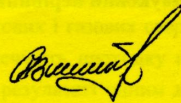


681.51
C12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Сабат Наталія Василівна



681.51:622.24 +
622.24(09)
УДК 681.513.6:622.243

C12

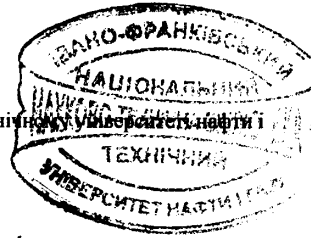
**ІДЕНТИФІКАЦІЯ БУРИМОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД
В ПРОЦЕСІ ПОГЛИБЛЕННЯ НАФТОВИХ
І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2011р.

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України



Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Семенцов Георгій Никифорович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Горбійчук Михайло Іванович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж

доктор технічних наук, професор
Мищеряков Леонід Іванович
Дніпропетровський національний гірничий університет,
професор кафедри програмного забезпечення комп'ютеризованих систем

Захист відбудеться **26 квітня 2011р. о 13³⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розіслано «18» березня 2011р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03,
кандидат технічних наук, професор

М. М. Дранчук



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Подальший розвиток нафтової і газової промисловості характеризується зростанням обсягів пошуково-розвідувального буріння свердловин в 6 разів порівняно з 2004 р., як це передбачено «Енергетичною стратегією України до 2030 року та подальшу перспективу». За таких умов до 2030 р. можливо приростити розвідані запаси нафти в обсязі до 150 млн.т. При цьому спостерігається тенденція збільшення глибин свердловин, буріння яких ведеться, головним чином, роторним способом. Для буріння нафтових і газових свердловин використовується нове покоління трьохшаршкових доліт, які забезпечують проходку на одне долото до 2000 м, а також алмазні долота з проходкою до 6000 м. В результаті одним долотом розбурюються декілька різнорідних шарів порід, буримість яких треба знати, щоб уточнити параметри математичної моделі і визначити оптимальні керувальні дії для наступного інтервалу буріння. Проте аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, показав, що відомі методи контролю буримості порід як координатного збурення не відповідають сучасному рівню автоматизації та інформаційної забезпеченості бурових підприємств нафтогазовидобувної галузі. Вони мають істотні обмеження, серед яких неможливість отримання інформації для автоматичної системи керування про головне координатне збурення в реальному часі.

Це обумовлено тим, що технологічний процес поглиблення свердловини є нелінійним стохастично-хаотичним процесом, який здійснюється за умов апріорної та поточної невизначеності і перебуває під впливом різного типу адитивних і мультиплікативних завад. Головними збурювальними впливами, що діють на керований об'єкт, є фізико-механічні і абразивні властивості гірських порід, зокрема такий комплексний чинник як буримість гірських порід. Контактними методами цей показник визначити не представляється можливим. Тому автоматизований контроль буримості гірських порід, який відбувається в умовах неповної інформації, нестационарності та невизначеності процесу поглиблення свердловини, у теперішній час набуває важливого значення. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки ефективного методу ідентифікації буримості гірських порід в реальному часі і програмно-технічних засобів, здатних функціонувати в складі адаптивної системи керування за умов апріорної та поточної невизначеності відносно структури і параметрів об'єкта керування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрямок наукових 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 автоматизації технологічних процесів та моніторингу в екології ІФНТУНГ. Тематика роботи є частиною планових науково-дослідних робіт із розвитку нафтогазового комплексу України та базується на результатах держбюджетних тем Д4-01-Ф «Наукові основи контролю, управління і екологічного моніторингу об'єктами нафтогазового комплексу України» (ДР № 0101U001664), «Автоматизоване управління технологічними процесами буріння, видобування, транспортування, зберігання і переробки нафти і газу» (зав. Науковою радою ІФНТУНГ 04.10.2004., пр. №8).

У названих вище темах науково-дослідних робіт автор була безпосереднім виконавцем розділів робіт із розроблення методів і засобів автоматизованого контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в розробленні методу ідентифікації та автоматизованого безконтактного контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Досягнення вказаної мети забезпечується в дисертаційній роботі шляхом розв'язання таких взаємозв'язаних задач:

- аналіз сучасних методів і систем ідентифікації та контролю буримості гірських порід;
- проведення досліджень взаємозв'язків основних факторів, що визначають буримість гірської породи, та обґрунтування найбільш інформативного параметру для оцінювання буримості порід в реальному часі;
- розробка математичної моделі буримості гірських порід, динамічної інформаційної моделі і методу визначення базових значень показника буримості;
- встановлення зв'язків систематичної і випадкової похибок контролю з показником буримості гірських порід, призначеним для оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин;
- вибір оптимальної частоти дискретного контролю відхилень показника буримості гірських порід за межі порогового значення, яка забезпечує визначення меж залягання гірських порід різної буримості згідно заданого критерію вірогідності контролю;
- розробка та дослідження автоматизованої системи безконтактного контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин

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

Предметом дослідження є методи ідентифікації буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин.

Методи дослідження: аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду, систематизація існуючих методів і підходів до контролю буримості гірських порід під час поглиблення нафтових і газових свердловин, для обґрунтування актуальності, мети і задачі дослідження; методи ідентифікації, що дозволили удосконалити математичну модель буримості; теорія планування і оброблення результатів експериментів для визначення взаємозв'язків параметрів і показників процесу буріння з показниками буримості; аналіз, що дозволив виявити властивості аналізованих функцій; математична статистика, що дозволила дослідити результати експериментів; імітаційне моделювання для підтвердження вірогідності отриманих теоретичних результатів; методи схемотехнічні для розроблення технічних засобів.

Наукова новизна одержаних результатів визначається наступним:

вперше:

- запропоновано узагальнену математичну модель буримості гірських порід та метод безконтактного автоматизованого контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин, що дає змогу виділяти в свердловин інтервали однакової буримості і визначити координатні збурення, що діють на систему адаптивного оптимального керування;
- на базі аналізу розподілу показника буримості і похибок вимірювання визначено ймовірність хибної тривоги, ймовірність невизначеної відмови та вірогідність контролю, що дало змогу обґрунтувати спосіб визначення порогового значення буримості гірських порід для системи

автоматизованого контролю; як ознаку зміни буримості використано спостереження за рівнем механічної швидкості буріння;

- встановлено функціональні зв'язки систематичної і випадкової похибок контролю із запропонованим показником буримості гірських порід, що дозволило використати їх для розв'язання задач оптимізації керування процесом буріння нафтових і газових свердловин;

- запропоновано структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення пристрою для автоматизованого безконтактного контролю буримості гірських порід, що дає змогу інтегрувати його в існуючу систему керування процесом буріння СКУБ-М2.

Удосконалено метод вибору оптимальної частоти дискретного контролю відхиленя показника буримості гірських порід за межі порогового значення, який, на відміну від існуючих, забезпечує визначення меж залягання гірських порід різної буримості згідно заданого критерію вірогідності контролю.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений безконтактний метод ідентифікації автоматизованого контролю буримості гірських порід, на відміну від існуючих методів і технічних засобів, дозволяє оперативно контролювати буримість гірських порід незалежно від типорозмірів породоруйнівного інструменту і геолого-технологічних умов і вносити корективи в керувальні дії процесу буріння (осьова сила на долото та частота його обертання).

Запропонований методи ідентифікації та автоматизованого безконтактного контролю буримості гірських порід прийняті до впровадження на бурових підприємствах ВАТ «Нафтогаз України» (Акт від 21.10.2008р.); на підприємстві ТОВ «Спеціальне конструкторське бюро засобів автоматизації», СКБ ЗА, м.Івано-Франківськ, (Акт від 08.10.2008р.); впроваджені в навчальний процес кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології ІФНТУНГ (Акт від 7.10.2008р.) для студентів спеціальності 7.092501 – автоматизоване управління технологічними процесами в дисциплінах «Спеціальні вимірювальні прилади і системи», «Автоматизація технологічних об'єктів нафтогазової промисловості».

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані автором особисто. У роботах, написаних у співавторстві дисертанту належать: у роботі [1] – безконтактний метод контролю буримості гірських порід; [2] – можливість використання безконтактного методу контролю буримості гірських порід при бурінні горизонтальних і похило спрямованих свердловин; [3] – алгоритм визначення буримості гірських порід на основі параметрів і показників процесу буріння; [4] – структура автоматизованої системи контролю буримості гірських порід; [5] – структура системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності; [6] – вимоги до математичної моделі буримості; [7] – метод автоматизованого визначення буримості; [8] – метод ідентифікації буримості; [9] – безконтактний метод оцінювання буримості; [11] – удосконалена структура системи «Geo Vox»; [13] – вірогідність контролю буримості; [15] – вплив витрати промивного агента на буримість; [18] – автоматизована система контролю буримості; [19] – стратегія ідентифікація буримості; [21] – визначення ймовірності переходу долотом межі пластів; [23] – спосіб оцінювання поточних значень буримості.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались і одержали позитивну оцінку на: 3-ій міжнародній науково-практичній конференції “Мікропроцесорні

пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів” (Хмельницький 2004р.); 22-гої міжнародної міжвузівської школі-семінарі “Методи і засоби технічної діагностики” (Івано-Франківськ 2005 р.); 4-й науково-технічній конференції і виставці “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання” (Івано-Франківськ 2005 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Інтегровані системи управління в гірничо-металургійному комплексі” (Кривий Ріг 2006 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці “ІФНТУНГ-40”” (Івано-Франківськ 2007.); п’ятій всеукраїнській науково-технічній конференції “Вимірювання витрати та кількості газу» (Івано-Франківськ 2007); міжнародній науково-практичній конференції «Научные исследования и их практическое применение». Современное состояние и пути развития 2007» (Одеса 2007); VII міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування-2008: стан і перспективи» (Київ 2008).

Публікації. Основні результати дисертації викладені у 23 публікаціях, у тому числі - 6 у виданнях, що входять до переліку ВАК України, 5 – у зарубіжних та інших виданнях та у 12 публікаціях у збірниках праць Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференцій (серед яких 8 - без співавторів).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Обсяг дисертації - 201 сторінки. Дисертація містить 57 рисунків, 14 таблиць і 134 посилань на літературні джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи для нафтогазового комплексу України, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено відомості щодо наукової новизни і практичного значення отриманих результатів для автоматизації технологічних процесів в нафтогазовій промисловості, наведено відомості про апробацію та впровадження результатів роботи.

У *першому розділі* виконано аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду, огляд стану задачі ідентифікації буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин за допомогою контактних і безконтактних методів, що базуються на інформації про спеціальні дослідження зразків гірських порід, геофізичних дослідженнях до початку буріння свердловини, геолого-геофізичних оцінках геологічного розрізу пробурених свердловин, параметрах і показниках процесу буріння.

У зв’язку з актуальністю і важливістю цієї науково-прикладної задачі, розробкам і дослідженням методів ідентифікації буримості гірських порід присвячена значна кількість робіт науковців: М.Г.Бінгхема, І.П.Петрова, А.А.Любавіна, Л.М.Заміховського, М.І.Горбійчука, Г.Н.Семенцова, Е.А.Козловського, Я.Р.Когуча, В.І.Тарасевича, М.П.Гулізаде, Г.А.Багаутдінова, М.А.Мислюка, Ю.Ф.Алексеева, В.Р.Цибильського та ін. Проте, незважаючи на велику кількість робіт у цій галузі, на теперішній час існує наявна потреба в удосконаленні методу ідентифікації буримості гірських порід в сучасних системах контролю і автоматизованого керування процесом буріння. Аналіз переваг і недоліків роглянутих методів привів до висновку, що для задачі ідентифікації буримості гірських порід в процесі буріння, яка відбувається в умовах апріорної та поточної невизначеності, найбільш пристосовані безконтактні методи, що базуються на

обробленні поточної інформації про процес буріння, і методи обчислювального інтелекту, в першу чергу штучні нейронні мережі (ШНМ).

Проведено аналіз методів оцінювання буримості гірських порід, що дістали найбільшого поширення в практиці буріння нафтових і газових свердловин: лабораторних із визначенням буримості на базі питомої роботи або питомої енергії руйнування при постійних умовах руйнування, а також показника, обернено пропорційного твердості порід по штампу, промислових із визначенням буримості на базі енергоємності долота, відношення коефіцієнта абразивності до початкової миттєвої швидкості буріння, механічної швидкості буріння в оптимальному режимі. Показано, що всі методи не мають можливості урахування поточної інформації про фізико-механічні властивості гірських порід, які підлягають контролю під час основного періоду роботи долота.

На основі проведеного аналізу визначено задачі дослідження, які полягають у розробці методу ідентифікації буримості гірських порід під час поглиблення нафтових і газових свердловин на засадах виявлення закономірностей формування інформаційних сигналів, які характеризують опірність порід руйнуванню буровим долотом, а також розв'язання за допомогою ШНМ тестових і реальних задач оброблення інформації про зміну буримості гірських порід.

Другий розділ роботи присвячено розробленню математичної моделі буримості гірських порід, інформація про яку є необхідною передумовою вибору раціонального типу бурового долота і оптимізації процесу буріння нафтових і газових свердловин. Розглянуто особливості кількісних мір оцінювання буримості гірських порід (початкової механічної швидкості буріння v_0 ; тривалості буріння фіксованого значення проходки t_Φ ; величини проходки за фіксований час h_Φ ; енергоємності буріння одиниці ствола E ; питомої енергії руйнування породи E_n) і взаємозв'язків її з абразивністю порід.

Показано, що лише для доліт, знос озброєння яких для певних інтервалів глибин незначний, оцінювати буримість можна за механічною швидкістю буріння

$$v_t = v_0 \varphi(t), \quad (1)$$

де $\varphi(t)$ – функція зносу долота.

Для опису зміни механічної швидкості буріння запропоновано використати залежність

$$\frac{dv_t}{dt} = -K_v v_t^m, \quad (2)$$

де K_v – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність зношення долота і залежить від абразивних властивостей породи; m – ціле додатне число, яке належить множині N : $N = \{0, 1, 2, 3\}$.

Отримано рівняння $\frac{d\varphi(t)}{dt} = -K_v v_0^{m-1} \varphi^m(t)$, яке дало змогу визначити функцію зносу долота $\varphi(t)$ при різних значеннях m і при початковій умові $\varphi(0)=1$. Результати розв'язку рівняння (3) зведені у таблиці 1.

Показано, що оцінкою буримості гірської породи може слугувати початкова швидкість буріння v_0 за умови, що відомі певні базові режимні параметри.

Запропоновано розглядати сукупність «долото – порода» як єдиний об'єкт контролю $\langle \text{рис. 1} \rangle$, стан якого характеризується параметрами стану долота $\bar{Z}^T(t) = [\mu(t), g(t)]$ де t –

поточний час основного періоду роботи долота; $\mu(t), g(t)$ - оцінки зносу озброєння і опор долота, а також оцінкою міцності гірських порід, якою обрали такий показник як буримість порід.

Таблиця 1

Значення оцінок буримості гірських порід для різних m

Оцінка буримості гірських порід	Значення m			
	0	1	2	3
Функція зносу $\varphi(t)$	$1 - K_R t,$ $K_R = \frac{K_v}{v_0}$	$e^{-K_v t}$	$\frac{1}{1 + K_\varepsilon t},$ $K_\varepsilon = v_0 K_v$	$\frac{1}{\sqrt{1 + K_q t}},$ $K_q = 2K_v v_0^2$
Час буріння t_ϕ	$\frac{v_0}{K_v} \left(1 - \left(1 - h_\phi \frac{2K_v}{v_0^2} \right)^{1/2} \right)$	$-\frac{1}{K_v} \ln \left(1 - h_\phi \frac{K_v}{v_0} \right)$	$\frac{1}{v_0 K_v} (e^{h_\phi K_v} - 1)$	$\frac{1}{2K_v v_0} ((h_\phi K_v v_0 + 1)^2 - 1)$
Проходка H_ϕ	$\frac{v_0^2}{2K_v} (1 - (1 - K_R t_\phi)^2)$	$\frac{v_0}{K_v} (1 - e^{-K_v t_\phi})$	$\frac{1}{K_v} \ln(K_v v_0 t_\phi + 1)$	$\frac{1}{K_v v_0} \left((2K_v v_0^2 t_\phi + 1)^{1/2} - 1 \right)$
Питома енергія E_Π	$\frac{K_\varepsilon w}{\left(v_0 - \frac{K_v}{2} t_6 \right) a d^2}$	$\frac{K_\varepsilon w}{\frac{v_0}{t_6 K_v} (1 - e^{-K_v t_6}) a d}$	$\frac{K_\varepsilon w}{t_6 K_v} \ln(K_v v_0 t_6 + 1)$	$\frac{1}{K_v v_0 t_6} \left((2K_v v_0^2 t_6 + 1)^{1/2} - 1 \right)$

З множини зовнішніх впливів, які діють на об'єкт контролю, вибрані лише ті, що суттєво впливають на ефективність руйнування породи: вхідні керувані дії

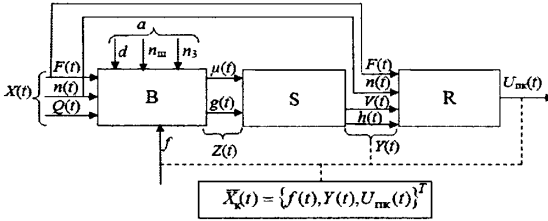


Рис. 1. Структурна схема процесу буріння свердловин як об'єкта контролю буримості в просторових координатах:

$\bar{X}_k(t)$ - контрольовані параметри

вхідними керувальними впливами $X(t)$, параметрами долота $\bar{\alpha}$, і буримістю порід f залежністю $Z_i(t) = B_i [\bar{X}(t), \alpha_i, f], i = 1, 2, \dots, k$, де i - кількість доліт. Вплив стану об'єкта контролю на показники процесу буріння запропоновано характеризувати значеннями його вихідних величин \bar{Y}^T : проходки долота $h(t)$ і механічної швидкості буріння $v(t)$, тобто $\bar{Y}^T(t) = \{h(t), v(t)\}$ Кожна з вихідних величин визначається через

$$\bar{X}^T(t) = [F(t), n(t), Q(t)] \quad (4)$$

і апіорі відомі параметри долота

$$\bar{\alpha}^T = [d, n_m, n_s],$$

де F - осьова сила на долото; n - швидкість обертання долота; $Q(t)$ - витрата промивного розчину; d - діаметр долота; n_m - кількість шарошок; n_s - кількість зубців на шарошках.

Показано, що параметри стану долота $Z(t)$ пов'язані з вхідними керувальними впливами $X(t)$, параметрами долота $\bar{\alpha}$, і буримістю порід f залежністю $Z_i(t) = B_i [\bar{X}(t), \alpha_i, f], i = 1, 2, \dots, k$, де i - кількість доліт. Вплив стану об'єкта контролю на показники процесу буріння запропоновано характеризувати значеннями його вихідних величин \bar{Y}^T : проходки долота $h(t)$ і механічної швидкості буріння $v(t)$, тобто $\bar{Y}^T(t) = \{h(t), v(t)\}$ Кожна з вихідних величин визначається через

параметри стану $Z(t)$ своєю функціональною залежністю $Y_j = S_j[\bar{Z}(t)]$, $j = 1, 2$. Параметри контролю визначаються через вхідні і вихідні величини об'єкта $U_{\text{нк}}^{(l)} = R_l(\bar{X}(t), \bar{U}(t), t)$, $l = 1, \dots, 4$.

Визначено клас задачі контролю буримості гірських порід як виявлення подій в умовах невизначеності і показник буримості запропоновано визначати безконтактним методом на базі комплексу контрольованих параметрів

$$f = M(\bar{Y}(t), \bar{X}(t)). \quad (5)$$

При незмінному векторі керувальних дій побудовано узагальнену математичну модель початкової механічної швидкості

$$v_0(t) = \phi[\bar{X}(t), B(t), A(t)], \quad (6)$$

де $B(t)$, $A(t)$ – параметри, що характеризують буримість і абразивність породи.

Після введення додаткових умов використання математичної моделі, що містять тип оснащення долота і обмеження на мінімально допустиму витрату рідини Q , встановлено, що вихідна функція v_0 залежить від F , n , d і потужності P на долоті. Показано, що між всіма цими параметрами існує деяка функціональна залежність $\phi(v_0, F, n, P, d) = 0$, для розкриття якої перейшли від початкових розмірних координат до безрозмірних змінних, і скориставшись π -теоремою Букінгема, одержали одну безрозмірну комбінацію, від якої залежить остаточний розв'язок задачі:

$$\left(\frac{v_0 P}{F n^2 d^2} \right) = C = \text{const}, \quad (7)$$

де v_0 , F , n , P , d – числові значення відповідних величин при деякому вибраному наборі основних одиниць фізичних величин.

З врахуванням виразу для потужності на долоті $P = C_p F^\gamma \cdot n^\delta$, де C_p – коефіцієнт, який враховує розмірність потужності, γ, δ – невідомі показники степеня, що підлягають ідентифікації, отримали узагальнену математичну модель

$$v_0 = C_p d^2 F^{1-\gamma} n^{2-\delta}. \quad (8)$$

Запропоновано для визначення постійних складових у величинах F , n ввести до розгляду базові величини n_0 , F_0 : $n(t) = n_0 + n_1(t)$, $F(t) = F_0 + F_1(t)$, де $n_1(t)$, $F_1(t)$ – стаціонарні в межах рейсу долота ергодичні випадкові процеси з нульовим математичним сподіванням.

Тоді узагальнена математична модель (8) набула такого вигляду

$$v_0 = k F_0^\alpha n_0^\beta \left(1 + \alpha \frac{F_1(t)}{F_0} + \beta \frac{n_1(t)}{n_0} \right), \quad (9)$$

де $k = C_p D^2$; $\alpha = 1 - \gamma$; $\beta = 2 - \delta$.

Розглянуто задачу оцінки впливу зносу озброєння традиційного шарошкового долота на механічну швидкість буріння. Для цього скористалися рівнянням $v_0 = k_1 F_0^{\alpha_1} n_0^{\beta_1}$ для механічної швидкості буріння незатупленим долотом, а потужність роторного механізму бурової установки виразили через механічну швидкість буріння і питомі енерговитрати у такому вигляді: для буріння незатупленим долотом

$F_0^{\alpha_1} n_0^{\beta_1} = \left(\frac{1}{k_1}\right)_0 v_0$, для буріння затупленим долотом $F_0^{\alpha_1} n_0^{\beta_1} = \left(\frac{1}{k}\right) v$,

де v – механічна швидкість при бурінні затупленим долотом; $\left(\frac{1}{k}\right)_0, \left(\frac{1}{k}\right)$ – питомі енерговитрати при бурінні незатупленим і затупленим долотом.

Взявши відношення потужностей з урахуванням того, що буріння ведеться з постійною потужністю, тобто $F^{\alpha} n^{\beta} = F_0^{\alpha} n_0^{\beta}$, отримали $\frac{\left(\frac{1}{k}\right)_0 v_0}{\left(\frac{1}{k}\right) v} = \frac{v_0}{\varphi(t)}$, (10)

де $\varphi(t) = \frac{w}{w_0}$ – функція зносу озброєння шарошкового долота, яка являє собою відношення поточних питомих енерговитрат w до питомих енерговитрат w_0 при бурінні незатупленим долотом. Показано, що функція зносу $\varphi(t)$ може бути визначена і як відношення механічної швидкості буріння v_0 незатупленим долотом до поточного значення механічної швидкості v , тобто

$$\varphi(t) = v_0 v^{-1}. \quad (11)$$

Значення $\varphi(t)$ може приймати неперервний ряд значень від $\varphi(t) = 1$ до $\varphi(t) = \infty$. При цьому $\varphi(t) = 1$ відповідає фізичний знос озброєння долота рівний нулю, а $\varphi(t) = \infty$ – повний знос озброєння.

Доведено, що швидкість зношення озброєння шарошкового долота пропорційна швидкості зростання питомих енерговитрат $\frac{d\varphi(t)}{dt} = w_0^{-1} \frac{dw}{dt}$; або швидкості падіння механічної швидкості буріння $\frac{d\varphi(t)}{dt} = v_0 \frac{d(v^{-1})}{dt}$. Показано також, що ступінь зношення озброєння шарошкового долота можна оцінити за темпом падіння механічної швидкості буріння:

$$\varepsilon_y = \frac{1}{v_t} = \frac{\varphi(t)}{v_0}, \quad (12)$$

який в процесі поглиблення свердловини приймає значення від $\varepsilon_y = \varepsilon_y v_0 = \frac{1}{v_0}$ до $\varepsilon_y = \infty$ при $v_0 \rightarrow 0$.

Похідна від цього показника з урахуванням (12) дорівнює $\frac{d\varepsilon_y}{dt} = \frac{d(v_t^{-1})}{dt} = \frac{d\varphi(t)}{dt}$. (13)

Показано, що, якщо врахувати значення $\varphi(t)$, які наведені в табл.1, то можна визначити величини ε_y , $d\varphi/dt$, $d\varepsilon_y/dt$ (табл. 2). На основі аналізу показників зношення доліт зроблено висновок, що, якщо механічна швидкість буріння змінюється за гіперболічним законом, тобто $\varphi(t) = 1 + K_d t$, тоді за показником $K'_\varepsilon = \frac{d\varphi(t)}{dt}$ можна оцінювати абразивність гірських порід. Величину

$$\frac{d\varepsilon_y}{dt} = \frac{K_\varepsilon}{v_0} \text{ позначили як } K_y = \frac{K_\varepsilon}{v_0}.$$

Висунута гіпотеза і сформульовані допущення дали змогу в результаті аналізу математичних моделей встановити, що під час буріння в однорідному за буримістю інтервалі гірських порід, коли керувальні впливи $F = \text{const}$, $n = \text{const}$, буримість гірських порід можна оцінити опосередкованою функцією $v_0 = \frac{v_t}{\varphi(t)}$, $\varphi(t)$ – функція, яка характеризує знос озброєння долота. Ця функція, що визначається з табл. 2, залежить від типу вибраної моделі.

Значення величин ε_y , $d\varphi/dt$, $d\varepsilon_y/dt$

Значення m	$\varepsilon_y = \frac{\varphi(t)}{v_0}$	$\frac{d\varphi}{dt}$	$d\varepsilon_y/dt$
0	$\frac{1}{v_0} \cdot \frac{1}{1-K_R t}$	$\frac{K_R}{(1-K_R t)^2} \cdot \frac{1}{v_0}$	$\frac{K_R}{(1-K_R t)^2}$
1	$\frac{e^{K_v t}}{v_0}$	$\frac{K_v}{v_0} e^{K_v t}$	$K_v e^{K_v t}$
2	$\frac{1}{v_0} \cdot (1+K_\varepsilon t)$	$\frac{K_\varepsilon}{v_0}$	K_ε
3	$\frac{1}{v_0} \cdot \sqrt{1+K_q t}$	$\frac{K_q}{v_0} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{1+K_q t}}$	$\frac{K_q}{2 \cdot \sqrt{1+K_\varepsilon t}}$

Запропоновано як базове значення механічної швидкості буріння обрати ту механічну швидкість, яка визначається на початку буріння алмазним долотом або незатупленим шарошковым долотом з оптимальними керувальними діями.

У *третьому розділі* викладено результати теоретичних досліджень щодо ідентифікації параметрів моделі і розроблення автоматизованого методу контролю буримості та оброблення інформаційних сигналів.

Розглянуто задачу, яка повинна розв'язуватися системою контролю за експериментальними даними $v_t^{(i)}$ визначити параметри моделі v_t , тобто початкову механічну швидкість v_0 , і величину L , яка входить до структури залежності $\varphi(L, t)$. Параметр L визначався значенням показника m у рівнянні (18): $L \in \{K_R, K_v, K_\varepsilon, K_q\}$. Параметри моделі $\hat{v}_t = v_0 \varphi(L, t)$ визначали за МНК-методом, тобто

$$\text{мінімізували функціонал: } J(v_0, L) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (v_t^{(i)} - v_0 \varphi(L, t_i))^2. \quad (14)$$

$$\text{Із першої умови мінімуму функціоналу (14) } \frac{\partial J(v_0, L)}{\partial v_0} = 0 \text{ та другої умови } \frac{\partial J(v_0, L)}{\partial L} = 0 \text{ з}$$

урахуванням позначення $\gamma(L, t_i) = \frac{\partial \varphi(L, t_i)}{\partial L}$ отримано рівняння:

$$\sum_{i=1}^N (v_t^{(i)} \gamma(L, t_i) - v_0 \varphi(L, t_i) \gamma(L, t_i)) = 0. \quad (15)$$

Значення функцій $\varphi(L, t_i)$ і $\gamma(L, t_i)$ для різних значень m наведені у табл.3.

Крім моделі $v_t = v_0 \varphi(t)$ були вибрані моделі $v_t = a_0 + a_1 t$, $v_t = v_0 t^\beta$ і $v_t = a_0 + a_1 \ln t$. Другу нелінійну модель привели до лінійної, прологарифмувавши ліву і праву її частини: $\ln v(t_i) = \ln v_0 + \beta \ln(t_i)$.

Ввівши нові змінні $y_i = \ln v(t_i)$, $x_i = \ln(t_i)$, $\alpha = \ln v_0$, було отримано модель $y_i = \alpha + \beta x_i$, яка лінійна відносно параметрів α і β . До вказаних моделей застосовано МНК-метод й отримано наступне рівняння:

$$\bar{a} = CF^T \bar{Y}, \quad (16)$$

де \bar{a} – вектор параметрів моделі; $C = (F^T F)^{-1}$ – дисперсійна матриця; \bar{Y} – вектор вихідних величин.

Одержано результати порівнянь математичних моделей механічної швидкості проходки за

Таблиця 3

Значення функцій $Y(L, t_i)$ і $\gamma(L, t_i)$ для різних значень m

m	$\varphi(L, t_i)$	L	$\gamma(L, t_i) = \partial \varphi(L, t_i) / \partial L$
0	$1 - K_R t_i$	K_R	$-t_i$
1	$e^{-K_v t_i}$	K_v	$t_i e^{-K_v t_i}$
2	$\frac{1}{1 + K_g t_i}$	K_g	$-\frac{t_i}{(1 + K_g t_i)^2}$
3	$\frac{1}{\sqrt{1 + K_q t_i}}$	K_q	$\frac{t_i}{2\sqrt{1 + K_q t_i}}$

допомогою ЕОМ. Критерієм адекватності прийнято значення дисперсії адекватності

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_i - h_i)^2. \quad (17)$$

де H_i – експериментальні значення проходки долота; h_i – обчислені значення проходки, $i = \overline{1, N}$; N – кількість експериментальних точок.

Що стосується залежності початкової механічної швидкості буріння v_0 від керувальних дій F і n , то, оскільки, апіорі відомо, що ця залежність має нелінійний характер, тому для математичного опису цих залежностей запропоновано використати багатовимірну нелінійну апроксимацію, яка має вигляд многочлена:

$$y = \sum_{i=1}^k a_i \prod_{j=1}^q U_i^{q_j}, \quad (18)$$

де U_i – керувальні впливи; a_i – коефіцієнти полінома (параметри моделі); q_j – невід’ємні цілі числа, які обмежені величинами Q_j ; $0 \leq q_j \leq Q_j$; N – кількість керувальних впливів, та обмежитися вибором квадратичної функції:

$$v_0(F, n) = a_0 + a_1 F + a_2 n + a_3 F^2 + a_4 n^2 + a_5 F n, \quad (19)$$

для ідентифікації параметрів якої використано МНК-метод.

Для вирішення задачі розбивки гірських порід на пачки як критерій запропоновано параметр L функціональної залежності $v_i = v_0 \varphi(L, t)$. Отримані результати досліджень дали змогу визначити критерій $L_i \in \{K_R, K_v, K_g, K_q\}$ (табл.4), який характеризує сукупні фізико-механічні властивості гірської породи.

Показано, що при переході долота із одного пласта в інший показник L_i стрибкоподібно змінює своє значення і процес обчислення значення L_i генерує послідовність дискретних величин $L_i = \hat{L} + v_L$, де \hat{L} – математичне сподівання величини L_i ; v_L – перешкода, викликана з однієї сторони інструментальними похибками вимірювань, а з іншої – зміною властивостей породи всередині пласта. Оскільки значення \hat{L} спотворено перешкодою, то стрибок \hat{L} , що відповідає моменту переходу долота через пласт, буде маскуватися цією перешкодою.

Зроблено припущення, що до моменту зміни пластів відомі статистичні характеристики перешкоди v_L , а після переходу долота в інший пласт стаціонарність перешкоди v_L не змінилась. Розглянуто задачу: на основі спостережень за величиною L_i при постійних режимних параметрах необхідно виявити момент переходу долота в інший пласт. Для її розв’язання запропоновано

метод визначення меж гірських порід у процесі буріння, суть якого в наступному. На основі спостережень за випадковим дискретним процесом L_i формується функція

$$g_i = \frac{1}{\sigma_L^2} (L_i - \hat{L})^2, \quad (20)$$

де $\sigma_L^2 = M[(L_i - \hat{L})^2]$ - дисперсія адитивної перешкоди v .

До моменту зміни пласта $\sigma_L = \sigma_L^{(1)}$, $L_i = L_i^{(1)}$, $\hat{L} = \hat{L}^{(1)}$ і послідовність g_i на кожному кроці спостережень співпадає з послідовністю $\left\{ \frac{1}{\sigma_L^{(1)2}} v_L^{(1)} \right\}$, де $v_L^{(1)} = L_i^{(1)} - \hat{L}^{(1)}$. Тому $M[g_i] = 1$.

Таблиця 4

Значення критерія L_i виявлення меж пластів

m	Оцінка стану озброєння долота	Значення критерію L_i
0	$\xi = \frac{v_t}{v_0}$	$K_{R\xi} = \frac{1}{t_i} \left(1 - \frac{v_t}{v_0} \right)$
1	$\theta = \frac{v_0}{v_t}$	$K_{v\theta} = \frac{1}{t_i} \ln \frac{v_0}{v_t}$
2	$\varepsilon = \frac{v_0}{v_t}$	$K_{\varepsilon_i} = \frac{1}{t_i} \left(\frac{v_0}{v_t} - 1 \right)$
3	$\zeta = \frac{v_0}{v_t}$	$K_{\eta_i} = \frac{1}{t_i} \left[\left(\frac{v_0}{v_t} \right)^2 - 1 \right]$

Якщо в дискретний момент часу i_0 відбувся перехід долота із одного пласта в інший, тоді рівняння (21) з врахуванням того, що $L_i = \hat{L}^{(2)} + v_L^{(2)}$, набуде такого вигляду:

$$g_i = \frac{1}{\sigma_L^{(2)2}} (\Delta \hat{L} + v_L^{(2)})^2, \quad (21)$$

де $\Delta \hat{L} = \hat{L}_i^{(2)} - \hat{L}^{(1)}$, $\sigma_L^{(2)2} = M(L_i - \hat{L}^{(2)})^2$.

Оцінка математичного сподівання випадкової послідовності (21) буде

$$M[g_i] = (\Delta \hat{L}^2 + \sigma_L^{(2)2}) / \sigma_L^{(1)2}, \quad \text{при} \\ i > i_0. \quad (22)$$

Центруючи послідовність g_i , матимемо $M[g_i - 1] = 0$ при $i < i_0$ і коли $i > i_0$ математичне сподівання послідовності g_i буде визначатись за формулою (22).

На кожному кроці спостережень разом з дискретною послідовністю g_i запропоновано обчислювати функцію

$$G_i = \sum_{k=1}^i \frac{g_k - 1}{\sqrt{2i}}. \quad (23)$$

Оскільки $M[G_i] = \frac{1}{\sqrt{2i}} \sum_{R=1}^i M[g_R - 1] = 0$, то до моменту дискретного часу, поки долото не перейшло в інший пласт математичне сподівання функції G_i дорівнює нулю. Показано, що після того, як долото перейшло в наступний пласт $M[G_i] = \frac{S_m(i - i_0 - 1)}{\sqrt{2i}}$, де $S_m = \frac{\Delta \hat{L}^2}{\sigma_L^{(1)2}} + \frac{\sigma_L^{(2)2}}{\sigma_L^{(1)2}} - 1$.

Таким чином, до моменту переходу долотом меж пластів значення функції G_i коливається біля середнього значення, після того як долото перейшло в інший пласт ($i > i_0$) послідовність $|G_i|$ у середньому зростає з плином часу. Враховуючи цю властивість функції G_i , для виявлення моменту часу i_0 переходу долота в інший пласт використано процедуру порівняння значення G_i у кожний момент часу з певним порогом Δg . За оцінку значення i_0 береться величина, для якої виконується умова $|G_i| \geq \Delta g$, де $\Delta g = 2,5$.

Показано, що для зменшення похибки оцінки моменту часу переходу долотом межі двох пластів доцільно спільне використання функції G_i та так званого Z -алгоритму, основними параметрами якого є числа N , α і c , які повинні задовольняти наступним умовам: $N \geq N_0 = [1/\alpha]$, $0 < \alpha < 0,5$, $0,5 < c < 1$, де $[1/\alpha]$ – ціла частина числа $1/\alpha$. На кожному кроці спостережень за випадковою величиною L_i запропоновано обчислювати функцію

$$Z(m, N) = \left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_i - \frac{1}{N-m} \sum_{i=m+1}^N L_i \right|, \quad (24)$$

для якої правило виявлення меж пластів має наступний вигляд:

$$d_N(i_0) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \hat{m}/N > c \\ 0, & \text{якщо } \hat{m}/N \leq c \end{cases}, \quad (25)$$

де $\hat{m} = i_0$ – оцінка моменту переходу долотом межі двох пластів.

Запропоновано процедуру визначення моменту i_0 за Z -алгоритмом.

Даний алгоритм було перевірено під час визначення моменту зміни пласта гірських порід для бурової «Спас-101» Долинського УБР на глибині 2823-2865м. Для цього вибирали наступні параметри алгоритму: $N = 62$; $\alpha = 0,2$, $\Delta = 0,55$, то $[\alpha N] = 12$ і $N - [\alpha N] = 50$, тобто $m = 11, 12, \dots, 50$, графік функції $Z(m, N)$ приведений на рис. 2, з якого випливає, що $m(n) = 38$ і функція $Z(m, N)$ досягає максимуму. Обчислюємо $m/N = 38/62 = 0,61$. Так як $m/N > c$, то оголошується тривога $d_N = 1$. Для здійснення перевірки Z -алгоритму використовується G -алгоритм, графік якого наведено на рис.2. Для реалізації даних алгоритмів розроблена функціональна структура мікропроцесорного пристрою, який інтегрований в систему СКУБ-М2 (рис.3).

Запропоновано здійснювати розбиття гірської породи на класи за буримістю на базі нейронної мережі зустрічного поширення, яка включає в себе вхідний шар і шари нейронів Кохонена та Гроссберга.

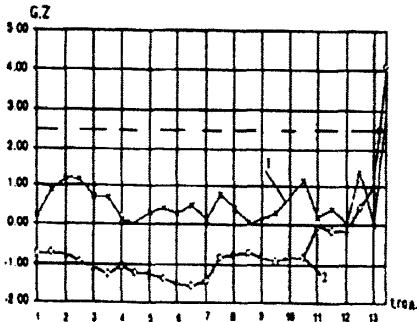


Рис. 2. Графіки зміни в часі G -функції і Z -алгоритму: 1 - G -функція; 2 - Z -алгоритм (бурова «Спас-101»; $H = 2823-2865$ м; $F = 176,4$ кН; $n = 1 \text{ с}^{-1}$)



Рис. 3. Функціональна схема пристрою визначення зміни меж пластів

Навчання мережі здійснювали за допомогою імітаційного моделювання. Початкова швидкість буріння v_0 моделювалась наступним чином:

$$v_0 = \hat{v}_0 + v_r, \quad (26)$$

де v_i – адитивна перешкода з нульовим математичним сподіванням.

Для встановлення виду функції густини розподілу використані дані, які отримані при бурінні свердловини Прутець 1; тип долота ТК3-190,5; глибина 4118 м; спосіб буріння – роторний. Параметри режиму буріння: осьова сила на долото: 160,3 кН; частота обертання долота: $1,08 \text{ с}^{-1}$. За результатами буріння побудовано графік проходки $h(t)$ (рис.4), з якого видно, що за час буріння, який складає 0,37 год., зношення долота було незначним. Тому початкову швидкість буріння обчислювали за формулою

$$v_0^{(i)} = \frac{h(t_i) - h(t_i - \Delta t_i)}{\Delta t_i}, \quad (27)$$

де $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$, $i = 2, 3, \dots, n$; n – кількість відліків проходки $h(t)$ на інтервалі часу $[0; t_n]$.

Відповідним чином визначалась і адитивна перешкода $v_i = v_0^{(i)} - \hat{v}_0$, де $\hat{v}_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_0^{(i)}$.

Графік залежності $v_i(t)$ наведено на (рис.5). Використовуючи отримані дані, була побудована гістограма випадкової величини v_i , а для перевірки гіпотези про відповідність експериментальних даних нормальному закону розподілу був використаний χ^2 -критерій. Обчислене значення χ^2 є таким: $\chi^2 = 7,69$. Знаючи закон розподілу випадкової величини v і його параметри, генерували випадкову послідовність \tilde{v}_0 . Значення \tilde{v}_0 вибирали із масиву $\tilde{v}_0 \in \{2,6; 3,7; 4,9; 7,1; 10,2\}$.

Було вибрано 5 класів. Мережа навчалась на об'ємі вибірки, який дорівнював 250. Класифікація згенерованих векторів здійснювалась за допомогою LVQ-мережі, кількість нейронів якої обчислювалась за формулою:

$$L = \frac{L_w}{n + m}, \quad (28)$$

де L_w – число синоптичних ваг у нейромережі, яке визначено згідно наступної формули:

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left(\frac{N}{m} + 1 \right) (n + m + 1) + m, \quad (29)$$

де n , m – відповідно розмірності вхідного і вихідного сигналів; N – число елементів навчальної вибірки.

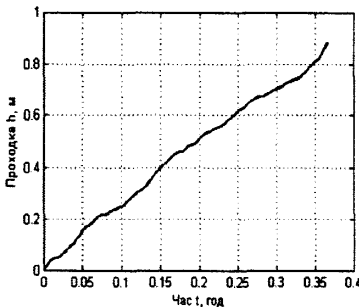


Рис.4 Зміна у часі t проходки h

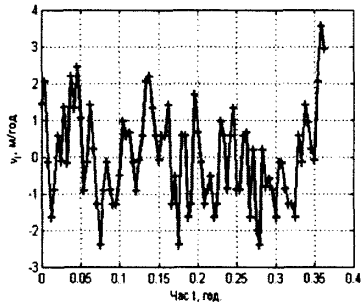


Рис. 5. Зміна у часі t механічної швидкості буріння v_i

Проведено тестування мережі, яке показало, що після навчання мережа правильно виконала класифікацію (рис. 6, а). Як приклад на (рис. 6, б) наведено результат класифікації вектора $\tilde{v}_0(t)$ зі

$$\begin{array}{cccc}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 Y=0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array}
 \quad Y=0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

а)

б)

Рис. 6. Результат тестування мережі (а) і віднесення вектора $\tilde{v}_0(t)$ до певного класу (б)

значенням $\tilde{v}_0=3,7$ м/год і $\sigma_v=0,98$. Видно, що мережа віднесла його до другого класу.

Визначено ймовірність правильної класифікації властивостей гірських порід за буримістю за допомогою імітаційного експерименту. Були взяті значення \tilde{v}_0 , які наведені у табл.5.

Таблиця 5

Значення \tilde{v}_0 , які використовувались в імітаційному експерименті

\tilde{v}_0 , м/год	2,7	3,9	4,5	7,3	9,9	Середнє значення ймовірності
Ймовірність	0,89	0,93	0,92	0,95	0,94	0,926

Проведено 100 імітаційних експериментів для кожного із п'яти значень \tilde{v}_0 . Значення ймовірності віднесення вектора $\tilde{v}_0 = \tilde{v}_0 + \bar{v}$ до певного класу зведені у табл.5. Показано, що нейронна мережа зустрічного поширення дала змогу з ймовірністю 0,92 здійснювати правильну класифікацію порід за початковою швидкістю буріння навіть при високому рівні шумів.

Для прогнозування середнього значення механічної швидкості буріння на тлі високочастотних завад з допустимим рівнем помилки запропоновано використати штучну нейронну мережу у вигляді лінійної тришарової мережі і реалізувати її на базі програмної системи Neural Analyzer 3.0. Як «навчальну множину» нейронної мережі використані експериментальні дані.

Розроблено структуру автоматизованої системи визначення буримості гірської породи.

Визначено вірогідність контролю буримості гірських порід $\beta = 1 - \frac{p_x^*}{p_x} = 0,92$, де

$p_x^*=0,008$ – ймовірність помилкових рішень при використанні розробленого методу контролю буримості гірських порід; $p_x = 0,1$ – ймовірність помилкових рішень до застосування контролю буримості гірських порід, що визначена за даними підприємства при рівні значущості $\alpha=0,1$.

В *четвертому розділі* розглянуто питання практичної реалізації запропонованого методу ідентифікації буримості гірських порід в системі адаптивного оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин. Результати досліджень підтвердили адекватність математичної моделі механічної швидкості буріння та правильність вибору методу неймережевого оброблення вимірювальної інформації, як такого, що володіє кращою чутливістю та меншою похибкою вимірювань у порівнянні з традиційними методами контролю.

Аналіз отриманих результатів показав, що розроблений у дисертаційній роботі метод ідентифікації буримості гірських порід охоплює всі гірські породи від м'яких до твердих.

Розроблений рекурентний алгоритм кумулятивних сум для оброблення вимірювальної інформації про буримість гірських порід забезпечує розв'язок задачі визначення меж пластів, однорідних за буримістю. Ефективність і збіжність алгоритму підтверджена імітаційним моделюванням та результатами промислових досліджень, проведених на бурових Прикарпаття, що підтвердило доцільність застосування його в системі оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин

У загальних висновках сформульовано теоретичні та практичні результати роботи.

У додатках наведено допоміжні матеріали, а також акти про впровадження отриманих теоретичних та прикладних результатів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі, що полягає у вдосконаленні системи оперативного оцінювання буримості гірських порід, призначеної для оптимізації управління процесом буріння нафтових і газових свердловин з урахуванням підвищення точності виявлення меж залягання гірських порід різної буримості і збільшення ресурсу бурових доліт.

Результати дисертаційного дослідження дозволили зробити наступні висновки, які допоможуть більш ефективно, на базі системи оптимального керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин, оцінювати буримість гірських порід.

1. На підставі результатів аналізу сучасних методів і систем контролю буримості гірських порід встановлено, що відсутність теоретично-методичних засад автоматизованих систем оцінювання буримості гірських порід призводить до виникнення проблем в оцінюванні ефективності оптимального керування процесом буріння через нестачу інформації, яка відображає міцність порід в реальному часі. Для їх розв'язання необхідним є розроблення методу ефективного оцінювання буримості гірських порід в умовах невизначеності процесу буріння шляхом використання сучасних безконтактних методів оцінювання буримості гірських порід, які адаптовані до сучасних умов експлуатації вітчизняних бурових установок.

2. На основі результатів досліджень взаємозв'язків основних факторів, що визначають буримість гірської породи, обґрунтовано найбільш інформативний параметр для оцінювання буримості породи в реальному часі, розроблено узагальнену математичну модель буримості в просторі станів, а також динамічну інформаційну модель і метод визначення базових значень показника буримості, який полягає у тому, що для автоматизованого безконтактного контролю буримості гірських порід обирається та механічна швидкість, яка визначається на початку буріння алмазним або незатупленим шарошковим долотом при бурінні з оптимальними параметрами режиму, що дає змогу визначати зв'язки показників буримості з глибиною свердловини, які є базою для поточної оптимізації та вибору оптимальних режимів під час проєктування режимів буріння інших свердловин, що буряться в аналогічних умовах.

3. На базі аналізу розподілу контрольованої величини – показника буримості і похибок вимірювання визначено такі характеристики контролю, як ймовірність хибної тривоги, ймовірність невизначеної відмови та вірогідність контролю, що дало змогу обґрунтувати методику визначення порогового значення буримості гірських порід для системи автоматизованого контролю; як ознака зміни буримості гірських порід використана поява спостереження з рівнем

шуму, що перевищує заданий поріг. Для виявлення меж пластів використано рекурентний алгоритм кумулятивних сум.

4. На базі технічних вимог до системи автоматизованого контролю буримості гірських порід проведено аналіз похибок контролю, який дозволив встановити зв'язки систематичної і випадкової похибок контролю з показником буримості гірських порід, призначеним для оптимізації управління процесом буріння нафтових і газових свердловин.

5. На базі аналізу автокореляційних функцій середньої механічної швидкості буріння вирішено задачу вибору оптимальної частоти дискретного контролю відхилень показників буримості гірських порід за межі порогового значення, яка забезпечує визначення меж залягання гірських порід різної буримості згідно заданого критерію вірогідності контролю.

6. Розроблені в дисертаційній роботі методи ідентифікації буримості гірських порід опробовані на результатах експериментальних досліджень, які проведені на свердловинах №833, №837, №86 Прикарпатського УБР. Програмне забезпечення інтегроване в існуючу систему керування процесом буріння СКУБ-М2.

Отримані результати прийняті до впровадження Прикарпатським УБР, СКБЗА м. Івано-Франківська, а також застосовуються у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, що підтверджено відповідними актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Когуч Я.Р. Оцінка поточних значень буримості гірських порід / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Методи та прилади контролю якості. – 2007. – №19. – С. 83-86.
2. Когуч Я.Р. Контроль буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2007. - №1(15). – С.116-119.
3. Семенцов Г.Н. Визначення буримості гірських порід шляхом вимірювання параметрів і показників процесу буріння / Г.Н.Семенцов, Н.В.Сабат // Науковий вісник Хмельницького національного університету. – 2007. - №1. – С.181-186.
4. Семенцов Г.Н. Структура системи автоматизованого контролю для оцінки буримості гірських порід / Г.Н.Семенцов, Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. - №3(12). – С.169-174.
5. Когуч Я.Р. Система підтримки прийняття рішень для управління процесом буріння свердловин в умовах невизначеності / Я.Р.Когуч, М.М.Дранчук, Н.В. Сабат // Вісник технологічного університету Поділля. - №2, ч. 1, том 3. – 2004. – С.29 – 32.
6. Когуч Я.Р. Вимоги до математичної моделі буримості гірських порід з позицій автоматичного контролю / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2004. - №1(7). – С.49-53.
7. Сабат Н.В. Метод контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин / Н.В.Сабат // Академический вестник. – Кривой Рог. – 2007. - № 19. – С.52-53.
8. Семенцов Г.Н. Метод автоматизированного определения буримости горных пород в процессе углубления скважин / Г.Н.Семенцов, Н.В.Сабат // Научно-технический и практический журнал «ОРАЛДЫН ГЫЛЫМ ЖАРШЫСЫ», (Казахстан), №3(11), 2008. – С.88-97.
9. Семенцов Г.Н. Оценка буримости горных пород бесконтактным методом / Г.Н.Семенцов, Н.В.Сабат // Современный научный вестник, (Россия), №8(26), 2007. – С.46-54.

10. Сабат Н.В. Аналіз методів безконтактного контролю буримості гірських порід в процесі буріння нафтових і газових свердловин / Н.В.Сабат // Академический вестник. – Кривой Рог. - 2005. - №15-16. – С.75-78.

11. Когуч Я.Р. Удосконалення системи контролю і управління процесом буріння «GeoBox» для діагностування стану долота / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат, Г.Я.Процюк, О.В.Калічак // Наукові вісті Галицької академії. - №1(9). - 2006. – С.37-40.

12. Сабат Н.В. Оцінювання властивостей гірських порід в процесі поглиблення свердловин / Н.В.Сабат // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований», том 2. Технические науки. – Одесса: Черноморье. – 2007. – С.65-69.

13. Когуч Я.Р. Вплив технологічних параметрів на достовірність контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин на нафту і газ / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Збірник тез доповідей «Приладобудування 2007: стан і перспективи»: VI науково-технічна конференція. – Київ, 24-25 квітня 2007р. – Київ - 2007. – С. 275-276.

14. Сабат Н.В. Теоретичні засади контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення нафтових і газових свердловин / Н.В.Сабат // Сборник науч.трудов по материалам междунар.науч.-практ. Конф. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2007», 1-15 октября 2007г., том 3, техн.науки. – Одесса: Черноморье, 2007. – С.29-32.

15. Когуч Я.Р. Контроль витрати промивного агента в процесі буріння свердловин на нафту і газ / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Збірник тез доповідей п'ятої всеукр.наук.-практ.конф. «Вимірювання витрати та кількості газу», 23-25 жовтня 2007р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел, 2007. – 38с.

16. Сабат Н.В. Математичні моделі буримості гірських порід / Н.В.Сабат // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития - 2006». Технические науки. Одесса: Черноморье. – 2006. – С.36-42.

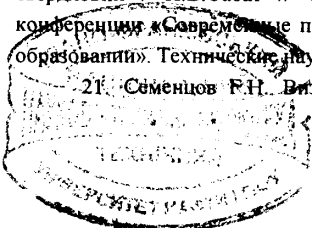
17. Сабат Н.В. Система автоматизованого контролю буримості гірських порід на базі технологій Data Mining / Н.В.Сабат // Збірник тез доповідей. «Приладобудування 2006: стан і перспективи»: V науково-технічна конференція. – Київ, 25-26 квітня 2006р. – Київ - 2006. – С. 258-259.

18. Когуч Я.Р. Автоматизовано система контролю бури мості гірських порід із корекцією витрати бурового розчину / Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат // Матеріали конференції. «Витратометрія 2005: вимірювання витрати та кількості газу»: Всеукраїнська науково-технічна конференція. – Івано-Франківськ, 17-20 травня 2005р. – Івано-Франківськ, - 2005. – С. 26.

19. Кропивницька В.Б. Стратегія ідентифікації параметрів математичної моделі процесу буріння / В.Б.Кропивницька, Н.В.Сабат //тези доп. Першої міжнародної наукової конференції. 25-27 травня 2005 р. – К.: нац.авіаційний університет. - 2005. – С. 106-108.

20. Сабат Н.В. Автоматизований контроль буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин / Н.В.Сабат // Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их развития в науке, транспорте, производстве и образовании». Технические науки. – Одесса: Черноморье. – 2005. – С.11-16.

21. Семенов Ф.Н. Визначення найбільш ймовірного моменту зміни характеристик



випадкового процесу при переході долотом меж пластів гірських порід / Г.Н.Семенов, Я.Р.Когуч, Н.В.Сабат, І.Я.Фіняк // Збірник наукових праць Хмельницького державного університету «Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів». – Хмельницьк, 13-16 травня 2004. – С.7-13.

22. Сабат Н.В. Проблеми безконтактного контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення свердловин / Н.В.Сабат // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання: 4-а науково-технічна конференція і виставка. Івано-Франківськ, 6-9 грудня 2005 р. – Івано-Франківськ. – 2005.

23. Семенов Г.Н. Оцінка поточних значень буримості гірських порід / Г.Н.Семенов, Н.В.Сабат // Збірник тез доповідей VII міжнар.наук.-техн.конф. «Приладобудування 2008: стан і перспективи», 22-23 квітня 2008р., м.Київ, ПФ, НТУУ «КПІ». – 2008. – С.263-264.

Анотация

Сабат Н.В. Идентификация буримости горных пород в процессе поглубления нефтяных и газовых скважин. – Рукопись.

Диссертация на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ. – 2011.

Дисертацію присвячено розробці методу ідентифікації та автоматизованого безконтактного контролю буримості гірських порід в процесі поглиблення нефтяних і газових свердловин, що дозволяє контролювати координатні збурення (буримість породи) незалежно від типорозмірів породоруйнівного інструменту та геолого-технологічних умов і вносити корективи в керувальні дії процесу буріння.

На базі аналізу розподілу показника буримості і похибок контролю визначено ймовірність хибної тривоги, ймовірність невизначеної відмови та вірогідність контролю, що дало змогу обґрунтувати спосіб визначення порогового значення буримості гірських порід для системи автоматизованого контролю. Як ознаку зміни буримості використана поява спостереження з рівнем шуму, що перевищує заданий порід. Встановлено зв'язки систематичної і випадкової похибок контролю з показником буримості гірських порід, що дозволило використати його для вирішення задач оптимізації керування процесом буріння.

Запропоновано структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення пристрою автоматизованого безконтактного контролю буримості гірських порід, що дало змогу інтегрувати його в існуючу систему керування процесом буріння СКУБ-М2.

Ключові слова: автоматизований контроль, математичне моделювання, ідентифікація, координатне збурення, буримість, буріння.

Аннотация

Сабат Н.В. Идентификация буримости горных пород в процессе углубления нефтяных и газовых скважин. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск. – 2011.

Диссертация посвящена разработке метода для автоматизированного бесконтактного контроля координатных возмущений в задаче адаптивного оптимального управления процессом бурения нефтяных и газовых скважин, позволяющего сократить время на определение буримости горных пород путем использования разработанной математической модели и соответствующего алгоритмического и программного обеспечения.

Проведен анализ основных методов определения буримости горных пород, исследованы возможности и обосновано использование бесконтактного автоматизированного метода контроля в задаче определения координатных возмущений, которые действуют на объект управления.

На основе математического описания физических процессов обработки шарошечных долот разработаны теоретические основы оперативного контроля буримости горных пород, которые включают обобщенную математическую модель буримости, динамическую информационную модель, метод определения базовых значений показателей буримости. Предложен метод бесконтактного автоматизированного контроля буримости пород, который даёт возможность учитывать возмущения в системе оптимального управления процессом бурения, увеличить ресурс долот, сократить количество аварий и осложнений в процессе бурения.

Предложен метод определения базовых значений механической скорости бурения, который состоит в том, что для автоматизированного бесконтактного контроля буримости горных пород выбирается та механическая скорость, которая определяется в начале бурения алмазным или незатупленным шарошечным долотами при бурении с оптимальными управляющими воздействиями, что даёт возможность определять связи показателей буримости с глубиной скважины, которые являются базой для текущей оптимизации и выборе оптимальных управляющих воздействий при проектировании режимов бурения других скважин, которые бурятся в аналогичных условиях.

На основе анализа распределения контролируемой величины и погрешностей измерения определены также характеристики контроля, как вероятность ошибочной тревоги, вероятность случайного отказа и достоверность контроля, что дало возможность обосновать методику определения порогового значения буримости горных пород для системы автоматизированного контроля. Признаком изменения буримости горных пород предложено использовать появление наблюдения с уровнем шума, который превышает за данный порог.

Установлены взаимосвязи систематической и случайной погрешностей контроля с показателем буримости горных пород.

На основе анализа автокорреляционных функций средней механической скорости бурения решена задача выбора оптимальной частоты дискретного контроля отклонений показателей буримости горных пород за границы порогового значения, которая обеспечивает определение границ залегания горных пород разной буримости согласно заданного критерия достоверности контроля.

На основе разработанного комплекса методов решена практическая задача бесконтактного контроля буримости горных пород. Результаты практической реализации подтвердили достоверность и адекватность полученных результатов, а также их эффективность по сравнению с контактным методом контроля при оптимизации процесса бурения.

Предложенные методики и апробированные алгоритмы позволили сформулировать и решить задачу инструментальной поддержки автоматизированного контроля буримости горных

пород и интегрировать предложенную структуру в существующую систему управления процессом бурения СКУБ-М2.

Разработанная система является информационным средством, которое позволяет при бурении нефтяных и газовых скважин использовать текущую информацию о процессе бурения и в реальном времени определить изменения буримости горных пород, что служит основанием для коррекции управляющих воздействий в системе адаптивного оптимального управления.

Предложенный метод автоматизированного бесконтактного контроля буримости горных пород опробован на результатах экспериментальных исследований, проведенных на буровых Прикарпатского УБР. Предложенная компьютерная система контроля интегрирована в существующую систему контроля и управления процессом бурения СКУБ-М2.

Ключевые слова: автоматизированный контроль, математическое моделирование, идентификация, координатное возмущение, буримость, бурение.

Abstract

Sabat N.V. Authentication of drillability of breed in the process of deepening of oil and gas mining holes. – Manuscript.

The thesis for a candidate of technical sciences degree on speciality 05.13.07 - automation of control processes. – Ivano-Frankivsk Technical National University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk. – 2011.

Dissertation is devoted to development of method of authentication and automated noncontact control of drillability of mountain breeds in the process of deepening of oil and gas mining holes, that allows to control coordinate indignations (drillability of breed) regardless of dimension-types of drilling instrument and geotechnological terms and to amend in the control action of process of the boring drilling.