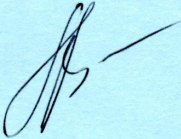


681.51
K83

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Кропивницька Віталія Богданівна



УДК 681.513.5:622.24

**ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ
СВЕРДЛОВИН З ДИСКРЕТНО-НЕПЕРЕРВНОЮ ЗМІНОЮ КЕРУВАЛЬНИХ ДІЙ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Івано-Франківськ – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор

Горбійчук Михайло Іванович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Семенцов Георгій Никифорович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології

кандидат технічних наук, доцент

Цвіркун Леонід Іванович

Національний гірничий університет (м. Дніпропетровськ),

доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем



Захист в
вченої р
універси

пеціалізованої
у технічному
ка, 15).

З дисерт
Франків
м. Івано-

вано-
76019,

Автореф

Вчений о

М. Дранчук



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Бурові установки як об'єкти нафтогазової промисловості є найважливішими технічними системами, які визначають економічний потенціал паливно-енергетичного комплексу будь-якої держави. В 2006 році видобуток нафти в Україні склав 13 тис. м³/день, а газу – 20,5 тис. м³/день. На 2007 рік прогнозується підвищення видобутку нафти та газу на 2-3 %, що пов'язано із спорудженням нових нафтових і газових свердловин. Оскільки вартість метра проходки свердловини складає близько 3000 грн., то актуальним є питання зменшення собівартості метра проходки.

Покращити техніко-економічні показники процесу буріння можна вдосконалюючи як технологію, так і методи керування процесом буріння. Особливої уваги заслуговує оптимальне керування процесом буріння свердловини в умовах апріорної невизначеності, яке забезпечує високі техніко-економічні показники та раціональне відпрацювання доліт як за озброєнням, так і за опорою.

У дослідженнях ряду авторів (Н.В. Габашвілі, Р.Х. Гафіятуллін, М.І. Горбійчук, М.П. Гулізаде, Л.М. Заміховський, Г.М. Зельманович, Т.А. Кірія, Н.Д. Лук'янов, М.А. Мислюк, Г.Н. Семенов, Н.Б. Ситніков, М.А. Фінгеріт та ін.) були розроблені методи керування процесом буріння на основі детерміновано-статистичних моделей, які дають можливість обчислити такі режимні параметри і такий час буріння, щоб вибраний критерій оптимальності набував екстремального значення.

Проте розроблені методи керування процесом буріння нафтових і газових свердловин мають ряд недоліків. Серед них технічна реалізація оптимальних алгоритмів, які передбачають плавну зміну керувальних дій процесу буріння, що в окремих випадках призводить до труднощів та, навіть, до неможливості їх практичного застосування. При керувальних діях, які мають постійний характер, не досягаються потенціальні можливості долота. У зв'язку з цим актуально стає задача оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, при якому кінцеві результати керування близькі до результатів, одержаних при застосуванні оптимальних критеріїв, і при цьому відкриваються можливості технічної реалізації оптимальних алгоритмів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрямок досліджень є складовою частиною тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Дисертаційна робота виконана у відповідності з основним науковим напрямком діяльності кафедри комп'ютерних систем та мереж ІФНТУНГ. Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних програм із розвитку нафтогазового комплексу України та базується на результатах держбюджетних робіт: "Науково-методологічні основи діагностування та управління у нафтогазовій промисловості для оптимізації витрат енергоресурсів" (№ ДР 0107U001560); "Синтез комп'ютерних систем і мереж для об'єктів нафтогазового комплексу" (загв. Науковою радою ІФНТУНГ 26.09.2005р., пр. №5/31).

Автор був безпосереднім виконавцем розділів робіт із розроблення методів і засобів автоматизованого контролю процесом буріння нафтових і газових свердловин.

an 634- an 635

Мета і задачі досліджень. Метою даної роботи є розробка методів і алгоритмів оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій.

Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких взаємопов'язаних задач:

- формалізація процесу буріння і розробка на цій основі узагальненої математичної моделі процесу буріння свердловин;
- розробка методів і алгоритмів ідентифікації параметрів узагальненої математичної моделі, які враховують зміну умов буріння;
- дослідження впливу параметрів ідентифікації на точність математичної моделі;
- розробка методу оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій;
- синтез алгоритмів та програмного забезпечення на основі розробленого методу;
- розробка методу та алгоритму прогнозування тривалості спуско-підймальних операцій на базі штучних нейронних мереж та його порівняльний аналіз з іншими методами;
- розробка методу побудови системи оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій та розробка інтерфейсу оператора системи.

Об'єктом дослідження є технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин роторним способом.

Предметом дослідження є автоматизовані системи керування процесом буріння нафтових і газових свердловин на основі методу та алгоритму визначення оптимальних неперервно-дискретних керувальних дій.

Методи дослідження. В основу виконаних досліджень покладено методи ідентифікації (для розробки узагальненої математичної моделі об'єкта автоматизації), повного факторного експерименту (для визначення параметрів математичної моделі), методи математичної статистики (для перевірки отриманих моделей на адекватність), теорії систем оптимального керування (для розв'язку задачі оптимального керування).

Наукова новизна одержаних результатів визначається наступним:

вперше:

- запропоновано метод оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, який дозволяє апроксимувати керувальні дії як функції часу простішими залежностями і створити передумови для побудови ефективних систем оптимального керування;

- розроблено метод побудови системи оптимального керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій на основі формалізації процесу буріння свердловини, ідентифікації параметрів узагальненої моделі, що спрощує процес технічної реалізації керувальних дій у режимі реального часу;

удосконалено

- стратегію ідентифікації параметрів математичної моделі, в основі якої, – на відміну від існуючих, які базуються на використанні нелінійних методів найменших квадратів, – лежить дослідження впливу параметрів ідентифікації на точність математичної моделі, що дало

можливість для сімейства моделей, які враховують геологічні та техніко-технологічні умови буріння, отримати ефективні алгоритми визначення їх параметрів:

дістало подальший розвиток

- математичне моделювання процесу буріння свердловини, що дало можливість створити його узагальнену математичну модель, яка на відміну від існуючих, що базуються на детерміновано-статистичних методах і враховують лише певний закон зміни механічної швидкості буріння, відображає причинно-наслідкові зв'язки між керувальними впливами і змінними стану об'єкта та є придатною для різних умов буріння, що дає можливість ефективно розв'язувати задачі ідентифікації параметрів моделі та оптимального керування за єдиними алгоритмами.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблені та досліджені алгоритми і програмне забезпечення для розв'язку задачі оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій;

- розроблені та досліджені алгоритми прогнозування часу спуско-підймальних операцій на базі квадратичних формул та штучних нейромереж;

- запропоновані алгоритми і програми, адаптовані для промислового використання в системі контролю і керування процесом буріння СКУБ-М2 (акт від 23.05.2007р.) ;

- окремі розділи дисертаційної роботи використані у навчальному процесі при вивченні дисципліни "Спеціалізовані комп'ютерні системи" (акт від 17.07.2007р.) студентами спеціальності 6.091500 – комп'ютерні системи та мережі.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати та положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані автором особисто. У роботах, написаних у співавторстві, здобувачу належить: у роботі [1] – аналітичний розв'язок задачі оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій; [2] – створення узагальненої математичної моделі процесом буріння нафтових і газових свердловин; [3] – визначення коефіцієнту чутливості для різних типів математичної моделі; [4] – розробка програмного забезпечення для розв'язку задачі оптимального керування; [6] – здійснено аналіз існуючих математичних моделей для визначення часу спуско-підймальних операцій; [7] – обґрунтовано вибір критерію оптимальності при розробці алгоритмів оптимального керування; [10] – аналітичне дослідження зміни коефіцієнту чутливості для різних числових методів; [11] – обґрунтування вибору методу оптимального керування процесом буріння свердловини; [12] – проведення ідентифікації параметрів узагальненої математичної моделі методом ортогоналізації; [13] – проведення порівняльного аналізу методів оптимального керування.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались і одержали позитивну оцінку на: VII міжнародній конференції "КУСС-2003" (Вінниця, 2003) [7]; 11 міжнародній конференції по автоматичному управлінню "Автоматика-2004" (Київ, 2004) [11]; 13 міжнародній конференції по автоматичному управлінню "Автоматика-2006" (Вінниця, 2006) [13]; міжнародній науково-практичній конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології" (Чернівці, 2004) [9]; I міжнародній науковій конференції "Теорія та методи обробки сигналів" (Київ, 2005) [12]; VII міжнародній науково-практичній конференції "Наука і освіта" (Дніпропетровськ, 2004) [8]; Всеукраїнській науковій конференції "Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики" (Львів, 2004) [10].

Публікації. Основні результати дисертації викладені у 13 публікаціях, у тому числі в 6 наукових статтях [1-6], у виданнях, що входять до переліків ВАК України (1 одноосібна), та у 7 тезах [7-13] Міжнародних, Всеукраїнських науково-технічних конференціях (2 одноосібні).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Обсяг дисертації – 142 сторінки. Дисертація містить 26 рисунків, 20 таблиць і 158 посилань на літературні джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* розглянуто стан наукової проблеми та її значущість, обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок із науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та основні задачі вибраного напрямку дослідження, подано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, визначено особистий внесок здобувача та наведено дані про впровадження результатів роботи, її апробацію та публікації.

У *першому розділі* описаний процес спорудження свердловини, охарактеризована бурова установка, як об'єкт автоматизованого керування, перелічені параметри, які є визначальними для даного процесу. Показано, що бурова установка представляє собою складну динамічну систему з багатьма каналами передачі як керувальних впливів, так і збурень, зумовлених взаємодією системи з навколишнім середовищем і унікальними властивостями самої бурової установки. Виявлені та охарактеризовані головні керувальні впливи процесу буріння свердловини: осьове навантаження на долото $F(t)$ та швидкість його обертання $N_{\omega}(t)$, які повинні задовільняти умовам керованості і незалежності. Показано, що першій вимозі задовільняють всі способи буріння: роторне, турбінне та електробуріння, а другій – тільки роторне для приводів ротора з жорсткими механічними характеристиками та електробуріння.

В зв'язку з невизначеністю, складним взаємозв'язком показників і параметрів дати строгий математичний опис процесу буріння практично неможливо. Цим пояснюється наявність великої кількості наближених математичних моделей, запропонованих різними авторами (Семенцов Г.Н., Горбійчук М.І., Ситніков Н.Б., Бражніков В.А., Фурне А.А., Мислюк М.А. та ін). Не дивлячись на різноманітність таких моделей, в них можна виділити загальну тенденцію до використання найпростіших функцій з невеликою кількістю коефіцієнтів, які необхідно визначити в стендових або промислових умовах. У будь-якій математичній моделі процесу буріння центральними елементами є рівняння механічної швидкості проходки, а також знос озброєння та опір долота.

Задача оптимального керування процесом буріння свердловин включає в себе вибір критерію оптимальності та його алгоритмічну і технічну реалізацію.

Проведений аналіз сучасного стану оптимального керування процесом буріння показав, що перевага надається критерію мінімізації вартості будівництва свердловини, оскільки він враховує прямі економічні показники процесу і прийнятний у галузі як основний.

Визначено, що зміна оптимальних керувальних дій, які мінімізують вартість метра проходки, має постійний або змінний у часі нелінійний характер. Реалізація змінних керувальних дій при сучасному розвитку бурової техніки викликає значні технічні труднощі, а в більшості випадків і неможлива. При керувальних діях, які мають постійний характер, не досягаються

потенційні можливості долота. Тому практичне значення має реалізація оптимального керування, при якому керувальні дії будуть змінюватися поступово, що легко реалізувати на практиці.

Вибрано і обгрунтовано напрямок досліджень з метою створення методів і алгоритмів оптимізації процесу буріння свердловин і на їх базі синтез комп'ютерної системи оптимального керування процесом буріння нафтових та газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій.

Другий розділ роботи присвячений розробці узагальненої математичної моделі процесу буріння свердловин у просторі станів, координатами якого є проходка на долото h і змінні, що характеризують стан озброєння долота і його опори

$$\frac{dh}{dt} = \frac{v_0}{\varphi^r}, \quad (1)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = K_\varphi \varphi^s, \quad (2)$$

де $\varphi = \frac{v_0}{v_r}$ - 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 (параметр K_R, K_v, K_c або K_g).

Початкові умови для моделі (1) і (2) визначають з фізичного змісту процесу буріння. Очевидно, що на початку буріння, коли $t=0$, проходка на долото нульова і $v_r = v_0$. Це дає можливість записати

$$h(0) = 0; \varphi(0) = 1. \quad (3)$$

Для завершення математичного опису процесу буріння до рівнянь (1) і (2) необхідно залучити співвідношення, яке характеризує стан опор шарошкового долота (Семенцов Г.Н., Горбійчук М.І.)

$$\frac{dg}{dt} = K_g, \quad (4)$$

$$g(0) = 0, \quad (5)$$

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

Таким чином, рівняння (1), (2) і (4) утворюють узагальнену математичну модель процесу буріння з початковими умовами (3) та (5).

У даній роботі показано, що різні за структурою математичні моделі процесу буріння свердловини є близькими за структурою і ґрунтуються на допущенні, що внаслідок зношення озброєння долота механічна швидкість проходки змінюється за певним законом. У табл. 1 для найбільш розповсюджених залежностей зміни механічної швидкості в часі: лінійної (модель А), експоненціальної (модель В), гіперболічної (модель С) та кореневої (модель D), які з достатньою точністю обчислюють механічну швидкість v_r , наведені відповідні рівняння для обчислення проходки на долото $h(t)$ як функції фазової координати, яка відображає стан озброєння долота.

Перевагою узагальненої моделі є те, що вона охоплює шлий клас моделей (табл. 1), які адекватні умовам буріння. Крім того, змінні стану піддаються спостереженню безпосередньо в процесі буріння.

Таблиця 1

Рівняння механічної швидкості та проходки на долото

Модель	Механічна швидкість, $v_t(t)$	Проходка на долото, h
A	$v_t = v_0(1 - K_R t)$	$h = \frac{v_0}{2K_R}(\xi_0^2 - \xi^2) + h_0; \xi = \frac{v_t}{v_0}$
B	$v_t = v_0 e^{-K_v t}$	$h = \frac{v_0}{K_v} \left(\frac{1}{\theta_0} - \frac{1}{\theta} \right) + h_0; \theta = \frac{v_0}{v_t}$
C	$v_t = \frac{v_0}{1 + K_\varepsilon t}$	$h = \frac{v_0}{K_\varepsilon} \ln \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} + h_0; \varepsilon = \frac{v_0}{v_t}$
D	$v_t = \frac{v_0}{\sqrt{K_q t + 1}}$	$h = \frac{2v_0}{K_q} (\zeta^{-1/2} - \zeta_0^{-1/2}) + h_0; \zeta = \left(\frac{v_0}{v_t} \right)^2$

Як приклад, наведемо дискримінацію сукупності моделей А, В, С та D для умов буріння свердловини “Микуличин – 39” Прикарпатського УБР. Буріння проводилось на глибині від 1900 до 3200 метрів роторним способом тришаршковим долотом. При бурінні вказаного діапазону глибини свердловини було використано 42 долота. Вимірювалася проходка на долото при постійних значеннях осевого навантаження на долото і швидкості його обертання.

Точність моделі розраховували за оціночним значенням дисперсії

$$\sigma^2 = -\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_i^2 - h_i^2),$$

де H_i – експериментальні значення проходки; h_i – розрахункові значення проходки; N – кількість експериментальних точок.

Аналіз результатів обчислень показав, що 30 % моделей апроксимують результати експерименту з оцінкою дисперсії $\sigma^2 \leq 10^{-4}$. В 26 % моделей, виражених експоненціальною та гіперболічною залежностями, точність обчислень співпадає на певних діапазонах глибин буріння свердловини і є найвищою. В усіх інших випадках кожний інтервал буріння найкраще апроксимує одна із сукупності моделей. Отже, не існує єдиної моделі, яка б найточніше описувала зміну механічної швидкості проходки в часі по всій глибині свердловини.

З метою ідентифікації параметрів узагальненої моделі проводились експериментальні дослідження за певним планом

$$U = \left\{ \begin{matrix} \bar{u}^{(1)}, & \bar{u}^{(2)}, & \dots, & \bar{u}^{(N)} \\ r_1, & r_2, & \dots, & r_N \end{matrix} \right\}, \quad (6)$$

де $\bar{u}^{(j)}$, $j = \overline{1, N}$ – точки плану експерименту (спектру); $\bar{u}^j = (F, N_j)$; r_j – частота проведення експерименту у відповідних точках спектру; U – простір планування.

При вирішенні задачі ідентифікації були зроблені такі припущення:

– увесь інтервал буріння розбивається на пачки, в межах яких фізико-механічні властивості порід залишаються незмінними;

– ідентифікація параметрів математичної моделі ведеться з використанням інтегрального показника проходки на долото $h(t)$, тому миттєві значення вхідних величин – осьового навантаження на долото та швидкості його обертання замінюють їхніми середніми значеннями.

Оскільки для ідентифікації використовується інтегральний показник проходки h , то для кожної з моделей подамо проходку як функцію фазової координати, яка відображає стан озброєння долота (див. табл. 1).

З табл. 1 випливає, що всі моделі мають однакову структуру, яку можна подати в такому вигляді:

$$h = v_0 \phi(K_\varphi, \varphi) + h_0, \quad (7)$$

де $\phi(K_\varphi, \varphi)$ – функція, що визначається із табл. 1 і залежить від типу вибраної моделі.

Запропонована стратегія ідентифікації параметрів математичної моделі полягає в тому, що на першому етапі за результатами пробного буріння мінімізується функція нев'язки

$$J(\bar{c}^{(j)}) = \sum_{i=1}^{N^{(j)}} \left(\Delta H_i^{(j)} - h_i^{(j)} \left(\bar{c}^{(j)} \right) \right)^2, \quad j = \overline{1, N}, \quad (8)$$

де $\bar{c}^{(j)} = (v_0, K_\varphi)$ – вектор параметрів моделі (1), (2); $\Delta H_i^{(j)} = H_i^{(j)} - H_0^{(j)}$; $H_0^{(j)}$ – значення проходки на початок j -го експерименту ($H_0^{(j)} = 0$); $N^{(j)}$ – кількість відліків значень проходки на інтервалі часу $t \in [t_0^{(j)}, t_k^{(j)}]$.

Мінімізація критерію (8) за змінними v_0 і K_φ дає можливість отримати таку систему рівнянь:

$$v_0^{(j)} = \frac{\sum_{k=0}^{N^{(j)}} \Delta H_k^{(j)} \phi(K_\varphi^{(j)}, \varphi_k^{(j)})}{\sum_{k=0}^{N^{(j)}} \phi^2(K_\varphi^{(j)}, \varphi_k^{(j)})}, \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^{N^{(j)}} \left(\Delta H_i^{(j)} - \frac{\sum_{k=0}^{N^{(j)}} \Delta H_k^{(j)} \phi(K_\varphi^{(j)}, \varphi_k^{(j)})}{\sum_{k=0}^{N^{(j)}} \phi^2(K_\varphi^{(j)}, \varphi_k^{(j)})} \phi(K_\varphi^{(j)}, \varphi_i^{(j)}) \right) \frac{\partial \phi(K_\varphi^{(j)}, \varphi_i^{(j)})}{\partial K_\varphi^{(j)}} = 0. \quad (10)$$

Рівняння (10) є нелінійним, його можна розв'язати одним із числових методів. Розв'язком рівняння (10) є значення $K_\varphi^{(j)}$, підставляючи яке у вираз (9), знаходимо $v_0^{(j)}$.

На першому етапі важливо встановити чутливість алгоритму ідентифікації до зміни параметрів v_0 і K_φ моделі (1) і (2) і на цій основі оцінити вплив точності визначення цих параметрів на обчислення значень проходки у відповідності з рівнянням (7). В табл. 2 подано значення відносного показника чутливості $I = \frac{i_{K_\varphi}}{i_{v_0}}$ для досліджуваних моделей, де $a = \frac{v_0}{K_\varphi}$, $i_{v_0} = \frac{\partial h}{\partial v_0}$, $i_{K_\varphi} = -\frac{\partial h}{\partial K_\varphi}$ – коефіцієнти чутливості.

У залежності від того, яке з двох співвідношень $|I(a, h)| > 1$ чи $|I(a, h)| < 1$ задовільняється, будемо мати різний вплив параметрів v_0 і K_φ на значення проходки для різних моделей. У

випадку, коли $|i_{K\varphi}| > |i_{v_0}|$, чутливість моделей А, В, С та D до параметра K_φ вища, ніж до параметра v_0 . Це означає, що похибки обчислення параметра K_φ будуть значно більше впливати на залежність $h(t)$, ніж похибки обчислення v_0 . В іншому випадку, коли $|i_{K\varphi}| < |i_{v_0}|$ матимемо протилежний результат.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта чутливості для досліджуваних моделей

Модель	Значення коефіцієнта чутливості
A	$I(h, a) = a \left(\frac{a}{h} \left(1 - \sqrt{\frac{a-2h}{a}} \right)^2 - 1 \right)$
B	$I(h, a) = -a \left(\frac{a}{h} \ln \left(1 - \frac{h}{a} \right) \left(1 - \frac{h}{a} \right) + 1 \right)$
C	$I(a, h) = a \left(\frac{a(e^{h/a} - 1)}{he^{h/a}} - 1 \right)$
D	$I(h, a) = a \left(\frac{a \left(\left(\frac{h}{2a} + 1 \right)^2 - 1 \right)}{h \left(\frac{h}{2a} + 1 \right)} - 1 \right)$

На рис. 1 показані аналітичні залежності $I(a, h)$, побудовані для різних значень a за експериментальними даними. Видно, що для малих значень h ($h \leq 2$) вплив параметрів v_0 і K_φ на моделі (табл. 1) майже однаковий. При збільшенні h має місце співвідношення $|I(a, h)| > 1$, тобто вплив параметра K_φ на обчислення проходки $h(t)$ є більш значимим, ніж відповідний вплив параметра v_0 . Отримані результати підтверджують висновок про те, що для ідентифікації параметрів математичної моделі (1) і (2) доцільно використовувати проходку $h(t)$ на долото, а не значення механічної швидкості, яку отримують шляхом диференціювання $h(t)$. Остання операція збільшує випадкову складову в обчисленні швидкості проходки, що призводить до значних похибок у визначенні показника K_φ .

На другому етапі ідентифікації для визначення залежностей $v_0(F, N_d)$, $K_\varphi(F, N_d)$ і $K_x(F, N_d)$ вибрана структура у вигляді рівнянь регресії $x = \bar{a}^T \cdot \bar{f}(\bar{u})$, $\bar{u} \in E^n$, де $\bar{f}(\bar{u})$ - вектор-функція, компоненти якої $f_1(\bar{u}), f_2(\bar{u}), \dots, f_k(\bar{u})$, - відомі функції; $\bar{u}(F, N_d)^T$ - вектор керувальних дій; \bar{a}^T - коефіцієнти математичної моделі. Для обчислення вектора параметрів \bar{a} моделей вибрано метод ортогоналізації, який дає можливість визначити необхідну структуру моделі, виходячи із заданої точності апроксимації.

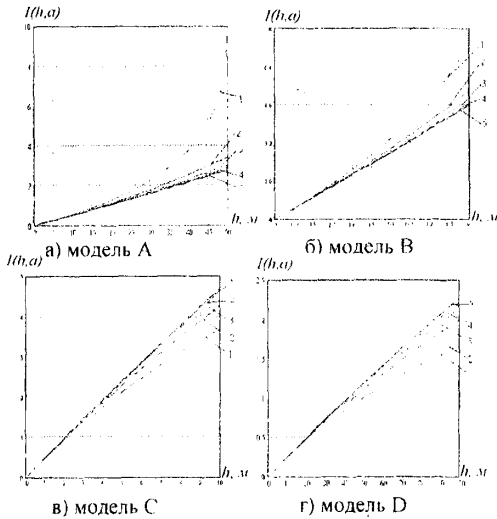


Рис. 1. Графіки залежності $I(h, a)$ для різних моделей
 1 - $a=10$; 2 - $a=20$; 3 - $a=30$; 4 - $a=40$; 5 - $a=50$.

якість бурового розчину визначені. За цих умов необхідно визначити такі значення керувальних дій, щоб вибраний критерій оптимальності набув мінімального (максимального) значення.

При роторному бурінні реалізація оптимальних керувальних дій неможлива, оскільки швидкість обертання долота $N_d(t)$ можна змінювати лише дискретно. Тому практичне значення має апроксимація залежностей $F(t)$ і $N_d(t)$ графіками, які легко реалізувати на практиці. Таке керування дещо збільшить вартість метра проходки свердловини і по суті буде наближеним до оптимального.

Математична модель процесу і відповідні критерії оптимальності містять невідомі параметри у вигляді коефіцієнтів, які можуть бути отримані в результаті попереднього теоретичного і експериментального дослідження. Але процес буріння свердловини як об'єкт керування є нестационарним, що проявляється у зміні фізико-механічних властивостей гірських порід. Тому для розв'язку задачі оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій зробимо такі допущення:

- витрата промивної рідини є достатньою для задовільного очищення вибою свердловини;
- вся глибина свердловини розбивається на інтервали (пачки), всередині яких фізико-механічні властивості порід вважаються незмінними;
- тривалість рейсу буріння обмежена терміном служби озброєння долота або його опори;
- оперативний вплив на техніко-економічні показники процесу буріння здійснюється шляхом зміни осевого навантаження на долото і швидкості його обертання.

У третьому розділі

поставлена і вирішена задача оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій.

При оптимізації процесу механічного буріння задача полягає у виборі типу долота, кількості і якості бурового розчину та режимних параметрів F і N_d . Для цього необхідна апріорна інформація у вигляді критерію оптимальності, математичної моделі процесу буріння та обмежень на технологічні параметри. Задачі вибору типу долота, кількості і якості бурового розчину розв'язуються окремо. Тому будемо вважати, що тип долота, кількість і

Метод оптимального керування процесом буріння з дискретно-неперервною зміною керувальних дій допускає, що керувальні дії F і N_d підтримуються постійними на деякому інтервалі часу $\Delta t_{ni} = t_{ni} - t_{ni-1}$, а в момент часу t_{ni} одна з керувальних дій або обидві керувальні дії стрибкоподібно змінюють своє значення на інші, які будуть постійними для наступного інтервалу часу. Припустимо, що відома кількість моментів t_{ni} , в які відбуваються перемикання і обмеження на керувальні дії

$$\bar{u}_{\min} \leq \bar{u} \leq \bar{u}_{\max}, \quad (11)$$

де $\bar{u}^T = (f, n_d)$ - вектор керувальних дій; $f = \frac{F}{F_{\max}}$; $n_d = \frac{N_d}{N_{d,\max}}$.

На рис. 2 показаний один із можливих варіантів перемикання керувальних впливів із одного рівня на інший, а також зміна в часі t проходки на долото $h(t)$. Наприклад, для $N_k = 3$ маємо два значення часу перемикання t_{n1} , t_{n2} , які ділять тривалість рейсу t_B на три інтервали, для кожного з яких рівняння (1) і (2) набудуть такого вигляду:

$$\frac{dh^{(i)}}{dt} = \frac{v^{(i)}(\bar{u}^{(i)})}{\varphi^{(i)r}}, \quad (12)$$

$$\frac{d\varepsilon^{(i)}}{dt} = K_{\varphi}^{(i)}(\bar{u}^{(i)})\rho^{(i)s}, \quad (13)$$

з граничними умовами:

$$h_0^{(i)} = 0; h_i^{(i)} = h_1^{(i-1)}; \varphi_0^{(i)} = 1; \varphi_i^{(i)} = \varphi_1^{(i-1)}, i = \overline{2, N_k} \quad (14)$$

де $h^{(i)}$, $\varphi^{(i)}$ - прохідка і оцінка стану озброєння долота, які відносяться до i -того інтервалу; "0" і "1" - індекси, що означають початок і кінець i -того інтервалу.

Знайдено такі значення величин t_{ni} , $i = \overline{1, N_k - 1}$ і значення керувальних дій $f^{(i)}$ і $n_d^{(i)}$ на кожному інтервалі часу Δt_i , $i = \overline{1, N_k}$, щоб вартість метра проходки на долото була мінімальною.

Розв'язок задачі оптимального керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій було реалізовано за одним із можливих критеріїв оптимальності:

1) критерій вартості метра проходки **min: q**

$$q(\bar{u}) = \frac{c_{2i} \left(\sum_{i=1}^{N_k} \Delta t_i + t_{cu} \right) + d}{\sum_{i=1}^{N_k} \Delta h_i(\bar{u})}, \quad (15)$$

2) критерій максимуму рейсової швидкості **max: v_p**

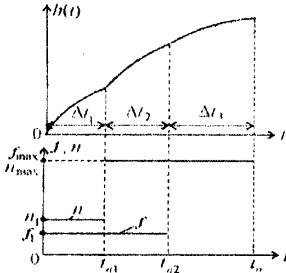


Рис. 2. Графіки зміни проходки $h(t)$ і керувальних дій \bar{u} в часі t при оптимальному керуванні з дискретно-неперервною зміною керувальних дій

$$v_p(\bar{w}) = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} \Delta h_i(\bar{w})}{\sum_{i=1}^{N_k} \Delta t_i + t_{em}} \quad (16)$$

де N_k – кількість інтервалів розбиття відрізка $[0, t_{em}]$; \bar{w} – вектор, компоненти якого змінні Δt_i і $\bar{w}^{(i)}$, $i=1, N_k$, які повинні бути обчислені в результаті мінімізації (максимізації) критерію оптимальності (15) або (16) з урахуванням обмежень (11) на керувальні дії.

Оскільки, в структуру критерію оптимальності, за яким здійснюється процес буріння входить час спуско-підіймальних операцій (СПО), то зроблено порівняльний аналіз прогнозів тривалості СПО за допомогою постійної, лінійної, квадратичної моделей та за допомогою штучних нейромереж. Показано, що квадратична модель найточніше передбачає тривалість СПО. Точність прогнозу за допомогою нейромережі знаходиться між постійною і лінійною моделями. Це пояснюється тим, що для навчання нейромережі необхідна порівняно довга вибірка даних. Слід очікувати, що зі збільшенням обсягу такої вибірки, точність прогнозу за допомогою нейромережі буде вищою.

Із типових методів, з точки зору швидкості збіжності до оптимуму задачі, найбільш ефективним є градієнтні методи. Оскільки сумарна проходка на долото у формулах (15) і (16) обчислюється через рекурентні співвідношення, то знаходження градієнта функції $J(\bar{w})$ пов'язано зі значними труднощами. Тому для реалізації алгоритму розв'язку задачі $\min J(\bar{w})$ був використаний метод безградієнтного пошуку мінімуму функції $J(\bar{w})$ (алгоритм Нелдера-Міда).

Для перевірки ефективності і працездатності алгоритму оптимального керування процесом

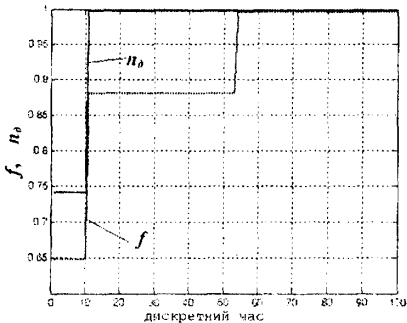


Рис. 3. Графіки зміни дискретно-неперервних керувальних дій при оптимальному керуванні

буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій на свердловині №3 Бугруватівського родовища Прикарпатського УБР був спланований і проведений активний експеримент.

Свердловину бурили роторним способом тришарошковим долотом 215,9 СЗГВ в інтервалі глибин 2773-2776 м. Осьове навантаження на долото і швидкість його обертання змінювали у відповідності зі D -планом.

Експериментально визначено проходку на долото, осьове навантаження, швидкість обертання ротора, які використано як вхідні дані алгоритму ідентифікації і момент на роторі для визначення часу відпрацювання доліт.

Результати обчислень значень f і n_b при оптимальному керуванні з дискретно-неперервною зміною керувальних дій показані на рис. 3, з якого видно, що у момент часу $t_{n1} = 3,57 \text{ год}$ відбулася стрибкоподібна зміна осьового навантаження на долото зі значення $f = 0,64$ до значення $f = 0,87$, а в момент часу $t_{n2} = 29 \text{ год}$ зі значення $f = 0,87$ до $f = 1$.

Швидкість обертання долота n_d змінюється теж стрибкоподібно, але тільки один раз у момент часу $t_{n1} = 3,57 \text{ год}$ зі значення $n_d = 0,74$ до $n_d = 1$.

Для оцінки ефективності оптимального керування процесом буріння з дискретно-неперервною зміною керувальних дій проведено порівняння його з оптимальним керуванням, коли f і n_d є певними функціями часу та у випадку, коли вони є сталими величинами. Неперервні оптимальні керувальні дії знайдено, виходячи з умови мінімізації критерію оптимальності

$$R(\bar{x}, \bar{u}) = J(h(t_0), t_0), \quad (17)$$

де $\bar{x}^T = (h, \varphi, g)$ – вектор стану об'єкта; $J(h(t_0), t_0)$ – значення одного з критеріїв оптимальності – рейсової швидкості v_p , вартості одного метра проходки свердловини q чи проходки на долото h .

Для розв'язку задачі оптимального керування, коли f і n_d є певними функціями часу, використано принцип максимуму Л.С. Понтрягіна, у відповідності з яким мінімізація критерію оптимальності (17) при виконанні умов (1)-(6) визначається наступним чином:

$$K(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{\psi}(t)) = \max_{u(t)} K(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{\psi}(t)), \quad (18)$$

де $K(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{\psi}(t)) = \sum_{i=1}^N \psi_i(t) f_i(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$ – функція Гамільтона; N – кількість змінних стану об'єкта; $\bar{\psi}(t)$ – вектор спряжених змінних; $\bar{x}(t)$ – вектор змінних стану об'єкта; $f_i(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$ – функції, що є правими частинами математичної моделі (1) – (2) і (4).

Спряжені змінні $\psi_i(t), i = 1, \bar{N}$, визначаються із системи диференціальних рівнянь

$$\frac{d\psi_i}{dt} = - \frac{\partial K(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{\psi}(t))}{\partial x_i}, \quad i = 1, \bar{N}, \text{ розв'язавши яку, отримаємо:}$$

$$\psi_1(t) = \psi_1^{(0)} = \text{const}; \quad (19)$$

$$\psi_2(t) = e^{-\int_0^t K_x(\bar{u}(\theta)) \varphi^{-1}(\theta) d\theta} \left\{ \psi_2^{(0)} + s \psi_1^{(0)} \int_0^t v_0(\bar{u}(\theta)) \varphi^{-1}(\theta) \cdot e^{\int_0^\theta K_x(\bar{u}(\tau)) \varphi^{-1}(\tau) d\tau} d\theta \right\}; \quad (20)$$

$$\psi_3(t) = \psi_3^{(0)} = \text{const}. \quad (21)$$

Знайдені значення спряжених змінних дають можливість записати функцію Гамільтона в такому вигляді:

$$K(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{\psi}(t)) = \psi_1^{(0)} v_0(\bar{u}) \varphi^{-1}(\bar{u}) + \psi_2(t) K_\varphi(\bar{u}) \varphi^r(t) + \psi_3^{(0)} K_g(\bar{u}). \quad (22)$$

Вираз (22) дає можливість зробити висновок, що можна отримати єдиний алгоритм оптимізації однаковий для всіх критеріїв оптимальності і для заданого класу моделей. Перехід до моделі чи критерію оптимальності другого типу не приводить до зміни алгоритму, а лише до продовження обчислювального процесу за іншими формулами.

Таким чином, визначення оптимальних керувальних дій $u^*(t)$ за допомогою принципу максимуму Л.С. Понтрягіна трансформуються в розв'язок двоточкової крайової задачі (1)-(3), (19)-(20) і мінімізації функції Гамільтона (22).

Для перевірки працездатності та ефективності алгоритму оптимального керування використано дані активного експерименту, що і при розв'язуванні задачі оптимального керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій (рис. 4).

При незмінних керувальних діях постійними будуть і величини v_0 , K_φ і K_κ , що дозволяє записати критерій оптимальності (17) у такому вигляді

$$q(\bar{u}) = \frac{c_{\bar{a}} \left(\frac{g_\kappa}{K_\kappa(\bar{u})} + t_{\text{ст}} \right) + d}{v_0(\bar{u}) \eta \left(\frac{K_\varphi(\bar{u}) g_\kappa}{K_\kappa(\bar{u})} \right)} \quad (23)$$

де $\eta \left(\frac{K_\varphi(\bar{u}) g_\kappa}{K_\kappa(\bar{u})} \right)$ - функція, яка залежить від типу вибраної моделі.

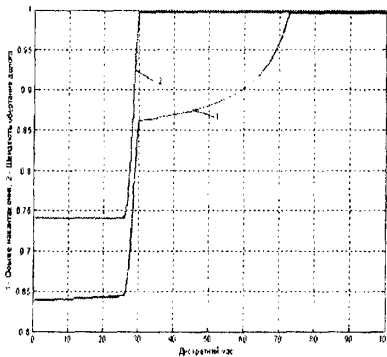


Рис. 4. Графіки зміни керувальних дій як функцій часу

Таким чином, задача оптимального керування процесом буріння свердловини при постійних керувальних діях протягом рейсу долота зводиться до мінімізації критерію оптимальності (23) з урахуванням обмежень (11). У результаті розв'язку сформульованої задачі оптимізації були отримані такі значення керувальних дій: $f = 0.89$; $n_0 = 1$.

Реалізація змінного в часі керування в порівнянні з режимом, коли $\bar{u} = const$, дозволила зменшити вартість проходки на 2,7 %, а оптимальне керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій на 1,5 %.

Порівнявши між собою результати, отримані при різних методах керування, можна

зробити висновок, що найгірші результати отримані при керуванні процесом буріння свердловин із постійними керувальними діями, а найменшу вартість проходки забезпечує керування, при якому осьове навантаження на долото і швидкість його обертання є функціями часу. З точки зору технічної реалізації найпростіше реалізувати оптимальне керування, при якому керувальні дії є постійними протягом рейсу долота, дещо складнішим є метод зі ступінчастою зміною керувальних дій; реалізація змінних у часі керувальних дій зумовлена значними технічними труднощами. Отже, у поєднанні з техніко-економічними показниками найбільш ефективним є використання оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій.

У *четвертому розділі* розглянуті питання створення комп'ютерної системи оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій.

Оптимальна комп'ютерна система керування буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій (рис.5) складається із серійної системи контролю

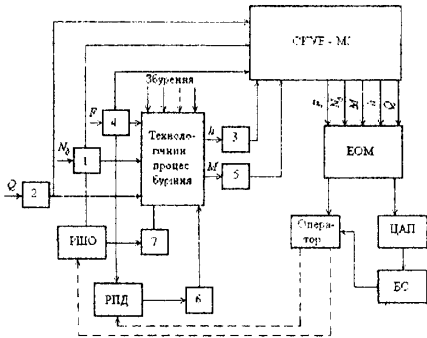


Рис. 5. Структурна схема оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій:

1 - датчик швидкості обертання ротора; 2 - датчик витрати бурового розчину; 3 - датчик проходки; 4 - датчик осьового навантаження; 5 - датчик крутного моменту на роторі; РПД - регулятор подоби долота; 6 - реєструючий пристрій регулятора подоби долота; РШО - регулятор швидкості обертання ротора; 7 - виконавчий механізм регулятора швидкості обертання ротора; ЦАП - цифрово-аналоговий перетворювач; БС - блок сигналізації


і управління процесом буріння СКУБ-М2: пристрою перетворення цифрових сигналів у аналогові (ЦАП); блоку сигналізації (БС); ЕОМ для віртуального відтворення інформації про процес буріння свердловин.

Сигнали від датчів через кросовий пристрій СКУБ, де вони перетворюються до уніфікованого вигляду 0-10 В, та через інтерфейс вводу-виводу RS-485/RS-232 поступають в ЕОМ. Одна частина сигналів використовується постійно для контролю і відтворення інформації, друга – сигнали, які поступають від датчів СКУБ, оператора та від таймерів – для розрахунків. Результати розрахунку – очікувані значення оптимальних режимних параметрів і часу буріння – візуалізуються на екран монітора ЕОМ.

Взаємодія комплексу СКУБ-М2 та оптимізаційного модуля пояснюється структурною схемою, наведеною на рис. 6.

Контролер ПЗОД формує масив даних про процес буріння, який по інтерфейсу передається на пристрій реєстрації інформації, де отримана інформація реєструється і архівується в базі даних

(БД), що містить 21 параметричну таблицю для збереження вимірених та розрахованих технологічних параметрів процесу буріння. Для розв'язку задач ідентифікації та оптимального керування з БД як вхідні параметри вибираються набори значень осьового навантаження на долото, швидкості обертання долота, часу та проходки, які передаються до оптимізаційного модуля, загальний механізм функціонування якого представлений у вигляді схеми на рис. 7.

Для інтеграції оптимізаційного модуля в інформаційно вимірвальний комплекс (ІВК) на інструментальній панелі останнього було додано піктограму 'Консультація' , а також одноіменний пункт в розділ меню 'Режими роботи'.

Розроблено програмне забезпечення системи, яке включає в себе підпрограми ідентифікації параметрів математичної моделі, обчислення керувальних дій, часу перемикань режимних параметрів та часу буріння.

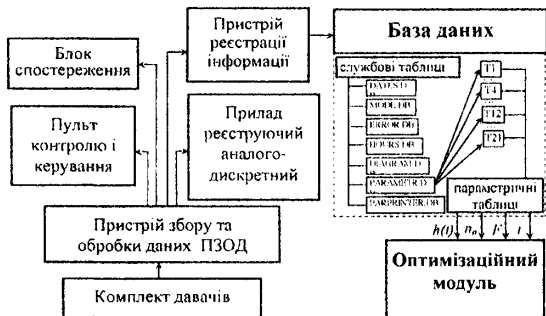


Рис. 6. Структурна схема взаємодії оптимізаційного модуля з комплексом СКУБ-М2

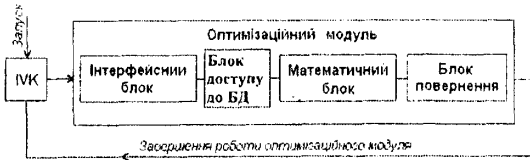


Рис. 7. Схема роботи модуля оптимізації

Програмне забезпечення задачі оптимального керування процесом буріння з дискретно-неперервною зміною керувальних дій оформлене у вигляді прикладного програмного модуля, в який інтегрована низка програмних продуктів, об'єднаних інтегратором написаним на мові C++. Прикладна програма забезпечує функції вибору та відображення інформації на екрані монітора автоматизованого робочого місця. За допомогою клавіш меню, які розміщені на віртуальній передній панелі, оператор може викликати відеокадри параметрів, графіків, щоденників подій та інше. Програми оптимізаційного модуля працюють в режимі порадника.

Таким чином, запропонована система керування забезпечує інформаційну підтримку задачі оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій та реалізацію оперативного керування в режимі реального часу.

У додатках наведені програмні продукти оптимізації процесу буріння нафтових і газових свердловин, акти про впровадження результатів досліджень та проведення експерименту.

ВИСНОВКИ

У дисертації на основі проведених досліджень розв'язано актуальну науково-технічну задачу, яка полягає в розробці комп'ютерної системи оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин роторним способом з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, що дає змогу знайти оптимальні значення керувальних дій та прогнозувати час буріння протягом рейсу одного долота. Вирішення цієї задачі має важливе значення у нафтогазодобувній галузі, оскільки дозволяє оптимізувати процес буріння з урахуванням технічних можливостей бурової установки. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. На основі проведеного аналізу сучасного стану проблеми оптимізації процесу буріння встановлено, що існує цілий ряд моделей, в основі яких лежать різні закони зміни механічної швидкості, що вимагає для кожного із них розробляти як алгоритми ідентифікації параметрів моделей, так і алгоритми оптимального керування процесом буріння. Окрім того, реалізація алгоритмів оптимізації, за допомогою яких отримують змінні у часі керувальні дії, викликає значні технічні труднощі, а іноді є неможливою. Тому перспективними є створення узагальнених математичних моделей, які є придатними для різних умов буріння, методів ідентифікації їх параметрів та методів оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, які дозволяють проводити процес буріння з керувальними діями, близькими до оптимальних.

2. Створена узагальнена математична модель процесу буріння свердловин, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки між керувальними діями і змінними стану об'єкта, що дає можливість ефективно розв'язувати задачу ідентифікації параметрів моделі за єдиним алгоритмом, який не залежить від вигляду функції механічної швидкості проходки. Проведене

комп'ютерне моделювання алгоритмів ідентифікації параметрів моделі показало, що похибка в обчисленні МНК-оцінок лежить в межах до 5%.

3. На основі аналітичних досліджень чутливості алгоритмів ідентифікації до параметрів v_0 та K_φ узагальненої математичної моделі доведено, що при розробці алгоритмів ідентифікації перевагу слід надавати тим алгоритмам, які забезпечують підвищену точність обчислення K_φ .

4. Вперше розглянуто і розв'язано задачу оптимального керування процесом роторного буріння з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, яка дає можливість спростити технічну реалізацію оптимальних керувальних дій, завдяки чому досягається здешевлення і прискорення будівництва свердловин. Для її ефективного розв'язку розроблено алгоритми оптимального керування процесом буріння для узагальненої математичної моделі, що спрощує процес створення програм, оскільки алгоритм не залежить від виду моделі, а змінюються тільки відповідні коефіцієнти. Для оцінки ефективності розроблених алгоритмів зроблено порівняльний аналіз методів оптимального керування, з якого випливає, що в співвідношенні за техніко-економічними показниками і за можливостями технічної реалізації алгоритмів, найкращим є метод оптимального керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій.

5. У результаті системного аналізу методів для прогнозування тривалості спуско-підймальних операцій (СПО) обґрунтована стратегія вибору математичної моделі та розроблений алгоритм розв'язку задачі визначення часу СПО. Удосконалено систему контролю і керування процесом буріння свердловин, яка базується на використанні серійного автоматизованого комплексу СКУБ-М2, з урахуванням алгоритмів оптимального керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, реалізація яких ведеться за двома керувальними діями. У режимі порадника надаються рекомендації щодо оптимальних значень режимних параметрів та визначаються моменти часу перемикання керувальних дій з одного рівня на інший.

6. Запропонована структура комп'ютерної системи, розроблено прикладний програмний продукт підтримки оптимізаційної задачі в АСК процесу буріння, який забезпечує поетапний розв'язок задачі оптимального керування з дискретно-неперервною зміною керувальних дій за єдиним сценарієм із можливістю інтегрування його в існуюче програмне забезпечення.

7. Для розв'язку задач оптимального керування процесом буріння свердловин за двома керувальними діями на базі узагальненої математичної моделі і алгоритмів ідентифікації розроблене програмне забезпечення, що дає змогу удосконалити існуючу систему автоматизованого контролю СКУБ-М2.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Субоптимальне керування процесом заглиблення свердловин // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №1. – С. 24-25.
2. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Моделювання та ідентифікація процесу заглиблення свердловин // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2004. – №1. – С. 7-9.
3. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Аналіз алгоритмів ідентифікації процесу заглиблення свердловин // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – №2. – С. 24-26.

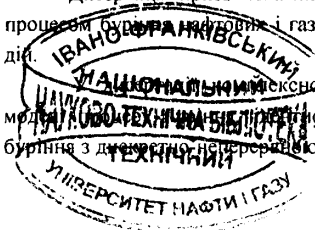
4. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Оптимальне керування процесом механічного буріння // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – №3. – С. 20-22.
5. Кропивницька В.Б. Дослідження точності механічної швидкості проходки процесу буріння свердловин // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2005. – №6. – С. 59-61.
6. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Прогнозування спуско-піднімальних операцій // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – №2(20). – С. 37-40.
7. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Метод і алгоритми оптимального керування процесу поглиблення свердловин // Контроль і управління в складних системах: VII Міжнародна конференція "КУСС-2003". Вінниця, 8-11 жовтня 2003. – Вінниця, 2003. – С. 153.
8. Кропивницька В.Б. Алгоритм вибору типу моделі механічної швидкості проходки // Наука і освіта: VII Міжнародна науково-практична конференція. Дніпропетровськ., 10-25 лютого 2004 р. – Дніпропетровськ. – 2004. – Т. 64. – С.53.
9. Кропивницька В.Б. Застосування методу послідовних наближень в задачах оптимізації процесу поглиблення свердловин // Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології: Міжнародна науково-практична конференція. Чернівці, 19-21 травня 2004р. – Чернівці; К.: Москва; Могилів, 2004. – С. 195-196.
10. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Визначення чутливості алгоритму ідентифікації до параметрів моделі процесу буріння // Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики: Всеукраїнська наукова конференція. Львів, 21-23 вересня 2004 р. – Львів, 2004. – С.52.
11. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Методи оптимального керування процесом буріння // Автоматика-2004: 11 Міжнародна конференція по автоматичному управлінню. Київ, 27-30 вересня 2004 р.– Київ, 2004. – Т.2. – С.11.
12. Кропивницька В.Б., Сабат Н.В. Стратегія ідентифікації параметрів математичної моделі процесу буріння // Теорія та методи обробки сигналів: Перша міжнародна наукова конференція. Київ, 25-27 травня 2005 р. – Київ, 2005. – С. 106-108.
13. Горбійчук М.І., Кропивницька В.Б. Порівняльний аналіз методів оптимального керування процесом буріння // Автоматика-2006: 13 Міжнародна конференція по автоматичному управлінню. Вінниця, 25-28 вересня 2006 р. – Вінниця, 2006. – С. 250.

АНОТАЦІЯ

Кропивницька В.Б. Оптимальне керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2007.

Дисертація присвячена питанням розробки методів і алгоритмів оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій. У дисертації вирішуються питання побудови узагальненої математичної моделі процесу буріння з дискретно-неперервною зміною керувальних дій та відпрацювання долота як за опорою, так і за підйомом.



так і за озброєнням, які в сукупності розв'язують значну наукову та прикладну задачу в галузі спорудження глибоких та газових свердловин.

Розроблені методи та алгоритми оптимального керування дозволяють створити комп'ютерну систему оптимального керування процесом з дискретно-неперервною зміною керувальних дій, що дає можливість досягти вищих техніко-економічних показників при бурінні свердловин.

Основні результати праці знайшли промислове впровадження в системі контролю і керування процесом буріння СКУБ-М2, а також в учбовому процесі.

Ключові слова: буріння, математичне моделювання, ідентифікація, коефіцієнт чутливості, критерій оптимальності, оптимальне керування, дискретно-неперервні керувальні дії, відпрацювання доліт.

АННОТАЦИЯ

Кривиницкая В.Б. Оптимальное управление процессом бурения нефтяных и газовых скважин с дискретно-непрерывным изменением управляющих воздействий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2007.

Диссертация посвящена вопросам разработки методов и алгоритмов оптимального управления процессом бурения нефтяных и газовых скважин с дискретно-непрерывным изменением управляющих воздействий.

В диссертации комплексно решаются вопросы математического моделирования, идентификации параметров модели, оптимального управления процессом бурения с дискретно-непрерывным изменением управляющих воздействий и отработки долот, как по вооружению, так и по опоре, которые в совокупности решают важную научную и прикладную проблему в области сооружения глубоких нефтяных и газовых скважин.

Характеристика процесса сооружения скважины с точки зрения управления показала, что буровая установка является сложной динамической системой со многими каналами передачи как управляющих воздействий, так и возмущений, которые обусловлены взаимодействием системы с окружающей средой и качеством бурильной установки. В связи с неопределенностью, сложной взаимосвязью показателей и параметров, невозможно дать строгое математическое описание процесса бурения, чем и объясняется большое количество приближенных моделей. Экспериментальное исследование моделей разного вида показало, что не существует единственной модели, которая бы наиболее точно описывала изменение механической скорости во времени на всем интервале бурения. С целью охвата целого класса моделей, адекватных разным условиям бурения, была создана обобщенная математическая модель процесса углубления скважин в пространстве состояний, координатами которой являются проходка на долото и переменные, характеризующие состояние вооружения и опор долота.

Разработаны стратегия и алгоритмы идентификации, обеспечивающие определение параметров обобщенной математической модели в изменяющихся условиях бурения. Решение задачи идентификации на первом этапе включает в себя определение чувствительности алгоритма идентификации к изменениям параметров модели, на основании чего оценивается влияние точности определения этих параметров на вычисление значений проходки.

В работе сделан сравнительный анализ методов оптимального управления скважин, который показал, что по технико-экономическим показателям наиболее эффективным является метод оптимального управления процессом бурения нефтяных и газовых скважин с дискретно-непрерывным изменением управляющих воздействий.

Суть предложенного метода в том, что управляющие воздействия – осевая нагрузка на долото и скорость его вращения – поддерживаются постоянными на протяжении некоторого интервала времени, а в определенный момент времени одно или два управляющих действия скачкообразно изменяют свои значения на другие, которые будут постоянными для следующего интервала времени. В этом случае задача оптимального управления сводится к определению моментов переключения времени с одного уровня на другой, для решения которой был использован безградиентный метод поиска минимума функции (алгоритм Нелдера-Мида).

Для решения задачи оптимального управления с дискретно-непрерывным изменением управляющих воздействий в качестве критерия оптимальности был использован критерий минимизации метра проходки скважины, поскольку он учитывает прямые экономические показатели процесса бурения. Так как в структуру критерия оптимальности, согласно которому совершается процесс бурения, входит время спуско-подъемных операций, то для его прогнозирования был проведен сравнительный анализ постоянной, линейной, квадратической моделей, а также модели, разработанной на базе нейросетей, который показал, что наиболее точно время спуско-подъемных операций описывает квадратическая модель.

Для реализации разработанных методов и алгоритмов оптимального управления с дискретно-непрерывным изменением управляющих воздействий предложена компьютерная система контроля и управления, базирующаяся на использовании аппаратных средств системы управления процессом бурения СКУБ-М2. Оптимальная компьютерная система управления имеет двухуровневую иерархическую структуру. Самый нижний уровень представляет собой контроллер, исполняющий функции локального управления. На верхнем уровне в масштабе реального времени решаются задачи идентификации параметров математической модели, вычисление прогнозируемого времени бурения, моменты переключения управляющих воздействий с одного уровня на другой, определение оптимальных значений осевой нагрузки на долото и скорости его вращения; организация и поддержка базы данных с информацией об объекте управления; оперативная регистрация и отображение информации о состоянии технологического процесса на экране монитора.

Для реализации функций верхнего уровня разработано программное обеспечение в виде прикладного программного модуля, в который интегрирована серия программных продуктов, объединенных интегратором написанным на языке C++, что позволяет отображать информацию на экране монитора автоматизированного рабочего места в виде видеок кадров параметров, графиков, дневников событий и др.

Ключевые слова: бурение, математическое моделирование, идентификация, коэффициент чувствительности, критерий оптимальности, оптимальное управление, дискретно-непрерывные управляющие воздействия, обработка долот.

ANNOTATION

Kropivnitska V. B. Optimal management in oil and gas bore drilling process with digital-to-analogue change of control actions. - Manuscript.

Dissertation for the Candidate Degree in Engineering Science, speciality 05.13.07 – Automatization of Technological Processes. – Ivano-Frankivsk Technical National University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2007.

The dissertation is devoted to the investigation of methods and algorithms development problems of optimal management in hole drilling process with digital-to-analogue change in control actions.

The thesis runs the questions of generalized mathematical model construction, authentication of model parameters, optimal management of process of the bore drilling with digital-to-analogue change in control actions and a chisel working off both after its equipment and its support, which in common decide a considerable scientific and applied task put in industry for construction of deep oil and gas mining holes.

The developed methods and algorithms of optimal management is used to create the computer based optimal control system of bore drilling process with digital-to-analogue change of control actions that enables to attain much higher technical and economical indexes at the bore drilling.

Main results of this work were industrially introduced in the control system and management process of the bore drilling system SCUB-M2, as well as into educational process.

Keywords: bore drilling, mathematical design, authentication, coefficient of sensitiveness, optimum, optimal management, chisel working off.