

УДК 681.518.22

## СИНТЕЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОСНАЩЕННЯ ДОЛІТ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Г.Н.Семенцов, Л.Я.Чигур

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067  
e-mail: kafatp@ukr.net

*Розглядаються інформаційні моделі для сигнальної ідентифікації і контролю технічного достатку оснащення полікристалічних доліт нового покоління типу PDC, необхідні для забезпечення заданих показників точності автоматизованого контролю в основний період роботи долота і швидкодії в завершуючий період роботи долота.*

Ключові слова: інформаційні моделі, полікристалічні долота, ідентифікація, контроль

*Рассматриваются информационные модели для сигнальной идентификации и контроля технического состояния вооружения поликристаллических долот нового поколения типа PDC, необходимые для обеспечения заданных показателей точности автоматизированного контроля в основной период работы долота и быстрого действия в завершающий период работы долота.*

Ключевые слова: информационные модели, идентификации, контроль, поликристаллические долота

*Informative models are examined for alarm identification and control of the technical state of armament of polycrystal chisels of new generation of type of PDC, necessary for providing of the set indexes of exactness of the automated control in a basic period of work of chisel and fast-acting in a finishing period of work of chisel.*

Keywords: informative models, identification, polycrystal chisels, control

Синтез адекватних інформаційних моделей, призначених для ідентифікації та контролю технічного стану оснащення полікристалічних доліт нового покоління типу PDC, є актуальною науково-прикладною задачею у зв'язку з тим, що поточна інформація про зношування оснащення в основний і в завершальний періоди роботи доліт цього типу має визначальну роль для оптимізації процесу буріння нафтових і газових свердловин, а також у зв'язку з інтенсивним впровадженням у нафтогазовидобувній галузі промисловості комп'ютерно-інтегрованих технологій [1, 2].

Проте, аналіз літературних джерел [1, 2, 3, 4 та ін.] свідчить, що для визначення степені зношування шарошкових доліт і доліт типу PDC застосовуються різні підходи. Це викликано тим, що долота типу PDC, на відміну від шарошкових, безопорні, і зносостійкість їх оснащення забезпечує проходку на одне долото до 6000 м. З існуючих наукових досліджень відомо, що об'єм проведення досліджень в контексті використання формальних критеріїв оцінки ступеня зношування доліт типу PDC є недостатнім.

Метою даної статті є отримання нових і уточнених співвідношень для визначення поточних і граничних значень зношування оснащення доліт типу PDC, що необхідні для забезпечення заданих показників точності автоматизованого контролю в основний період роботи долота і швидкодії в завершальний період роботи долота.

На даний час для оцінювання зношування оснащення шарошкових доліт використовують [5] функцію зношування  $\phi$ , яка є узагальненою оцінкою технічного стану оснащення долота і

пов'язана з механічною швидкістю проходки співвідношенням

$$\phi = \frac{V_0}{V_t}, \quad (1)$$

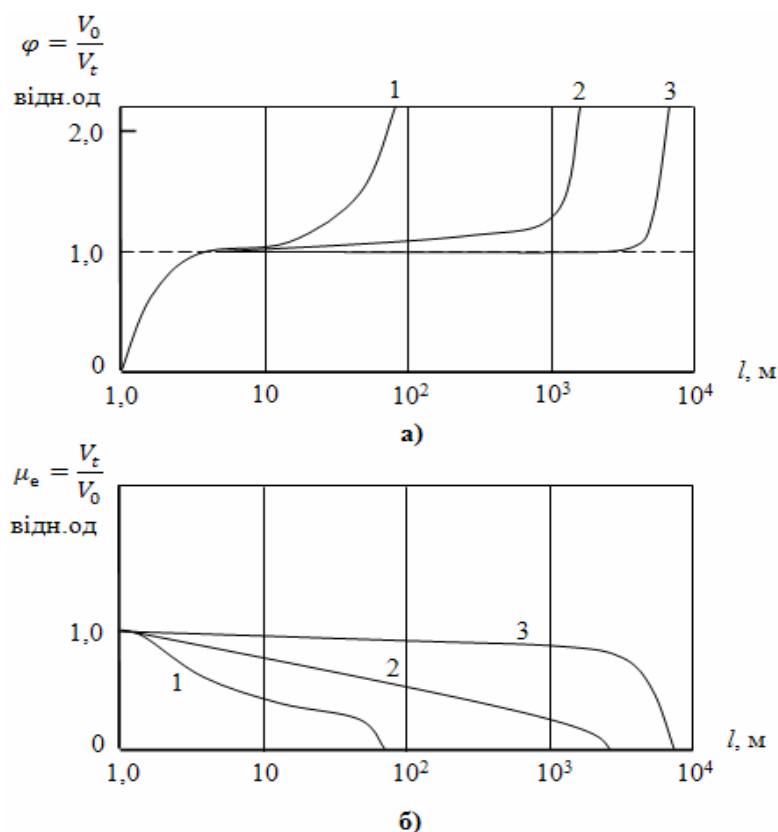
де  $V_t$ ,  $V_0$  – значення механічної швидкості у будь-який час  $t$  і на початку рейсу долота відповідно.

Проте, функція зношування  $\phi$  має різні значення для різних типів оснащення шарошкових доліт і відсутня узагальнена формула механічної швидкості проходки  $V_t$ , яка б охоплювала весь комплекс фізичних явищ, що мають місце в процесі буріння і пов'язані зі зношенням долота та руйнуванням породи. Вихід із ладу долота діагностується також [1] за зміною його механічної ефективності, під якою розуміють відношення поточного середнього значення механічної швидкості  $V_t$  до механічної швидкості нового долота  $V_0$  в тій самій породі за тієї ж осьової сили  $F$  на долото і швидкості обертання  $n$  долота, тобто

$$\mu_e = \frac{V_t}{V_0}. \quad (2)$$

Узагальнені графіки зміни оцінок функцій зношування  $\phi = \frac{V_0}{V_t}$  і  $\mu_e = \frac{V_t}{V_0}$  доліт залежно від проходки долота  $l$  у процесі буріння в породах однієї міцності з постійними керувальними діями зображено на рис. 1.

Механічну швидкість нового долота  $V_0$  визначають за результатами буріння  $h = 7,6$  м. Частоту обертання, як і механічну швидкість вимірюють на поверхні, осьову силу на долото і крутний момент вимірюють на вибої свердловини.



1 – традиційне шарошкове долото; 2 – шарошкове долото нового покоління;  
3 – безпорне алмазне долото типу PDC

Рисунок 1 – Графіки зміни оцінок функцій зношування  $\varphi = \frac{V_0}{V_t}$  і  $\mu_e = \frac{V_t}{V_0}$  доліт залежно від проходки долота  $l$  у процесі буріння в породах однієї міцності

Метод заснований на моделі моменту на долоті, запропонованій Уорреном у 1984р. для шарошкових доліт і адаптованій Бургесом і Лессо в 1985р. для доліт з фрезерованими зубцями, призначених для м'яких і в'язкопружних порід, аргелітів, алевролітів [1] тощо.

Експериментальні графіки залежності механічної швидкості проходки незатупленим долотом  $V_0$  й режимних параметрів  $F$  і  $n$  з урахуванням того, що витрата промивної рідини  $Q = \text{const}$ , достатньо точно описуються поліномом такого виду в невеликому діапазоні зміни режимних параметрів

$$V_0 = a_0 + 2a_1F + 2a_2n + 2a_3Fn + a_4F^2 + a_5n^2, \quad (3)$$

де  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – емпіричні коефіцієнти.

Поточне значення механічної швидкості проходки  $V_t$  можна визначити із математичної моделі процесу буріння [2, 5] узагальненого виду

$$V_t = V_0 \mu_e = V_0(F, n, Q, \alpha_i) \mu_e(P, n, Q, K, \alpha_i, \beta_i, t), \quad (4)$$

де:  $\alpha_i, \beta_i$  – коефіцієнти, які характеризують пару «долото – порода вибою свердловини»,  
 $K = K(F, n, \beta_i)$  – коефіцієнт зношування долота,

$t$  – час буріння.

Якщо в узагальнену математичну модель процесу буріння свердловин у просторі станів [5, 6], координатами якого є проходка на долото  $h$  і змінні, що характеризують стан оснащення долота

$$\frac{dh}{dt} = \frac{V_0}{\varphi^r}, \quad (5)$$

$$\frac{du}{dt} = K_u \varphi^s, \quad (6)$$

де:  $r, s$  – деякі постійні величини, які приймають значення із множини  $\{-1; 0; 0,5; 1\}$ ,

$K_\varphi$  – інтенсивність зношування долота з початковими умовами  $h(0) = 0; \varphi(0) = 1$ , підставити конкретну характеристику об'єкта  $V_0(F, n, Q, \beta_i)$  і  $\varphi(F, n, Q, K, \beta_i, v_i, t)$ , то отримаємо модель, яку можна використати для визначення оптимальних параметрів режиму буріння для конкретного способу буріння певним типом долота.

Слід зауважити, що в математичну модель процесу буріння (4) входить час буріння, від якого залежить поточне значення проходки і механічної швидкості проходки при відпрацюванні шарошкових доліт. Відносно цієї залежності відсутня загально визнана точка зору. Проте, ще Р.А.Бадалов [2] висунув гіпотезу про

те, що зміна механічної швидкості проходки в часі пропорційна поточному значенню швидкості в степені  $n$ . Такий підхід виявився досить плідним, оскільки, задаючись різними значеннями  $n \in (0,4)$ , можна отримати практично усі функціональні залежності  $V_t$ , які використовуються сьогодні: експоненціальні, гіперболічні, кореневі, лінійні, незалежні від часу, які з достатньою точністю обчислюють механічну швидкість  $V_t$ .

Рівняння механічної швидкості проходки, запропоноване Р.А.Бадаловим, має такий вигляд

$$V_t = \frac{V_0}{(1 + K(m-1)V_0^{m-1} \cdot t)^{1/m-1}}, \quad (7)$$

де:  $V_0$  – механічна швидкість проходки не затупленим долотом,

$K$  – постійне за Р.А.Бадаловим число,

$m$  – показник степеня:  $m = 1$  для експоненціальної залежності,  $m = 2$  для гіперболічної залежності.

Значення  $K$  в математичній моделі (7) використовується як коефіцієнт зношування, який є функцією керувальних дій  $F$  і  $n$ .

Проте, якщо розглядати коефіцієнт зношування  $K$  як постійне число, то в процесі буріння буде відсутнім дрейф характеристики  $V(F, n, Q, K, t)$ , викликаний зношуванням долота і наявність якого підтверджена експериментальними дослідженнями.

Якщо прийняти, що коефіцієнт зношування оснащення долота  $K = 0$ , що спостерігається у процесі буріння долотами типу PDC, то отримуємо математичну модель механічної швидкості проходки алмазними долотами цього типу

$$V_t = V_0, \quad (8)$$

за умови, що керувальні дії незмінні, тобто  $F = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ,  $Q = \text{const}$ .

Початкові умови для моделі (8) визначають з фізичного змісту процесу буріння. Очевидно, що на початку рейсу долота, коли  $t = 0$ , проходка на долото дорівнює нулеві і  $V_t = V_0$ . Це дає змогу записати

$$h(0) = 0; \quad \varphi(0) = 1. \quad (9)$$

Під час переходу долота в завершальну фазу роботи механічна швидкість буріння спадає до  $V_t = 0$  і це є ознакою певного зношування полікристалового оснащення долота типу PDC.

Проте, ця ознака одночасно може бути ознакою інших явищ в свердловині: обриву колони бурильних труб, обвалювання стінок свердловини, прихоплення бурильного інструменту, заклинювання, переходу долота в дуже міцні породи та ін.

Тому рішення про підймання долота із свердловини доводиться приймати в умовах невизначеності, навіть під час буріння в ізотропних породах. У процесі буріння в ізотропних породах цикл функціонування системи контролю і керування здійснюється в декілька етапів. На першому етапі визначаються коефіцієнти статичної характеристики керованого об'єкта  $V_0(F, n, Q, \delta_i)$ . На другому етапі для прийня-

того критерію оптимізації визначаються оптимальні значення керувальних дій  $F$  і  $n$ , які задаються за допомогою регуляторів. На третьому етапі, який є основним періодом роботи долота, процес буріння здійснюється в режимі неперервної стабілізації осьової сили на долото і швидкості його обертання. Одночасно вимірюється поточне значення проходки, механічної швидкості проходки і часу буріння, і обчислюється величина енергії, яка підводиться до долотом до вибою свердловини

$$W_i = F_i^\delta n_i^\epsilon \Delta t_i, \quad (10)$$

де:  $F_i, n_i$  – параметри режиму буріння на  $i$ -ій ділянці свердловини, що складається із порід однієї міцності,

$\Delta t_i$  – поточний час буріння  $i$ -го шару породи.

Після переходу долота в породу з іншою міцністю змінюється механічна швидкість проходки і система контролю та керування переходять в режим першого етапу роботи.

Після визначення і встановлення нових оптимальних керувальних впливів продовжується відлік добутку (10), який додається до значення енергії  $W$ , витраченої в попередньому шарі порід. Долото повністю відпрацьоване і підлягає підйманню для заміни, коли фактична витрата енергії долотом

$$W_\phi = \sum_{i=1}^m F_i^\delta n_i^\epsilon \Delta t_i \quad (11)$$

дорівнюватиме заданому значенню

$$W_{зд} = F \cdot n \cdot t_m, \quad (12)$$

тобто

$$W_\phi = W_{зд}, \quad (13)$$

де:  $F, n$  – паспортні значення осьової сили на долото і швидкості його обертання,

$t_m$  – моторесурс долота.

Величина  $W_{зд}$  характеризує зносостійкість долота типу PDC і внесена в пам'ять комп'ютера системи керування до початку буріння.

Якщо буріння ведеться в однорідній породі, то  $F = \text{const}$  і  $n = \text{const}$ , а умова (11) приймає вигляд

$$T_{вп} = \sum \Delta t_i = \frac{W_{зд}}{F \delta n^\epsilon},$$

де  $T_{вп}$  – час відпрацювання долота, який повинен бути  $T_{вп} \leq t_m$ .

Схема формування інформації про ступінь відпрацювання долота типу PDC наведена на рис. 2.

Завдання контролю і керування таким нелінійним динамічним стохастично-хаотичним об'єктом як технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів та перебуває під впливом різного типу зовнішніх завад, є одним із ключових у сучасній теорії керування. Для контролю і керування такими об'єктами все більш широкого застосування набувають мето-

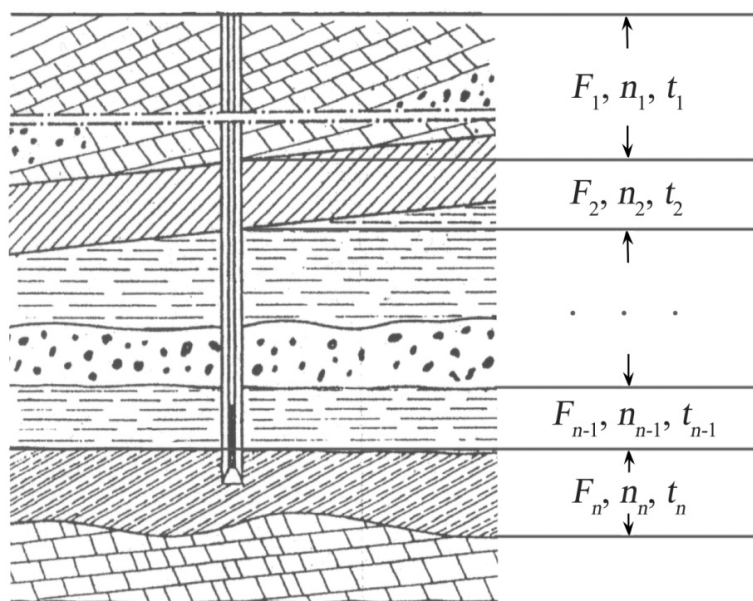


Рисунок 2 – Схема формування інформації про ступінь відпрацювання долота типу PDC

ди, засновані на апараті обчислювального інтелекту: методах Fuzzy logic, штучних нейронних мережах та гібридних системах.

Проблема ускладнюється тим, що тип нелінійностей  $V_0(F, n, Q, \delta_i)$  і  $u(F, n, Q, K, \delta_i, v_i, t)$  апіорні невідомий, їх характер може змінюватися з часом і глибиною свердловини, можливе виникнення коливних режимів, хаотичної детермінованої поведінки, на яку накладається стохастична компонента.

У цьому випадку рання діагностика, прогнозування і моделювання технічного стану доліт типу PDC, що функціонують за умов апіорної та поточної невизначеності, вимагає розроблення теоретичних основ і математичного забезпечення нейро-фаззи-систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні відпрацюванням доліт типу PDC.

Збір і аналіз в реальному часі даних по свердловині, яка буриться, надає системі контролю і управління бурінням нову важливу роль в оптимізації процесу керування бурінням. Ця роль підсилюється функціями комунікації даних, які забезпечують в реальному часі зв'язок між буровою, експертами і комп'ютером в центральному офісі управління буровими роботами. Тут вона аналізується спеціалістами, які потім направляють на бурову вказівки стосовно оптимізації процесу.

### Висновок

Запропоновано інформаційні моделі для сигнальної ідентифікації та контролю технічного стану оснащення полікристалічних доліт нового покоління типу PDC, що забезпечують задані показники точності автоматичного контролю в основний період роботи долота і швидкодії в завершальний період роботи долота за умов апіорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів об'єкта.

### Література

- 1 Кацман Ф.М. Состояние и направления компьютеризации бурения в США / Ф.М.Кацман, В.Г.Беликов, Ш.М.Смотрицкий. – М.: ВНИИОЭНГ, 1990. – 40 с.
- 2 Ситников Н.Б. Моделирование и оптимизация процесса бурения геологоразведочных скважин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизация технологических процессов и производств» / Н.Б.Ситников. – Екатеринбург, 2000. – 41 с.
- 3 Мислюк М.О. Моделирование явищ і процесів у нафтогазовій справі: навчальний підручник / М.О.Мислюк, Ю.О.Зарубін. – Івано-Франківськ: Екор., 1999. – 496 с.
- 4 Тарабрин Е.И. Определение степени износа долота по величине проходки / Е.И.Тарабрин, В.Г.Онищенко // Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1982. – Вып. 7. – С.28-29.
- 5 Семенцов Г.Н. Автоматизация технологических процессов у нафтовій і газовій промисловості: навчальний посібник / [Г.Н.Семенцов, Я.Р.Когуч, Я.В.Куровець, М.М.Дранчук]. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2009. – 30 с.
- 6 Кропивницька В.Б. Оптимальне керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец.:05.13.07 «Автоматизация процесів керування» / В.Б.Кропивницька. – Івано-Франківськ. – 2007. – 20 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
04.03.10

Рекомендована до друку професором  
М. І. Горбійчуком