

КОНЦЕПТУАЛЬНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ДОЛОТАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ЯК ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

Розглянуто проблеми удосконалення математичного моделювання технологічного процесу буріння глибоких нафтових і газових свердловин у зв'язку з поступовим переходом нафтогазовидобувної галузі промисловості на буріння свердловин полікристалевими і шарошковими долотами нового покоління, які мають проходку на одне долото майже на два порядки більше ніж традиційні долота.

The problems of improvement of mathematical design of technological process of the boring drilling of oil and gas longholes are considered in connection with the gradual passing of naftogazovidobuvnoy industry of industry to well-drilling polikristalevimi and sharoshkovimi chisels of new generation, which have driving on one chisel almost on two poryadka more than traditional chisels.

Ключові слова: математичне моделювання, буріння, газові свердловини.

Вступ

Збільшення глибини свердловини, розбурювання родовищ у важкодоступних районах на континентальному шельфі призводить до подальшого росту витрат, ефективне використання яких визначається рівнем розвитку техніки та технології процесу буріння. Головним завданням вдосконалення технології буріння є забезпечення будівництва свердловин у найкоротший строк з найменшими витратами. Вирішення цієї проблеми в даний час пов'язується з подальшим підвищенням темпів і якості будівництва свердловин, оснащенням сучасними технічними засобами, долотами нового покоління, впровадженням прогресивних технологій.

Серед комплексу технологічних процесів будівництва свердловин основним вважається поглиблення стовбура в заданому напрямі на задану глибину шляхом руйнування гірської породи на вибої свердловини долотом.

Проте моделювання процесу буріння має цілий ряд труднощів, пов'язаних з тим, що цей процес є стохастичним нелінійним, нестационарним, невідтворюваним і таким, що розвивається в часі. Всі моделі, які розроблялись, можна поділити на статичні і динамічні. Останні розроблялись з врахуванням динаміки зношення озброєння і опор доліт. Статичні моделі в більшості робіт одержали на основі промислових і стендових досліджень процесу буріння шарошковими долотами у вигляді закономірностей зміни початкової механічної швидкості проходки V_0 , яка є функцією багатьох змінних $V_0 = \varphi(F, n, Q, q_1, q_2, \dots, q_n, I_n, A, l)$, де F – осьова сила на долото, n – швидкість його обертання, Q – витрата промивної рідини, q_1, q_2, \dots, q_n – фізико-механічні властивості бурового розчину, розбурюваних порід і долота, I_n, A – частота і амплітуда коливань колони, l – глибина свердловини.

Труднощі обліку властивостей породи, породоруйнівного інструменту і бурового розчину змусили дослідників розглядати цю закономірність при бурінні в однорідних породах з постійною витратою бурового розчину Q . Звичайно вважають незмінними і властивості бурового розчину, що зумовлено, по-перше, відсутністю теорії, яка дозволяє враховувати вплив реології, а по-друге, необхідністю скоротити число вимірювальних параметрів і цим полегшити обробку інформації на об'єкті. За таких допущень початкова швидкість проходки рівна $V_0 = \varphi_1(F, n)$.

Відсутність в цьому рівнянні витрати промивного агента компенсують введенням обмежень знизу на швидкість витікання розчину з насадок долота, питому витрату на одиницю площі вибою і обмеження зверху на величину диференціального тиску та вважають, що витрата бурового розчину практично не впливає на початкову механічну швидкість проходки V_0 .

Аналіз сучасних моделей показав, що вони мало параметричні, до них входять не вимірювані параметри, розмірності у них, як правило, не збігаються, тому вони не можуть бути використані для керування. Більш широкий клас – це динамічні моделі, до яких можна віднести статичні і фізичні моделі. В останніх враховуються фізичні закономірності зношення озброєння і опор долота за час його роботи t_p на вибої свердловини. Дійсно, в процесі буріння руйнується не тільки порода, але й зношується озброєння долота. При $F = \text{const}$ і $n = \text{const}$, відбувається зменшення механічної швидкості проходки V_t в часі, тобто $V_t = \varphi(F, n, t_p)$. Вивченню процесу зношення доліт присвячено ряд робіт [1-4 та ін.], автори яких дотримуються різних точок зору відносно закономірностей, що має даний процес. Слід відзначити, що інформацію про швидкість зношення озброєння доліт одержують переважно за допомогою статистичної обробки даних по відпрацьованих долотах. Ретроспективність такого аналізу і суттєві відмінності дійсної швидкості зношення озброєння долота від відповідної середньо-статистичної створюють певні труднощі у використанні цих математичних моделей, вони мають вузьку область застосування і виявились непридатними для оперативного оптимального керування процесом буріння внаслідок наявності в них не вимірюваного параметра – зношення долота.

Постановка проблеми

Основою алгоритму оптимального керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин є математична модель. Задача керування таким складним нелінійним динамічним об'єктом як процес буріння, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності і перебуває під впливом зовнішніх завад, є однією з ключових в автоматизації технологічних процесів у нафтовій і газовій промисловості [1]. Це пояснюється тим, що процес буріння глибоких свердловин на суходолі і особливо на акваторії відноситься до класу погано визначених об'єктів, а саме об'єкт має нелінійні статичні і динамічні характеристики, які апріорі невідомі.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Проте, аналіз літературних джерел (наприклад, [1-3 та ін.]) показує недостатній об'єм проведених досліджень в контексті використання нових математичних моделей процесу буріння глибоких нафтових і газових свердловин долотами нового покоління, які забезпечують проходку на одне долото до 6000 м.

Виділення невирішених частин

Невирішеною частиною загальної проблеми є удосконалення математичної моделі технологічного процесу буріння глибоких нафтових і газових свердловин у зв'язку з переходом нафтогазовидобувної галузі промисловості на буріння свердловин полікристалевими і шарошковими долотами нового покоління, які мають проходку на одне долото, майже на два порядки більше, ніж традиційними долотами.

Формування цілі

Тому метою даної роботи є удосконалення математичної моделі процесу буріння на прикладі моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин полікристалевими долотами нового покоління типу PDC.

Виклад основного матеріалу

Досягнення поставленої мети здійснюється розв'язанням таких основних задач як аналіз існуючих моделей процесу буріння та розробка структури мультиплікативної математичної моделі процесу буріння свердловин долотами типу PDC. Структуру математичної моделі процесу буріння свердловин традиційними долотами наведено на рис. 1. Вона відображає причинно-наслідкові зв'язки між змінними, що характеризують технологічний процес. Позначені на структурній схемі керованого об'єкта змінні можна об'єднати в такі групи:

- • змінні, що діють на вході об'єкта: осьова сила на долото F і швидкість його обертання n ;
- • показники процесу буріння: механічна швидкість проходки V_b , оцінки відносного зносу озброєння долота ε_t і його опор K_g , які доступні для вимірювання в реальному часі з використанням інтелектуальних каналів відеоінформації;
- • збурюючі впливи f : сила статичного опору тертя колони бурильних труб об стінки свердловини, фізико-механічні властивості порід руйнованого вибою свердловини.

Вони створюють вектор \bar{E}^T зовнішніх некерованих впливів, які змінюються з глибиною свердловини і, отже, з часом.

Некеровані параметри, які не залежать від режиму буріння – тип долота і його діаметр, кількість шарошок, геометрія зубців, глибина свердловини, параметри колони бурильних труб і бурової установки, які характеризують умови протікання технологічного процесу, віднесені до четвертої групи.

Витрата промивної рідини Q на початку рейсу долота обирається такою, щоб забезпечити ефективне очищення вибою свердловини і є некерованим параметром. У подальшому параметри режиму буріння F , n , Q вважатимемо компонентами вектора керувальних дій $\bar{U}^T = (F, n)$, показники процесу вважатимемо компонентами вектора вихідних змінних $\bar{X}^T = (V_b, \varepsilon_t, K_g)$. Це дозволяє гіпотетичну модель процесу буріння подати у вигляді $\bar{X}^T = (\bar{U}^T, \bar{E}^T)$, де \bar{E}^T – вектор збурень.

Узагальнена математична модель процесу буріння свердловин традиційними долотами у просторі станів, координатами якого є проходка на долото h і змінні, які характеризують технічний стан озброєння долота і його опор, має такий вигляд [1, 2, 3]:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{V_0}{r}; \quad \frac{d}{dt} = K \quad s, \quad (1)$$

де $\frac{V_0}{V_t}$ – узагальнена оцінка стану озброєння долота;

V_0 – початкова швидкість буріння;

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

K_φ – інтенсивність зносу долота.

Початкові умови для моделей (1) визначають з різного змісту процесу буріння. Очевидно, що до початку буріння, коли $t=0$, проходка долота нульова і $V_t=V_0$. Це дає змогу записати $h(0)=0$; $\varphi(0)=1$. Для завершення математичного опису процесу буріння до рівнянь (1) слід залучити співвідношення, які характеризують технічний стан опор шарошкового долота

$$\frac{dg}{dt} = K_g; \quad g(0) = 0, \quad (2)$$

де g – оцінка стану опор долота;
 K_g – швидкість зміни оцінки стану опор долота.

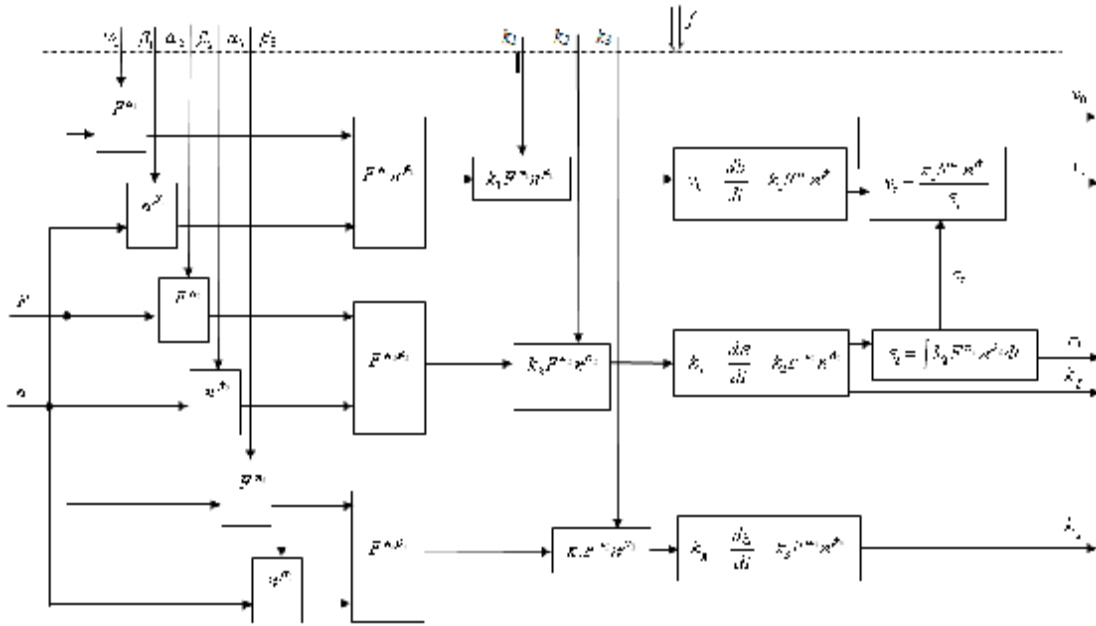


Рис. 1. Структура мультиплікативної математичної моделі процесу буріння свердловин традиційними шарошковими долотами: F і n – керувальні дії: осьова сила на долото і швидкість його обертання; h – проходка долота; $k_1, k_2, k_3, a_1, \beta_1, a_2, \beta_2, a_3, \beta_3$ – параметри математичної моделі, що підлягають ідентифікації; e – оцінка відносного зносу озброєння долота; g – оцінка зносу опор долота; f – збурення; V_t – механічна швидкість буріння; ε_t – оцінка відносного зносу озброєння долота; K_g – швидкість зміни оцінки зносу озброєння долота

Рівняння (1) і (2) утворюють узагальнену математичну модель процесу буріння традиційними шарошковими долотами із зазначеними початковими умовами.

Для конкретних умов буріння в Прикарпатті модель набуває такого вигляду [1,3]:

$$\frac{dh}{dt} = K_1 F^{a_1} n^{b_1} e^{-1}, \tag{3}$$

$$\frac{de}{dt} = K_2 F^{a_2} n^{b_2}, \tag{4}$$

$$\frac{dg}{dt} = K_3 F^{a_3} n^{b_3}. \tag{5}$$

Долота типу PDC виготовляють такі фірми: Bit-Tech, Dowdco, Geo Diamond, Halliburton Security DBS, PDC-Garhart, Hughes Christensen, NQL, Precise, Reed Hycalog (Grant Prideco), Rock Bit, Tri-Max, United-Max, United Diamond, Varel. Колонкові долота PDC виготовляють фірми: Baker Hughes INIEQ, Bit-Tech, Halliburton Security DBS, Rock Bit, Varel для буріння середніх, перехідних від середніх до твердих, твердих порід, а також дуже твердих порід [5, 6].

Характеристики деяких типів моделей доліт наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики деяких типів моделей доліт

Виробник	Призначення долота, модель долота	Код IADC	Спеціальні властивості, використання	Рекомендована швидкість обертання об./хв.
1	2	3	4	5
Bit-Tech	HP-440-BB	M232	ADGNMVW	60÷600
	DP-B66	M242	ADGMVW	60÷600
Dowdco	TM-463	M243	ADGHMV	60÷450
	TM-583	M423	AIKHVV	60÷250
Geo Diamond	QDG-71	S323	GMHUhVW	60÷600
	M-16	M442	GMHUhVW	60÷600
	MA-31	M432	GMHUhVW	60÷600
	MDT-34	M433	DGMNUmVW	60÷600
	MA-60	M423	GMNUmVW	60ч600
	S-50	S223	GMNUmVW	60ч400

1	2	3	4	5
Halliburton Security DBS	FM 2643i	S223	GMNUmVW	60ч400
	SE 3641i	S223	GMNUiVW	60ч100
Hughes Christensen	HC 407	M333	DGMVW	60ч350
	HCM 407Z	M333	DGMVW	60ч350
	HCB 507Z	M323	DGVW	60ч350
	HCR 607	M323	DGVW	60ч350
	HC 408Z	M433	DGMVW	60ч350
	HCM 508	M423	DGMVW	60ч350
	HCR 609Z	M423	DGVW	60ч350
NQL	CSD+444	S233	DGHKMVW	60ч200
	Bi-center MP-29	M433	DGHKMV	60-450
	MP3AM	M443	DGHKMV	60-450
	SP-64	S323	DGHKMV	60-450
	SRF+444M			60-200
	Bi-center VMP 49	S13 M433	DGHKMMVW RSTKV	60-450
Precise	S26GM	S333	V	40-1000
	S266D	S131	V	40-1000
	S155M	S323	V	40-1000
	M258M	M333	V	40-1000
	M274H	M434	V	40-1000
Reed Hycalog (Grand Prideco)	RS163HD	M322	GHWUm	variable
	DS17GH	M323	GHMWUh	variable
	DS144	M333	GHMWUh	variable
	RS190D	M422	GHWUh	variable
	DS137D	M432	GHMWUb	variable
	DS1480	M433	GHMWUh	variable
	DS107D	S432	GHMWiM	variable
RockBit	KD 5708	S443	GHMVW	60-400
Tri-Max	EWD	S997	Underreamer	no limits

Інформація про бурові долота враховує 16 кодів IADC (Міжнародна асоціація бурових підприємств):

- A – використання буріння з продувкою повітря;
- B – спеціальне ущільнення підшипника;
- C – центральна форсунка;
- D – регулювання напрямку буріння;
- E – розтягнуте сопло;
- G – захист корпусу/вимірювальних приладів;
- H – використання горизонтального рулевого керування;
- I – відхилення форсунки;
- L – потовщені прокладки;
- M – використання електродвигуна;
- S – стандартна модель сталевго зубця;
- T – двошарошкове долото;
- W – розширене озброєння долота;
- X – переважна вставка гостроконечного зубу;
- Y – вставка конічного зубу;
- Z – вставка зубців іншої форми.

Журнал Word Oil [5, 6] додав ще 11 кодів для додаткового опису доліт:

- F – насадка на буровій колонці, яка спрямована на вибій;
- i – термостійкі синтетичні алмази (TSP);
- K – гідравліка між пластового перетоку;
- N – турбінне буріння;
- O – використання дроблення;
- P – ударне буріння;
- Q – поперечні сопла;
- R – гідравліка радіального потоку;
- RST – керований ротор
- U – густина різця: нижня (l), середня (m), висока (h), наприклад: Ul, Um, Uh;
- V – характеристики антиобертання.

Оскільки полікристалеві долота нового покоління типу PDC забезпечують проходку на долото на два порядки більше традиційних шарошkových доліт, тому можна вважати, що протягом рейсу долота відсутній знос його озброєння і одне долото може бути використане для буріння декількох свердловин. Крім того долота типу PDC є безпорними. Тобто в математичній моделі (3), (4), (5) в рівнянні (4) $\frac{de}{dt} = 0$, а рівняння (5) не потрібне. Тоді структура математичної моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами типу PDC набуває вигляду, який наведено на рис. 2.

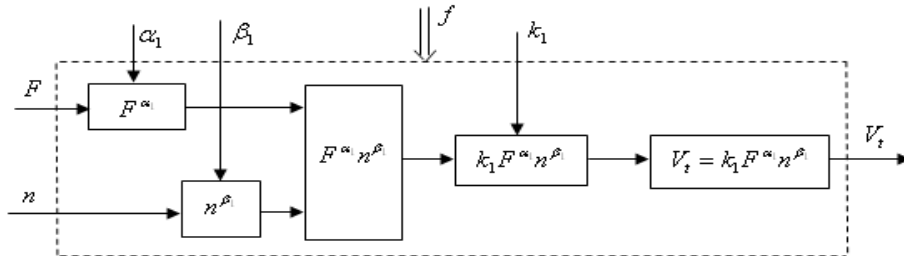


Рис. 2. Структура мультиплікативної математичної моделі процесу буріння свердловини полікристалевими долотами нового покоління типу PDC

Отже, бачимо, що усі змінні (V_t, F, n), які характеризують процес буріння долотами типу PDC, доступні для вимірювання в реальному часі з використанням інтелектуальних каналів відеоінформації. Недоступний параметр (знос озброєння долота) потрібно контролювати на завершальній стадії експлуатації долота з метою запобігання аварійних ситуацій. На даний час для контролю зношення озброєння доліт у світовій практиці буріння використовують [1] функцію зносу $\varphi = V_0/V_t$ і показник механічної ефективності

$$\mu_e = V_t/V_0, \quad (6)$$

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

Проте, методи контролю, які базуються на функції зносу φ , мають суттєві недоліки, пов'язані з тим, що функція зносу φ має різні значення для різних типів озброєння доліт. Крім того, відсутня узагальнена модель 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. Більш ефективним є метод, який базується на контролі механічної ефективності (6) долота. Хоча метод був запропонований для шарошkových доліт з фрезерованими зубцями при бурінні м'яких і в'язко-пружних порід, а також аргілітів і алевролітів [4], він добре підходить для контролю зносу доліт типу PDC на стадії катастрофічного зношення. Дійсно, якщо прийняти, що знос озброєння відсутній, що спостерігається під час буріння полікристалевими долотами типу PDC, тоді отримуємо, що $V_t = V_0$, за умови, що керувальні дії незмінні, тобто $F = \text{const}, n = \text{const}, Q = \text{const}$. Очевидно, що на початку рейсу долота, коли $t = 0$, проходка на долото нульова і $V_t = V_0$. Це дає змогу записати початкові умови у такому вигляді:

$$h(0) = 0; \mu_e(0) = 1. \quad (7)$$

Під час переходу долота в завершальну фазу роботи механічна швидкість проходки зменшується до $V_t = 0$ і $\mu_e \rightarrow 0$, що є ознакою повного зносу полікристалевого озброєння долота типу PDC.

Контроль показника механічної ефективності долота типу PDC є більш простим, оскільки відомо, що значення μ_e знаходиться в межах від 1 до 0, але для функції φ треба визначити додаткове порогове значення, оскільки вона змінюється від 1 до ∞ .

Проте, рішення про підйом долота із свердловини приймається в умовах апріорної та поточної невизначеності навіть при бурінні в ізотропних породах, оскільки ознака зносу озброєння долота співпадає з ознаками інших явищ в свердловині: обриву колони бурильних труб, обвалу стінки свердловини, прихоплення бурильного інструменту, заклинювання та ін.

Алгоритм оптимального керування процесом буріння, побудований на базі математичної моделі об'єкта звичайно містить завдання критерію оптимальності (як правило, мінімум собівартості метра проходки), завдання незалежних змінних (осьової сили на долото F і швидкості його обертання n), завдання обмежень, завдання функціонального зв'язку між критерієм оптимальності і незалежними змінними (функції мети); частоту розв'язання задач оптимізації, алгоритм адаптації моделі, а з нею й уточнення функції мети; частоту розв'язання задачі адаптації моделі; методику розв'язання задачі оптимізації з урахуванням обмежень, методику вироблення і реалізації керувальних дій.

Постановка задачі оптимального керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин залежить від аналізу виробничої ситуації, яка, найчастіше, зводиться до одного з двох варіантів, наведених у табл. 2.

У таблиці 2 прийнятні наступні позначення: H – проектна глибина свердловини; h_i – проходка в i -му рейсі долота; N – кількість рівнів, на які може бути розділена H ; F_i, n_i – осьова сила на долото і швидкість його обертання у i -му рейсі; m – коефіцієнт, який визначається геометрією зубців шарошкового долота і формою зносу; V_{cn} – швидкість спуско-підймальних операцій; M_0 – момент на долоті; $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3$ –

вектори властивостей системи «долото – гірська порода»; ε^* – оцінка механічної ефективності долота; B_c – вартість години роботи бурової установки, B_δ – вартість долота; t_δ – час буріння від початку роботи; t_{cno} – час на спуско-підймальні та допоміжні операції.

Таблиця 2

Перший варіант	Другий варіант
$B_c(x)\vec{x} \in \vec{S}_{\min}$ $B_c = \frac{B_c(t_\delta + t_{cno}) + B_\delta}{h}$ $(F_i, n_i)_{i=1, \dots, N}; F \in [F_{\min}, F_{\max}]$ $S = \left\{ n \in [n_{\min}, n_{\max}]; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}$ $B_c(F) \longrightarrow \inf B_c(x)$ $x \in S \ \& \ n = \text{const}$ $\frac{dh}{dt} = V_0(\bar{U}, \bar{A}_1)\varepsilon^{-1},$ $\frac{d\varepsilon}{dt} = K_\varepsilon(\bar{U}, \bar{A}_2),$ $\frac{dg}{dt} = K_g(\bar{U}, \bar{A}_3),$ $\bar{U}^T = (F, n, Q),$ $\bar{A}_1 = (K_1, \alpha_1, \beta_1),$ $\bar{A}_2 = (K_2, \alpha_2, \beta_2),$ $\bar{A}_3 = (K_3, \alpha_3, \beta_3),$ $\varepsilon = \frac{V_0}{V_t}$ <p>Граничні умови:</p> $h(0) = 0; g(0) = 0, \varepsilon(0) = 1, \text{ при } t = 0$ $h(t_\delta) \geq 0; 1 \leq \varepsilon(t_\delta) \leq (1+m)^2; 0 \leq g(t_\delta) \leq 1 \text{ при } t = t_\delta$ <p>Технологічні обмеження:</p> $F_{\min} \leq F \leq F_{\max}; n_{\min} \leq n \leq F_{\max}; Q = \text{const};$ $V_{cn} \leq (V_{cn})_{\max}; M_\delta \leq (M_\delta)_{\max}$	$V_t(x)\vec{x} \in \vec{S}_{\max}$ $V_t = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ $(F_i, n_i)_{i=1, \dots, N}; F \in [F_{\min}, F_{\max}]$ $S = \left\{ n \in [n_{\min}, n_{\max}]; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}$ $V_t(F) \longrightarrow \sup V_t(x)$ $x \in S \ \& \ n = \text{const}$ $\frac{dh}{dt} = V_0(\bar{U}, \bar{A}_1)\varepsilon,$ $V_0(\bar{U}, \bar{A}_1) = k_1 \cdot F^{\alpha_1} \cdot n^{\beta_1}$ $\bar{U}^T = (F, n),$ $\bar{A}_1 = (k_1, \alpha_1, \beta_1),$ $\varepsilon = \frac{V_0}{V_t}$ $k_\varepsilon = (\bar{U}, \bar{A}_2) = k_2 \cdot F^{\alpha_2} \cdot n^{\beta_2},$ $\bar{A}_2 = (k_2, \alpha_2, \beta_2)$ <p>Граничні умови:</p> $h(0) = 0; g(0) = 0, \varepsilon(0) = 1, \text{ при } t = 0$ $h(t_\delta) \geq 0; 1 \geq \varepsilon^*(t_\delta) > 0 \text{ при } t = t_\delta$ <p>Технологічні обмеження:</p> $F \in [F_1, F_2]; F_1 > F_2; n \in [n_1, n_2];$ $n_1 > n_2; Q = \text{const};$ $V_{cn} \geq (V_{cn})_{\max}; M_\delta \leq (M_\delta)_{\max}$

Перший варіант відповідає бурінню свердловини шарошковими долотами, коли треба мінімізувати собівартість метра проходки $B_\delta \rightarrow \min$, а другий – полікристалевими долотами типу PDC, коли буріння здійснюється з максимальною механічною швидкістю проходки $V_t \rightarrow \max$.

Реалізація задачі оптимального керування обох варіантів можлива за допомогою математичної моделі (1), яка для другого варіанту суттєво спрощується за рахунок зменшення кількості рівнянь в моделі. При чому зміною технологічних режимів при переході долотом межі пластів досягаються оптимальні значення критерію оптимізації.

Слід відзначити, що перевищення граничного рівня осьової сили на долото F_{\max} веде до дуже несприятливих характеристик зміщення долота, наприклад у вигляді дуже інтенсивних вібрацій в напрямку дотичної і, так званих, «прослизань» [7]. Перевищення граничного рівня швидкості обертання n_{\max} веде також до небажаних характеристик його зміщення. Проте, осьова сила на долото повинна наблизитись до F_{\max} , щоб забезпечити максимум продуктивності буріння. Проте, навіть при незмінних властивостях гірських порід і незмінних умовах зносу долота існує множина різних комбінацій значень F, n , які можуть теоретично приводити до результуючих значень продуктивності, яка відповідає граничному значенню продуктивності.

Взаємозв'язок осьової сили на долото F і швидкість його обертання n (рис. 3) дає змогу визначити комбінації змінних F і n , для яких спостерігається відмова долота і виключання подібних комбінацій із числа таких, що використовуються в практиці керування бурінням.

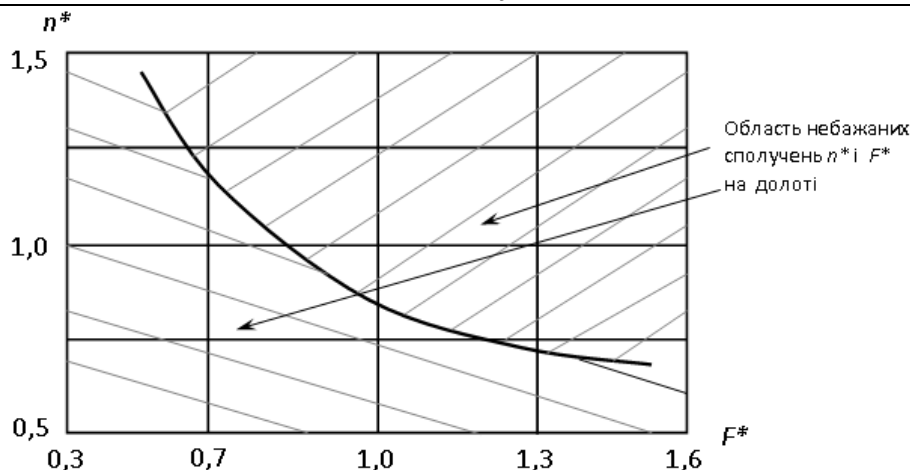


Рис. 3. Взаємозв'язки нормованих осьової сили на долото F^* і швидкості його обертання n^*

Результати визначення оптимальної моделі залежності швидкості обертання долота n від осьової сили на долото F , які були проведені за допомогою методу найменших квадратів з використанням програми Curve Expert [8] підтвердили, що ця залежність не є гіперболою, а може бути описана з відносною похибкою $0,04 \div 0,1$ % множиною моделей, таких як Hoerl Model, Weisull Model, Rationak Function, MMF Model, Harris Model та ін.

Висновок

Запропоновано структуру мультиплікативної математичної моделі процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління типу PDC, яка являє собою концептуальну модель процесу буріння. При цьому слід враховувати, що наявність збурень f обумовлює її суттєву апріорну і поточну невизначеність, яку слід враховувати під час синтезу алгоритму адаптивної моделі до умов буріння, які суттєво змінюються з глибиною свердловини.

Література

1. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій і газовій промисловості [Семенцов Г.Н., Когуч Я.Р., Куровець Я.В., Дранчук М.М.] Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с.
2. Кропивницька В.Б. Оптимальне керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною клерувальних дій: автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук: 05.13.07 / Кропивницька Віталія Богданівна. – Івано-Франківськ, 2007. – 142 с.
3. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин. / Горбійчук М.І., Семенцов Г.Н. – Івано-Франківськ, 2003. – 493 с.
4. Кацман Ф.М. Состояние и направления компьютеризации бурения в США / Ф.М. Кацман, В.Г. Беликов, Ш.М. Смотрицкий. – М.: ВНИИОНГ, 1990. – 40 с.
5. Классификация буровых долот 2004 г. Ч. 1 // Нефть, газ & Энергетика. – 2005. – № 1. – С. 35-44.
6. Классификация буровых долот 2004 г. Ч. 2 // Нефть, газ & Энергетика. – 2005. – № 1. – С. 50-59.
7. Пат. 2174596 Российской Федерации. Способ регулирования условий бурения, влияющих на режим эксплуатации бура МПК 7У21В44/00. / Смит Ли Морган (US), Голдман Вильям Э. (US); заявитель и патентообладатель Дроссер индастриз, инк. (US). – № 98119444/03.
8. Фадеева О.В. Аналіз і удосконалення математичної моделі Гааллі-Вудса / О.В. Фадеева // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – С. 198-208.

Надійшла 15.5.2010 р.