

КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 519. 87: (622.24. 026 + 62. 52)

ВИМОГИ ДО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БУРИМОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД З ПОЗИЦІЙ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

Я.Р. Козуч, Н.В. Сабат

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15, тел. (0344) 46067

Статья посвящена сформулированным требованиям и математическим моделям буримости горных пород с позиций автоматизированного контроля. Анализ известных методов формирования однородных по буримости пластов горных пород свидетельствует, что большинство из них непригодны для использования в реальном времени работы долота. Анализ существующих математических моделей буримости горных пород показывает, что эти модели не всегда привязаны к конкретным условиям бурения. Сформулированы основные задачи создания математической модели буримости горных пород с использованием фазы – моделей и нейронных сетей.

Модернізація технологічного оснащення та технологічного забезпечення бурових робіт є невід'ємною частиною інтенсифікації і зниження собівартості будівництва нафтових і газових свердловин. Разом з цим, іншим, але не менш важливим напрямком інтенсифікації буріння, є контроль механізму руйнування гірських порід в реальному часі. Розробка адекватної математичної моделі руйнування породи, забезпечення необхідної точності ідентифікації параметрів процесу і розробка відповідної методики дали змогу більш достовірно оцінювати процес взаємодії породоруйнівних інструментів з породою в процесі буріння свердловин. Отже, теоретична новизна в оцінках процесу руйнування порід і використання результатів для аналізу ефективності процесу поглиблення свердловини є вельми важливим науково-практичним завданням. В цьому напрямку актуальним є створення автоматизованих систем контролю властивостей гірських порід в реальному часі.

The article is devoted to requirements which are made to mathematical models of rock drilling from the position of automated control. On the basis of analysis of known methods follows that most of them are not useful for using in real time of chisel's work. The analysis of existing mathematical models of rock drilling is shown here, from which we can see that these models are not always attached to concrete conditions of drilling. We also formulated the main problems for identifying the rock's mathematical models using Fuzzy-models and Neural nets.

Оцінка властивостей гірських порід, які визначають ефективність руйнування при бурінні, є складним питанням. Оскільки необхідно отримати переконливе обґрунтування, що вибраний критерій, який характеризує міцнісні властивості гірських порід з точки зору їх руйнування, має однозначний кореляційний зв'язок з тим, що не має точного формулювання, але є зрозумілим для буровиків терміном – буримість породи [1].

Побудова подібних критеріїв і систем автоматизованого контролю, а також забезпечення ефективності їх функціонування залежить від вірогідності відтворення і оцінки адекватності математичної моделі технологічного процесу. Проте через характерні невизначеності неможливо побудувати детерміновану математичну модель, яка враховує всі чинники, що впливають на процес руйнування породи. Це створює певні труднощі при розробці автоматизованих систем контролю буримості гірських порід.

Отже, актуальною є наукове завдання щодо створення методичного, алгоритмічного і програмного забезпечення автоматизованого контролю буримості гірських порід і формування однорідних за буримістю пачок пластів





Рисунок 1 – Класифікація методів інформаційного забезпечення керування процесом буріння свердловин на нафту і газ

гірських порід під час основного періоду роботи долота на вибої свердловини.

Вирішенню даного питання присвячені роботи Байдюка Б.В. [2], Брингхема Н.Г. [3], Ейгелеса Р.М. [7], Мавлютова М.Р. [4], Алексеева Ю.Ф. [9], Беликова В.Г., Посташа С.А. [8], Заміховського Л.М. [10], Колесникова Н.А. [5], Шрейнера Л.А. [6], Семенцова Г.Н., Горбійчука М.І., Шаповала О.А. [11], Яремійчука Р.С. [16].

Різні дослідники при вирішенні питання інформаційного забезпечення керування процесом буріння свердловин на нафту і газ звичай віддають перевагу одному з чотирьох основних видів інформації (рис.1) про властивості гірських порід.

Результати аналізу літературних матеріалів свідчать, що відомі методи формування однорідних за буримістю пластів гірських порід або непридатні для використання під час основного періоду роботи долота, або містять параметри, які неможливо вимірювати під час буріння свердловини, або мають недостатнє методичне обґрунтування. Тому сформульоване завдання потребує доробки, вдосконалення і подальшого розвитку, починаючи з обґрунтування показника буримості гірських порід і створення адекватної математичної моделі.

Суперкомпонентом математичної моделі процесу буріння є рівняння роботи породоруйнівного інструменту, який працює в умовах суттєвої інформаційної невизначеності.

Перехід до конкретного виду рівнянь, що описують взаємодію породоруйнівного інструменту з породою вибою, еквівалентний встановленню визначеності [12] у:

- складі і обсязі вихідної інформації, яка необхідна для прив'язки вибраних рівнянь до конкретних геолого-технічних умов буріння свердловини;

- виборі алгоритмів ідентифікації параметрів рівнянь до конкретних геолого-технічних умов розрізу;

- виборі методики визначення обмежень на режими експлуатації бурової техніки;
- виборі алгоритмів оптимізації цільової функції на множині режимів експлуатації техніки.

Але надмірне ускладнення структури рівнянь математичної моделі потребує таких вихідних даних, для отримання яких потрібна організація унікальних експериментів. Крім того, ускладнюються ідентифікація рівнянь, алгоритми, збільшується час розрахунків на ЕОМ.

З другого боку, надмірне спрощення математичної моделі веде до погіршення опису технологічного процесу і порушення якісних закономірностей цього опису.

Відомо чимало результатів досліджень в області вивчення закономірностей взаємодії долота з породою, пов'язаних з покращанням конструкції доліт [7], моделюванням їх роботи при проектуванні [14], а також прогнозуванням результатів роботи доліт для цілей оперативного керування роботою долота [10, 13] при переході ним межі пластів.

На сьогодні для якісного виділення меж пластів, як правило, використовується механічна швидкість буріння v_m . У загальному вигляді модель механічної швидкості буріння може бути записана у формі, що запропонована Г.Д.Комбзом [15]

$$v_m = Kf(P, n) \cdot \varphi(\Gamma) \cdot \Psi(t) \cdot F(\Delta p), \quad (1)$$

де: K - коефіцієнт буримості, який залежить від типу долота і породи, що розбурюється; $f(P, n)$ - зв'язок початкової механічної швидкості буріння з параметрами режиму буріння; $\varphi(\Gamma)$ - зв'язок початкової механічної



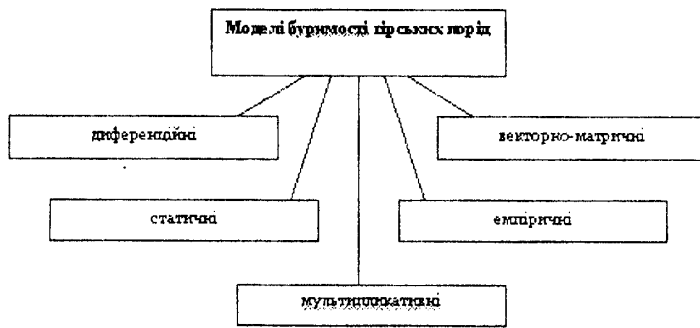


Рисунок 2 – Класифікація моделей буримості гірських порід

швидкість буріння з гідромоторним ефектом; $\Psi(t)$ - функція зношення долота; $F(\Delta p)$ - вплив диференційного тиску на вибої свердловини на механічну швидкість буріння.

Вітчизняними і зарубіжними дослідниками розроблені різноманітні моделі механічної швидкості буріння свердловини [рис.2], серед яких можна виділити такі основні типи: диференціальні моделі; векторно-матричні; статичні моделі, що відтворюють взаємозв'язки механічної швидкості буріння з параметрами процесу буріння; емпіричні рівняння взаємодії долота з породою при різних режимах буріння, що виявлені на основі стендових експериментів, і мультипликативні моделі.

Повного математичного опису процесу буріння не існує, оскільки неможливо врахувати всі діючі на процес фактори. Тому для оптимального управління процесом буріння свердловини використовуються, в основному, диференціальні моделі поглиблення, які мають таку структуру [16]:

$$v_M = dh / dt = f_1(P, n, \xi_B) = v_0(P, n) f(\xi_B), \quad (2)$$

де: v_M - механічна швидкість буріння; v_0 - початкова швидкість буріння; h - проходка на долото; P - осьове навантаження на долото; n - швидкість обертання долота; $f(\xi_B)$ - функція відносного зношення озброєння долота.

Найбільш відомі математичні моделі проілюстровані в таблиці 1.

Використовуються й інші моделі, але всі вони носять емпіричний характер, мають багато рівнянь, мають різну аналітичну структуру, містять різну структуру коефіцієнтів і тому придатні для роботи у вузькому діапазоні режимів буріння.

Деякі коефіцієнти моделей також є функціями умов і режимів буріння.

В рівняннях для механічної швидкості буріння, зазвичай, не враховується вплив витрати промивної рідини на механічну швидкість буріння. Відсутність витрати промивальної рідини в моделях різні автори пояснюють введен-

ням обмежень знизу на швидкість витікання з насадок долота, питому витрату на одиницю площі вибою і обмежень зверху на величину диференційного тиску і вважають, що всередині обмежень витрата промивальної рідини практично не впливає на механічну швидкість буріння. Це зумовлено, з одного боку, відсутністю моделі, яка враховує вплив реології, а з другого – необхідністю вимірювання і врахування для ідентифікації великої кількості параметрів. Дійсно, для ідентифікації показника буримості за даними [12] треба не менше 30 вимірювань вихідних параметрів в кожному добані. Реалізація таких вимірювань можлива лише в автоматичному режимі з використанням спеціальних систем збору і обробки інформації на буровій.

Крім того, рівняння, що описують роботу долота, повинні бути прив'язані до конкретних умов буріння і відповідати вимогам до математичної моделі буримості з позицій системного підходу і автоматизованого контролю:

- модель буримості повинна бути адекватною досліджуваному об'єкту з точністю, яка необхідна для оцінки буримості гірських порід в реальному часі;

- математичну модель необхідно отримати для деякого достатньо великого інтервалу глибин (пачки порід), і вона повинна бути інформативною;

- рівняння моделі повинні всебічно і непротивічно відображати систему операцій, необхідних для експериментального визначення буримості гірських порід і для перевірки ступеня відповідності математичної моделі фізичної реальності;

- в математичній моделі повинні виконуватися умови збереження розмірності;

- математична модель повинна бути достатньо простою і добре відображати якісний характер процесу, а також досвід і інформацію технологів – експертів, давати можливість здійснювати ідентифікацію коефіцієнта буримості гірських порід за поточними результатами буріння, та повинна бути прив'язана до деякої групи вибійних умов;



Таблиця 1 – Математичні моделі механічної швидкості буріння

Автори	Математична модель	Параметри моделі
Е.М.Галле і Х.Б.Вудс (США)	$v_m = C_f \frac{P^\alpha f r(n)}{a_f};$	C_f - буримість породи; α_f - показник степеня, який залежить від властивостей породи; $r(n)$ - функція швидкості обертання долота; a_f - коефіцієнт зношення озброєння долота.
ВНДІКРнафта	$v_m = v_0 (P) \xi_B$ $P = var, n = const,$	
Г.Н.Семенов, М.І.Горбійчук	$v_m = \frac{K_1 P^{\alpha_1} n^{\beta_1}}{\varepsilon}$ $P = var, n = var, \varepsilon(0) = 1.$	ε - оцінка відносного зношення озброєння долота; K_1, α_1, β_1 - коефіцієнти і показники степеня, що залежать від типу долота і фізико-механічних властивостей гірських порід.
ВНДІБТ	$v_m = \frac{an^\alpha \bar{P}^2}{1 + (B\bar{P})^4} e^{-\beta n \bar{P}^2 t};$	a, B, α, β - параметричні коефіцієнти; $\bar{P} = \frac{P}{D}$ - відносне осьове навантаження на одиницю діаметра долота, кН/см.
В.С. Федоров	$v_m = K_\delta \left(\frac{P}{d}\right)^x n^y \varepsilon(t);$	K_δ - коефіцієнт буримості порід; $\varepsilon(t)$ - функція зносу долота; x, y - емпіричні коефіцієнти.
В.П.Миронов і Б.И.Шхинек	$v_m = v_0 e^{-\alpha t} + \theta(t)$	$\theta(t)$ - випадкова складова з нульовим математичним сподіванням.
Э.Х. Сабитов і ін.	$f_i = f_i(\rho, \bar{x}, \bar{u}), i = \overline{1, l}$ $h(P, n, t) = h_n(P, n) \cdot [1 - \exp(-\beta_u)](P, n)$ $h_n(P, n) = a_1 P^{a_2} n^{a_3}$ $\beta_u(P, n) = \sigma_1 P^{a_2} n^{a_3}$ $M_y = const$	ρ - вектор режимів буріння розмірності l ; x - вектор коефіцієнтів розмірності m ; u - вектор вибійних умов; h_n - гранична проходка на долото; β_u - інтенсивність зношення озброєння долота; M_y - середній питомий момент на долоті; $a_1, a_2, a_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - параметричні коефіцієнти
М.А.Мислюк, О.В.Лужаниця	$V_m = K_0 \exp [K_1 \Delta p + K_2 \sqrt{L}] \times$ $\times \left(\frac{P}{d}\right)^x n^y \varepsilon(t)$ $V_m = K_0 \exp [K_1 \Delta p + K_2 L] \times$ $\times \left(\frac{P}{d}\right)^x n^y \varepsilon(t)$ $V_m = K_0 \exp [K_1 \Delta p + K_2 \sqrt{L} + K_3 L] \times$ $\times \left(\frac{P}{d}\right)^x n^y \varepsilon(t)$ $V_m = K_0 L^{K_1} \exp [K_2 \Delta p] \times$ $\times \left(\frac{P}{d}\right)^x n^y \varepsilon(t)$ $V_m = K_0 \exp [K_1 \Delta p / L] \times$ $\times \left(\frac{P}{d}\right)^x n^y \varepsilon(t)$	K_0, K_1, K_2, K_3 - коефіцієнти рівнянь моделей; Δp - поровий тиск; L - довжина свердловини; x, y - емпіричні коефіцієнти; $\varepsilon(t)$ - функція зношення долота.



- фактори, що не відображаються математичною моделлю, повинні враховуватися як обмеження або бути сталими, наприклад, витрата бурового розчину $Q = \text{const}$;

- ідентифікація параметрів математичної моделі повинна здійснюватися з використанням оперативних даних без проведення унікальних експериментів;

- модель повинна вимагати мінімального часу для реалізації і мінімального об'єму оперативної пам'яті ЕОМ;

- параметри математичної моделі повинні бути контрольованими;

- з позиції системного підходу математична модель буримості гірських порід повинна мати певну точність і межу застосування;

- математична модель повинна задовольняти умови стійкості і коректності за Ж. Адамаром і умову фізичної реалізованості.

Вважається, що задача поставлена коректно, якщо виконуються одночасно три умови Ж. Адамара: існування розв'язку задачі; розв'язок повинен бути єдиним і неперервно залежати від початкових і граничних умов (малим змінам початкових даних при $t = 0$ відповідають малі зміни рішення системи рівнянь при $t > 0$ (в обмеженій області зміни t)).

Отже, виходячи із сучасного стану в області математичного моделювання процесу буріння і розвитку методів контролю та керування, впливає, що для визначення буримості гірських порід в реальному часі з використанням засобів автоматизованого контролю зручно і необхідно створювати математичну модель у диференційній формі, яка повинна бути доповнена фазі – моделлю і нейронною мережею.

Література

1. Драганчук О.Т. Науково – методологічні основи конструювання шарашкових доліт: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. 05. 05. 12. / Ів-Фр. Нац. техн. у-т. Нафти і газу. - Івано-Франківськ, 1999. – 35 с.

2. Байдюк Б.В. Физико-механические основы процессов бурения скважин. - М.: ИРЦ Газпром, 1993. – 77с.

3. Бингхэм М.Г. Проблемы буримости горных пород. – М.: ВНИИОЭНГ. 1966 – с.

4. Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1978.

5. Колесников Н.А. Процессы разрушения горных пород и пути ускорения бурения. Обзор. инф. Сер.: Бурение. - Вип. 5 (88). - М.: ВНИИ-ОЭНГ. - 1985. – 42 с.

6. Шрейнер Л.А., Павлов Н.Н. Механизм разрушения твердых горных пород и типы шарошечных долот//Нефтяное хозяйство. – 1954. - №4. – 24 – 28.

7. Эйгелес Р.М. Разрушение горных пород при бурении. – М.: Недра. – 1972. – 232 с.

8. Беликов В.Г., Посташ С.А. Рациональная отработка и износостойкость шарошечных долот. – М.: Недра. 1972. – 160 с.

9. Алексеев Ю.Ф. Современные методы прогнозирования физико-механических свойств горных пород показателей работы долота. - М.: ВНИИОЭНГ. 1973. – 62 с.

10. Замиховский Л.М. Исследование взаимосвязи механической скорости проходки с износом вооружения шарошечных долот: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10. Моск. ин-т нефтехимии им. Губкина. – М., 1979. – 40с.

11. Семенцов Г.Н., Горбийчук М.И., Шаповал А.А. Алгоритм обнаружения момента смены пласта разбуриваемой породы // Изв. вузов: Горный журнал. – 1978 - №5. - С. 29 – 34.

12. Сабитов Э.Х., Шильман А.Б. Применение ЭВМ при проектировании строительства скважин – М.: ВНИИОЭНГ, 1981 – 44 с.

13. Семенцов Г.Н., Горбийчук М. И. Некоторые аспекты изучения геологического разреза скважин в процессе бурения // Известия вузов: Горный журнал. - 1986. - №7. С. 79 – 83.

14. Козловський Е.А., Гафиятуллин. Автоматизация процесса геологорозведочного бурения. – М.: Недра, 1991. – 296 с.

15. Аветисов А.Г., Аветисов Д.А. Новый метод оперативного контроля геобарических условий скважин – основа принятия эффективных технологических решений. Гипотезы, поиск. Прогнозы// Северо-Кавказское отделение Инженерной академии Российской Федерации. – Краснодар. – 1992 – с. 48 – 61.

16. Яремійчук Р.С. Інтенсифікація процесу руйнування гірських порід під час буріння свердловин внаслідок дії ультразвукової кавітації //Нафтова і газова промисловість - 2000. - №3, с. 15.

