка може бути розділена на  $N$  рівнів;

$h_i$  – проходка на долото в  $i$ -му рейсі.

Суттєвою перевагою цього правила є те, що для його реалізації використовуються вимірювальні параметри і визначення показника  $B(v_0, K_{i0})$  здійснюється в автоматичному режимі.

Отже, за результатами обробки експериментальних даних, отриманих під час буріння геологорозвідувальної або опорно-технологічної свердловини, будуються графіки залежностей базових показників буримості гірських порід  $v_0(H)$  і  $K_{i0}(H)$  і параметрів режиму буріння. Останні є базою для вибору оптимальних рішень при проектуванні режимів буріння сусідніх свердловин, які буряться в аналогічних умовах.

При бурінні в оптимальному режимі з постійними параметрами режиму математичну модель випадкового процесу зміни механічної швидкості буріння в часі можна представити у такому вигляді:

$$V_M(t) = f(B(t), A(t)) \cup \bar{V}(t) + V_{\sim}(t) \cup \quad (2)$$

$$\cup D_v(t) + H_v(t) + V_{\sim}(t),$$

де:  $f$  – коефіцієнт пропорційності;

$\bar{V}(t)$  – поточне середнє значення механічної швидкості буріння;

$V_{\sim}(t)$  – стаціонарний в межах рейсу долота ергодичний нормальний випадковий процес з нульовим математичним сподіванням;

$D_v(t)$  – детермінована компонента механічної швидкості;

$H_v(t)$  – нерегулярна, випадкова, низько-частотна компонента, зумовлена зміною пластів і характеризує зміну властивостей гірських порід по глибині свердловини.

Контролюючи закономірність зміни детермінованої компоненти  $D_v(t)$ , механічної швидкості  $V(t)$ , можна визначити зміну механічної швидкості в часі. Оскільки в межах одного пла-

ста гірських порід зміна швидкості пов'язана зі збільшенням площі затуплення оснащення шарошкового долота, то за зміною детермінованої компоненти  $D_v(t)$  можна оцінити абразивні властивості гірських порід і зносостійкість оснащення долота.

Сумарна складова  $V(t) = D_v(t) + H_v(t)$  в формулі (2) визначається методом поточного середнього. Для виділення з неї компоненти  $D_v(t)$  скористуємося формулою [5]

$$V(t) = K_B \frac{M_x}{S_{nc}(1 + \Delta S(t) / S_{nc})}, \quad (3)$$

де:  $K_B = f(Z_B)$  – коефіцієнт, що характеризує буримість гірської породи і залежить від зовнішнього збурення  $Z_B(t)$ ;

$M_x$  – математичне сподівання керувальної дії;

$S_{nc}$  – початкова площа затуплення зубів шарошкового долота;

$\Delta S(t)$  – приріст площі затуплення зубів шарошок долота.

Якщо буріння ведеться з постійними параметрами режиму і в однорідній породі, коли  $X(t) = M_x = const$ ;  $Z_B(t) = const$  і  $Z_A(t) = const$ , то сумарна складова процесу  $V(t)$  дорівнює детермінованій компоненті  $D_v(t)$ :

$$\bar{V}(t) = D_v(t) = \frac{\bar{V}(0)}{\bar{\varepsilon}(t)} = \frac{\bar{V}(0)}{1 + K_\varepsilon(t)}, \quad (4)$$

де:  $V(0) = K_B \frac{M_x}{S_{nc}}$  – механічна швидкість буріння при  $\frac{\Delta S(t)}{S_{nc}} = 0$ ;

при  $\frac{\Delta S(t)}{S_{nc}} = 0$ ;

$\bar{\varepsilon}(t) = \frac{\bar{V}(0)}{\bar{V}(t)}$  – оцінка відносного зносу

оснащення долота;

$\bar{K}_\varepsilon$  – швидкість відносного спрацювання оснащення долота, яка залежить від його стійкості і абразивності гірської породи [4, 5].

За таких умов оцінка відносного спрацювання оснащення долота змінюється в часі за лінійним законом.

Відповідно до формули (4) детермінована компонента  $D_v(t)$  містить інформацію, яка дозволяє судити по значенню  $\bar{V}(0)$  про буримість гірської породи і руйнівну здібність долота  $Z_B$ , а по  $\bar{K}_\varepsilon$  – про абразивність гірської породи і зносостійкість зубів шарошок долота  $Z_A$ .

За відхиленням сумарної складової  $V(t)$  від  $D_v(t)$  можна визначити зміну гірських порід і оцінити характер зміни в часі або по глибині свердловини параметричних збурень  $Z_B$  і  $Z_A$ .

Розглянемо методику відокремлення від  $\bar{V}(t)$  компоненти  $H_v(t)$ . Для цього скористаємось формулою для умовного спрацювання оснащення долота [6].

$$\bar{\varepsilon}_y(t) = \bar{\varepsilon}_{oy} + \bar{K}_i(t) = \frac{1}{\bar{V}(t)}, \quad (5)$$

де:  $\bar{\varepsilon}_y(t) = \frac{\bar{\varepsilon}(t)}{\bar{V}(0)}$  – умовне спрацювання оснащення долота;

$\bar{\varepsilon}_{oy} = \frac{1}{\bar{V}(0)}$  – початкове умовне спрацювання оснащення долота;

$\bar{K}_i = \frac{\bar{K}_\varepsilon}{\bar{V}(0)}$  – інтенсивність умовного спрацювання оснащення долота.

Оцінювати поточне значення середньої механічної швидкості в формулі (5) зручно, користуючись співвідношенням

$$\frac{\Delta h_i^B}{\Delta t_i},$$

де:  $\Delta h_i^B = const$  – базовий приріст переміщення верху бурильної колони;

$\Delta t_i$  – контрольований час усереднення, протягом якого колона бурильних труб просувається на  $\Delta h_i^B$ .

При цьому для визначення характеру функції (5) необхідно під час буріння послідовно фіксувати інтервали часу  $\Delta t_{i0}, \Delta t_{i1}, \dots, \Delta t_{ii}$  і значення умовного спрацювання, які відповідають цим інтервалам

$$\bar{\varepsilon}_y^* = \bar{\varepsilon}_y(0), \bar{\varepsilon}_y(1), \dots, \bar{\varepsilon}_y(i), \quad (6)$$

де  $\bar{\varepsilon}_y(i) = \frac{\Delta t_{ii}}{\Delta h_i^B}$ .

Ряд  $\bar{\varepsilon}_y^*$  у формулі (6) використовується для створення кінцевого ряду дискретних значень інтенсивності умовного спрацювання оснащення долота:

$$\bar{K}_i^*(H, t) = \bar{K}_i(1), \bar{K}_i(2), \dots, \bar{K}_i(i-1), \bar{K}_i(i), \quad (7)$$

де:  $\bar{K}_i(i) = \frac{[\varepsilon_y(1) - \varepsilon_y(i-1)]}{\Delta t_{i,i-1}}$ ;

$\Delta t_{i,i-1}$  – час між двома сусідніми оцінками умовного спрацювання оснащення долота.

Отже, інформаційний сигнал  $\bar{K}_i^*(H, t)$  має і постійну, і змінну складові з нульовим математичним сподіванням.

Перша з них відокремлюється наступним згладжуванням сигналу  $\bar{K}_i^*(H, t)$  за методом ковзаючого середнього [7]

$$K_i^*\left(1 - \frac{l}{2}\right) = \frac{1}{l+1} \sum_{\beta=0}^l \bar{K}_i(i-\beta), \quad (8)$$

де:  $K_i^*\left(1 - \frac{l}{2}\right)$  – усереднена ордината сигналу  $\bar{K}_i^*(H, t)$ ;

$i$  – порядковий номер ординати сигналу, який згладжується ( $i=l+1, l+2, l+3, \dots$ );

$l$  – стала фільтру.

Для оперативного контролю однорідності розбурюваних гірських порід і розбиття їх на пачки з однаковими фізико-механічними властивостями потрібна також оцінка математичного сподівання інтенсивності умовного зношення оснащення долота  $M_{K_i}(i)$ .

Інтервал глибини свердловини

$$\Delta H_{cs} = \left(i - \frac{l}{2}\right) \Delta h_i^B, \quad (9)$$

в межах якого різниця

$$M_{K_i}(i) - K_i^*\left(i - \frac{l}{2}\right) < \delta K_i, \quad (10)$$

відповідає в середньому однорідній гірській породі.

Поява відхилення

$$M_{K_i}(i) - K_i^*\left(i - \frac{l}{2}\right) \geq \delta K_i \quad (11)$$

означає перехід долота в пласт гірських порід із іншими буримістю і абразивністю.

Починаючи з циклу вимірювання, на якому визначена зміна гірських порід, формуються нові послідовності  $\bar{\varepsilon}_y^*$  і сигнали  $\bar{K}_i^*(H, t)$ . Останні є вихідним матеріалом для розрахунків, пов'язаних з ідентифікацією пари "долото-гірська порода вибою свердловини".

Водночас абразивність гірської породи і зносостійкість оснащення долота (зовнішнє параметричне збурення  $Z_A$ ) можна оцінювати непрямым методом, користуючись кутовим коефіцієнтом  $\bar{K}_i$  (або  $\bar{K}_\varepsilon$ ), який характеризує швидкість зростання в часі величини  $\varepsilon_y$ , яка обернена поточному значенню усередненої механічної швидкості буріння.

Отже, буримість гірської породи і руйнуючу спроможність долота (зовнішнє параметричне збурення  $Z_B$ ) можна оцінити безконтактним методом за механічною швидкістю  $V(0)$  при бурінні незатупленим долотом в оптимальному режимі.

Оскільки з переходом долота з верхнього шару породи в нижній площа затуплення зубів шарошок більша за площу незатупленого долота, то визначити буримість гірської породи пласта, що лежить нижче, можна за формулою

$$\bar{V}_{012} = \bar{V}(t_{n2}) \bar{\varepsilon}(t_{k1}), \quad (12)$$

де:  $\bar{V}_{02}$  – буримість гурської породи пласта, що лежить нижче;

$\bar{V}(t_{n2})$  – механічна швидкість на початку буріння пласта, що лежить нижче гірської породи;

$\bar{\varepsilon}(t_{k1})$  – відносне спрацювання оснащення долота в кінці буріння верхнього пласта гірської породи.

Зміну буримості або абразивності гірської породи (або одночасну зміну збурень  $Z_A$  і  $Z_B$ ) визначають за результатами порівняння математичного сподівання  $M_{K_i}(i)$  і поточного се-

реднього інтенсивності умовного спрацювання оснащення долота  $K_i^*(i-1/2)$ .

Отже, розроблений безконтактний метод контролю буримості гірських порід дає можливість оцінювати цю властивість гірських порід в реальному часі, користуючись інформацією про механічну швидкість буріння та інтенсивність відносного спрацювання долота при бурінні в оптимальному режимі.

### *Література*

1 Вакула А., Поваляев А. Редукторные турбобуры возвращаются на месторождения Татарстана // Бурение и нефть. – 2004. – № 6. – С. 16-21.

2 Кунцяк Я.В., Гаврилов Я.С., Дубленич Ю.В., Мартинюк Д.М., Мрозек Р.С., Зубарев В.І., Курінов А.І. Технічні засоби буріння нафтових і газових свердловин // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №3. – С. 20-22.

3 Энштейн В., Мурахтин В. Новые мобильные буровые установки и префекторы для бурения та депрессии // Бурение и нефть. – 2004. – №6. – С. 4-7.

4 Горбійчук М.І., Семенцов Г.Н., Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин. Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.

5 Петров И.П. Оценка степени износа и эфдентивности использования долота при вращательном бурении // Горный журнал. Известия вузов. – 1966. – №11. – С. 81-87.

6 Семенцов Г.Н. Оптимальное управление процессом бурения нефтяных и газовых скважин: Автореферат диссертации доктора технических наук: 05.13.07 / Московский институт нефти и газа. – М., 1990. – 44 с.

7 Петров И.П., Цибульский В.Р., Любавин А.А. Методика классификации пород на основе их буримости и абразивности // Нефтяное хозяйство. – 1981. – № 1. – С. 10-12.