ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 19, 2007

УДК 681.513.6:622.243

ОЦІНКА ПОТОЧНИХ ЗНАЧЕНЬ БУРИМОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Я.Р. Когуч, Н.В. Сабат

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 460-67, 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 бурение горизонтальных и наклонно-направленых участков скважин.

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.

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

Наявність такої інформації дозволяє 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 р. 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 "НД І КБ бурового інструменту", які оснащені алмазними композиційними матеріалами (бурові долота АП-123 МС, АП-214,3 МС, Д 2Ц-138/90 МС) і твердосплавними вставками (лопатеві бурові долота ЗЛ-85 МС, Л-112 МС, Л-151 МС, 2Л-120,6 МС, ЗЛ-120,6 МС, 4Л-120,6 МС, ЗЛ-295,3 МС; шарошкові долота І 215,9 МСЗ-ГВ-Р1; ІІ 215,9 МСЗ-ДРШ; ІІІ 215,9 СЗ-ГАУ, ІІІ-295,3 СЗ ГАУ).

Для контролю за процесом поглиблення свердловин такими долотами застосовують станції геолого-технічного контролю параметрів процесу буріння типу "Разрез-2", які дозволяють 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 – 4] показує, що як станція "Разрез-2", як і інші системи контролю параметрів процесу буріння (MWД-650/350, LWД-650/350, MWД-350, СКУБ-М) не забезпечують контроль буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин.

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, показує, що з позицій оптимізації процесу поглиблення свердловини основними ознаками, що відрізняють одну гірську породу від іншої, є базова механічна швидкість буріння $\upsilon_{0\delta}$ при бурінні незатупленим долотом, коли $\varepsilon(0)=1$, і базова інтенсивність відносного зносу оснащення долота $K_{i\delta}$, де $\varepsilon(t)=\frac{\upsilon_0}{\upsilon(t)}$ – оцінка відносного зносу оснащення бурового долота, $K_{\varepsilon}=\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$ – оцінка швидкості відносного зносу

оснащення бурового долота, $K_i = \frac{K_\varepsilon}{\upsilon_0}$ – оцінка інтенсивності відносного зносу оснащення бурового долота.

Якщо в межах досліджуваного інтервалу глибини свердловини поточні середні значення вказаних величин є незмінними, 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 вибирати таку 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 $\upsilon_{0\delta}$ і K_{i0} здійснюється за допомогою відповідного алгоритму ідентифікації.

Отже, буримість *Б* гірської породи визначається згідно правил:

$$\begin{aligned} &Б(\upsilon_0, K_{i0}): \upsilon_0\Big|_{\upsilon_p(x)\xrightarrow[x\in S]{}max} \bigcap K_{i0}\Big|_{\upsilon_p(x)\xrightarrow[x\in S]{}max} \bigcup ; \\ &\upsilon_0\Big|_{C(x)\xrightarrow[x\in S]{}\min} \bigcap K_{i0}\Big|_{C(x)\xrightarrow[x\in S]{}\min} \bigcup ; \\ &\upsilon_0\Big|_{h(x)\xrightarrow[x\in S]{}\max} \bigcap K_{i0}\Big|_{h(x)\xrightarrow[x\in S]{}\max} , \end{aligned} \quad (1)$$

де $\upsilon_p(x)$ – рейсова швидкість буріння, $C(x)$ – собівартість метра проходки, $h(x)$ – проходка на долото.

Суттєвою перевагою цього правила є те що для його реалізації використовуються вимірювальні параметри, а визначення показника $Б(\upsilon_{0\delta}, K_{i0})$ 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 $\upsilon_0(H)$ і $K_{i0}(H)$ і параметрів режиму буріння, де *H* –проектна глибина свердловини. 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:

$$\begin{aligned} V_м(t) &= f(Б(t), A(t)) \cup \overline{V}(t) + \\ &+ V_{\sim}(t) \cup Д_v(t) + H_v(t) + V_{\sim}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де *f*- коефіцієнт пропорційності; $\overline{V}(t)$ - поточне середнє значення механічної швидкості буріння; $V_{\sim}(t)$ - стаціонарний в межах рейсу долота ергодичний нормальний випадковий процес з нульовим математичним сподіванням; $Д_v(t)$ - детермінована компонента механічної швидкості; $H_v(t)$ - нерегулярна, випадкова, низькочастотна компонента, яка обумовлена зміною пластів і яка характеризує зміну властивостей гірських порід по глибині свердловини.

Контролюючи закономірність зміни детермінованої компоненти $Д_v(t)$ і механічної швидкості $V(t)$, можна визначити зміну механічної швидкості в часі. Оскільки в межах одного пласта гірських порід зміна швидкості зв'язана із збільшенням площі затуплення оснащення шарошкового долота, то за зміною детермінованої компоненти $Д_v(t)$ можна оцінити абразивні властивості гірських порід і зносостійкість оснащення долота.

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

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

де $K_Б = f(Z_Б)$ – коефіцієнт, що характеризує буримість гірської породи і залежить від зовнішнього збурення $Z_Б(t)$; M_x – математичне сподівання керувальної дії; $S_{пч}$ – початкова площа затуплення зубів шарошкового долота; $\Delta S(t)$ – приріст площі затуплення зубів шарошок долота.

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

$$\overline{V}(t) = Д_v(t) = \frac{\overline{V}(0)}{\overline{\varepsilon}(t)} = \frac{\overline{V}(0)}{1 + K_\varepsilon(t)}, \qquad (4)$$

де $V(0) = K_Б \frac{M_x}{S_{пч}}$ – механічна швидкість буріння при $\frac{\Delta S(t)}{S_{пч}} = 0$; $\overline{\varepsilon}(t) = \frac{\overline{V}(0)}{\overline{V}(t)}$ – оцінка відносного зносу оснащення долота; $\overline{K}_\varepsilon$ – швидкість відносного зносу оснащення долота, яка залежить від абразивності гірської породи [4, 5].

При таких умовах оцінка відносного зносу оснащення долота змінюється в часі за лінійним законом.

У відповідності з формулою (4) детермінована компонента $Д_v(t)$ містить інформацію, яка дозволяє судити по значенню $\overline{V}(0)$ про буримість гірської породи і руйнівну здібність долота $Z_Б$, а по K_ε – про абразивність гірської породи і зносостійкість зубів шарошок долота Z_A.

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

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

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

де $\overline{\varepsilon}_y(t) = \frac{\overline{\varepsilon}(t)}{\overline{V}(0)}$ – умовний зношення оснащення долота; $\overline{\varepsilon}_{oy} = \frac{1}{\overline{V}(0)}$ – початковий умовний знос оснащення долота; $\overline{K}_i = \frac{\overline{K}_\varepsilon}{\overline{V}(0)}$ – інтенсивність умовного зношення оснащення долота.

Оцінювати поточне значення середньої механічної швидкості в формулі (5) зручно, користуючись відношенням $\Delta h_i^Б / \Delta t_i$, де $\Delta h_i^Б = const$ – базовий приріст переміщення верху бурильної колони; Δt_i – контрольований час усереднення, протягом якого колона бурильних труб просувається на $\Delta h_i^Б$.

При цьому для визначення характеру функції (5) необхідно під час буріння послідовно фіксувати інтервали часу Δt_{i_o}, Δt_{i_1},..., Δt_{i_i} і значення умовного зношення, які відповідають цим інтервалам

$$\overline{\varepsilon}_y^* = \overline{\varepsilon}_y(0), \overline{\varepsilon}_y(1),..., \overline{\varepsilon}_y(i), \qquad (6)$$

де $\overline{\varepsilon}_y(i) = \frac{\Delta t_{i_i}}{\Delta h_i^Б}$.

Ряд значень $\overline{\varepsilon}_y^*$ згідно (6) використовується для створення кінцевого ряду дискретних значень інтенсивності умовного зношення оснащення долота

$$\overline{K}_i^*(H,t) = \overline{K}_i(1), \overline{K}_i(2),..., \overline{K}_i(i-1), \overline{K}_i(i), \qquad (7)$$

де $\overline{K}_i(i) = \frac{[\varepsilon_y(1) - \varepsilon_y(i-1)]}{\Delta t_{i,i-1}}$; $\Delta t_{i,i-1}$ – час між двома сусідніми оцінками умовного зношення оснащення долота.

Отже інформаційний сигнал $\overline{K}_i^*(H,t)$ поряд з постійною складово має змінну складову з нульовим математичним сподіванням.

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

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

де $K_i^*\left(1 - \frac{l}{2}\right)$ – усереднена ордината сигналу $\overline{K}_i^*(H,t)$; i – порядковий номер ординати сигналу, який згладжується (i=l+1, l+2, l+3,…); 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

$$\Delta H_{св} = \left(i - \frac{l}{2}\right)\Delta h_i^Б, \qquad (9)$$

в межах якого різниця

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

відповідає в середньому однорідній гірській породі.

Поява відхилення

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

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 $\overline{\varepsilon}_y^*$ і сигнали $\overline{K}_i^*(H,t)$. Останні є вихідним матеріалом для розрахунків, зв'язаних з ідентифікацією пари "долото-гірська порода вибою свердловини".

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

Отже, буримість гірської породи і руйнуючу спроможність долота (зовнішнє параметричне збурення $Z_Б$) можна оцінити безконтактним методом по механічній швидкості $V(0)$ при бурінні незатупленим долотом в оптимальному режимі.

Оскільки з переходом долота з верхнього шару породи в нижній площа затуплення зубів шарошок є більшою, ніж незатупленого долота, то визначити буримість гірської породи нижчележачого пласта можна за допомогою такої формули:

$$\overline{V}_{0_{12}} = \overline{V}(t_{н_2})\overline{\varepsilon}(t_{к_1}), \qquad (12)$$

де $\overline{V}_{0_2}$ – буримість гурської породи нижчележачого пласта; $\overline{V}(t_{н_2})$ – механічна швидкість на початку буріння нижчележачого пласта гірської породи; $\overline{\varepsilon}(t_{к_1})$ – відносний знос оснащення долота в кінці буріння верхнього пласта гірської породи.

Зміну буримості або абразивності гірської породи (або одночасну зміну збурень Z_A і $Z_Б$) визначають за результатами порівняння математичного сподівання $M_{K_i}(i)$ і поточного середнього інтенсивності умовного зношення оснащення долота $K_i^*(i - l/2)$.

Отже, розроблений безконтактний метод контролю буримості гірських порід дозволяє оцінювати буримість гірських порід в реальному часі, користуючись інформацією про механічну швидкість буріння і інтенсивність відносного зношення долота при бурінні в оптимальному режимі.

Література

1. Вакула А., Поваляєв 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.Є., Зубарєв 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 превекторы 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. ПетровИ.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, 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.