

ОЦІНКА ПОТОЧНИХ ЗНАЧЕНЬ БУРИМОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Я.Р.Козуч, Н.В.Сабат

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0344) 46067
kafatp@ac.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.

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 актуальним науково-практичним завданням 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 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 "НД І КБ бурового інструменту", оснащені алмазними композиційними матеріалами (бурові долота АП-123 МС, АП-214,3 МС, Д 2Ц-138/90 МС) і оснащені твердосплавними вставками (лопатеві бурові долота 3Л-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 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", яка дає змогу контролювати: вагу на гаку, навантаження на долото, тиск нагнітання, положення талевого блоку, крутий 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 як станція "Разрез-2", так і інші системи контролю параметрів процесу буріння (МВД-650/350, ЛВД-650/350, МВД-350, СКУБ-М та ін.) не забезпечують контролю процесу буріння 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 $v_{0\delta}$ при бурінні незатупленим долотом (коли $\varepsilon(0) = 1$), і базова інтенсивність відносного зношування оснащення долота $K_{i\delta}$.

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

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

$K_i = \frac{K_{\varepsilon}}{v_0}$ – оцінка інтенсивності відносного зношування 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 головним завданням 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. Завдання 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:

Отже, буримість B гірської породи визначається згідно з правилами:

Отже, буримість B гірської породи визначається згідно з правилами:

$$B(u_0, K_{i0}) : u_0 \left| \begin{array}{l} \nu_p(x) \\ x \in S \end{array} \right. \rightarrow \max \bigcap K_{i0} \left| \begin{array}{l} \nu_p(x) \\ x \in S \end{array} \right. \rightarrow \max \bigcup \\ \nu_0 \left| \begin{array}{l} C(x) \\ x \in S \end{array} \right. \rightarrow \min \bigcap K_{i0} \left| \begin{array}{l} C(x) \\ x \in S \end{array} \right. \rightarrow \min \bigcup \quad (1) \\ \nu_0 \left| \begin{array}{l} h(x) \\ x \in S \end{array} \right. \rightarrow \max \bigcap K_{i0} \left| \begin{array}{l} h(x) \\ x \in S \end{array} \right. \rightarrow \max \bigcup$$

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

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

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 $B(u_0, K_{i0})$ 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 $u_0(H)$ 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:

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

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, низькочастотна компонента, яка обумовлена зміною пластів, і яка характеризує зміну властивостей гірських порід по глибині свердловини.

Контролюючи закономірність зміни детермінованої компоненти $D_v(t)$, механічної швидкості $V(t)$, можна визначити зміну меха-

нічної швидкості в часі. Оскільки в межах одного пласта 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 $D_v(t)$ скористаємося формулою [5]:

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

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_{nu} – початкова площа затуплення зубків шарошкового долота;

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

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

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

$\bar{\varepsilon}(t) = \frac{\bar{V}(0)}{\bar{V}(t)}$ – оцінка відносного зношування оснащення долота;

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

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

У відповідності з формулою (4) детермінована компонента $D_v(t)$ містить інформацію, яка дає змогу судити за значенням $\bar{V}(0)$ про буримість гірської породи і руйнівну здатність долота Z_B , а по K_{ε} – про абразивність гірської породи і зносостійкість зубків 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 за глибиною свердловини параметричних збурень Z_B і Z_A .

Розглянемо методику відокремлення від $\bar{V}(t)$ компоненти $H_v(t)$. Для цього скористаємося формулою для умовного зношування 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 зношування оснащення долота;

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

$\bar{K}_i = \frac{\bar{K}_\varepsilon}{\bar{V}(0)}$ – інтенсивність умовного зношення 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;

Δt_i – контрольований час усереднення, протягом якого колона бурильних труб просувається на Δh_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 зношування, 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 зношування 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 зношування оснащення долота.

Отже, інформаційний сигнал $\bar{K}_i^*(H, t)$ поряд з постійною складовою має змінну складову 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 зношування 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, 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 \bar{K}_i (або \bar{K}_ε), 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_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 зубків шарошок більша, ніж незатупленого долота, то визначити буримість гірської породи пласта, який лежить нижче, можна за формулою

$$\bar{V}_{012} = \bar{V}(t_{n2}) \bar{\varepsilon}(t_{\kappa 1}), \quad (12)$$

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

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

$\bar{\varepsilon}(t_{\kappa 1})$ – відносне зношування оснащення долота наприкінці буріння верхнього пласта гірської породи.

Зміну буримості або абразивності гірської породи (або одночасну зміну збурень Z_A і Z_B) визначають за результатами порівняння мате-

матичного сподівання $M_{K_i}(i)$ і поточної середньої інтенсивності умовного зношування оснащення долота $K_i^*(i-1/2)$.

Отже, розроблений безконтактний метод контролю буримості гірських порід дає змогу оцінювати цю властивість 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., 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.Є., 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 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 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.

УДК 62.592.113

ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ СТІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

Д.О. Вольченко, М.О. Вольченко, Д.Ю. Журавльов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0344) 42353,
e-mail: public@ifntung.if.ua

Рассматривается многокритериальная задача оптимального проектирования фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки повторно-кратковременного режима работы.

The even multicriterion problem of optimal project of frictional units of a band-block brake of chise hoists repeated transitory regime of work are shown.

Задача оптимального проектування фрикційних вузлів гальмівних пристроїв, які використовуються у підйомно-транспортному обладнанні, зокрема у лебідках бурових установок, має багатокритеріальний характер. Останній визначається не тільки оптимальним конструктивними параметрами фрикційного вузла того чи іншого виду гальма, але і його здатністю реалізовувати раціональні динамічні та теплові експлуатаційні параметри в переважаючих режимах роботи гальма.

Зупинимося на роботах [2-5], котрі присвячені даній проблемі.

Методом геометричного програмування [1] в роботах [2, 3] було визначено конструктивні параметри гальмівного шківів бурової лебідки. Як цільові функції було прийнято мінімізацію від'ємних чинників, яка мала такі складові: вартість гальмівного шківів та зменшення його вартості, викликане термічними напруженнями

в ободі. При цьому як характеристичний розмір було прийнято товщину обода шківів. Увесь гальмівний шків розбивався на диски, товщина кожного з яких була рівною товщині обода шківів. Після цього визначали від'ємний ефект, викликаний термопружним напруженням в тонкому диску. Далі визначали сумарну роботу сил тертя за час гальмування при різних закономірностях обертання шківів, в яку увійшов гальмівний момент, який розвиває стрічково-колодкове гальмо. Останній визначався залежно від прогнозованого діаметра гальмівного шківів та типу гальмівної стрічки. Визначивши поверхневу температуру обода шківів, ввівши обмеження на напруження згину його обода, представивши останній у вигляді пластини зведеної товщини та прийнявши умову рівності моментів інерції згаданої пластини та пластини з ребром (виступ шківів, за допомогою якого шківів кріпиться до фланця барабана бурової ле-