

2. Неизотермическое течение газа в трубах / О.Ф.Васильев, Э.А.Бондарев, А.Ф.Воеводин, М.А.Каниболотский / Под ред. О.Ф.Васильева. – Новосибирск: Наука, 1978. – 128 с.

3. Сулейманов В.А. Система характеристических уравнений неустановившегося неизотермического движения реального газа в горизонтальном трубопроводе и ее численное решение / Сб. Вопросы транспорта газа. – М.: ВНИИгаз, 1985. – С.45-58.

пливає, що для визначення буримості гірських порід в реальному часі зручно і необхідно шу-

4. Грудз В.Я., Тутко Т.Ф. Пускові динамічні параметри газу на дільниці магістрального газопроводу // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Транспорт і зберігання нафти і газу. – 2001. – Вип. 38 (Т. 5). – С.45-61.

5. Касперович В.К. Трубопровідний транспорт газу. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – 198 с.

УДК 004.031.43:622.24.026.3

РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ БУРИМОСТІ ПОРІД У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Я.Р.Козуч

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 4606
e-mail: atp@ifdtung.if.ua

Статья посвящена разработке критерия оценки буримости горных пород в реальном времени. Анализ литературных данных показывает, что математическую модель буримости горных пород необходимо искать в дифференциальной форме. Недостатком существующих методов является невысокая точность выбора интервалов с одинаковой буримостью. Впервые разработан критерий оценки буримости горных пород, который базируется на измерительной информации о процессе разрушения горных пород, что дает возможность определить буримость горных пород в реальном времени и повысить эффективность бурения скважин на нефть и газ.

The is dedicated to the development of the real time criterion of drillability of the rock. The analysis of literary data shows that mathematical rock drillability model should be in differential form. The shortage of the present rock drillability determination methods is small interval selection exactness with equal drillabilities. For the first time was elaborated rock drillability mark method based on measuring information about rock destruction process that gives ability to determine drillability of the rock in real time and to increase effectivity of the oil and gas hole drilling.

Освоєння і розробка родовищ нафти і газу на шельфі Чорного і Азовського морів, а також на Сході України істотно підвищило значущість та інтенсифікувало ведення бурових робіт. Невід'ємними частинами інтенсифікації і зниження собівартості буріння нафтових і газових свердловин є не тільки модернізація технічного оснащення і технологічного забезпечення, але й розробка засобів контролю за процесом руйнування гірських порід. Одним із чинників, що характеризують ефективність руйнування і міцнісні властивості гірських порід є буримість породи. Розробка критерію оцінки буримості порід у реальному часі дала б змогу більш достовірно оцінювати процес взаємодії породоруйнівних інструментів з породою при її руйнуванні. У зв'язку із зазначенням теоретична новизна розробки критерію оцінки буримості порід у реальному часі і використання її результатів для аналізу ефективності процесу поглиблення свердловин є важливим науково-практичним завданням. Актуальним є і створення технічних засобів автоматизованого контролю цього чинника.

Виходячи із сучасного стану в області математичного моделювання процесу буріння, ви-

кати математичну модель буримості гірських порід у диференційній формі [1]

$$v_m = 1 / \varepsilon^* v_0(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$\frac{d\varepsilon^*}{dt} = C(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де: x_1, x_2, \dots, x_n – технологічні і гірничо-геологічні параметри, від яких залежить початкова швидкість буріння v_0 ;

ε^* – відносний знос озброєння долота;

C – швидкість зношення озброєння долота, яка так само, як і початкова швидкість буріння v_0 , невідома і залежить від технологічних і гірничо-геологічних параметрів x_1, x_2, \dots, x_n , що характеризують фізико-механічні і абразивні властивості гірських порід.

Використовуються різні структури функцій v_0 і C [14, 19, 20]

$$v_m = v_0 - \theta_1 t; \quad v_m = v_0 e^{-\theta_4 t};$$

$$v_m = \frac{1}{1 + \theta_2 t}; \quad v_m = \frac{v_0}{(1 + t)^{\theta_3}},$$

де $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_4$ – параметри математичних моделей $v_m(t)$,

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = K_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2}; \quad (1)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{BP^{\alpha_2} n^{\beta_2}}{1 + K\varepsilon};$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = BP^{\alpha_2} \varepsilon,$$

де B, K, α_2, β_2 – коефіцієнти, що залежать від конкретних геолого-технічних умов буріння свердловини.

У результаті проведеного аналізу математичних моделей для дослідження прийняті такі рівняння взаємодії долота з породою:

$$\begin{aligned} v_0(P, n, \bar{A}_1) &= K_1 P^{\alpha_1} n^{\beta_1}; \\ K_\varepsilon(P, n, \bar{A}_2) &= K_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2}; \\ K_\delta(P, n, \bar{A}_3) &= K_3 P^{\alpha_3} n^{\beta_3}, \end{aligned} \quad (2)$$

де v_0 – початкова механічна швидкість буріння;

$$K_\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt};$$

ε – відносне зношення озброєння долота;

$$K_\delta = \frac{dq}{dt};$$

q – знос опор долота.

На основі аналізу фізичної сутності технологічного процесу буріння свердловини сформульовані граничні умови.

На початку рейсу проходка h , знос опор q і оцінка відносного зношення оснащення долота ε мають такі значення:

при $t = 0$

$$h(0) = 0; q(0) = 0; \varepsilon(0) = 1;$$

в кінці рейсу при $t = t_\delta$

$$h(t_\delta) \geq 0; 0 \leq q(t_\delta) \leq 1; 1 \leq \varepsilon(t_\delta) \leq (1 + m)^2;$$

де m – коефіцієнт, що залежить від геометрії зубців долота і форми зношення.

Технологічні обмеження:

$$P_{min} \leq P \leq P_{max}; n_{min} \leq n \leq n_{max}; \theta = const;$$

$$v_{cn} \leq (v_{cn})_{max}; M_\delta \leq (M_\delta)_{max};$$

де: v_{cn} – швидкість спуско-підймальних операцій;

M_δ – момент на долоті.

Параметри моделі

$$\bar{A}_1 = \{K_1, \alpha_1, \beta_1\}; \bar{A}_2 = \{K_2, \alpha_2, \beta_2\};$$

$$\bar{A}_3 = \{K_3, \alpha_3, \beta_3\}$$

підлягають ідентифікації в конкретних умовах буріння свердловини. Вектор коефіцієнтів у

рівняннях (2) вважають [12] моделлю буримості ізотропної пачки порід

$$\bar{K}_\delta = \{K_1, \alpha_1, \beta_1, K_2, \alpha_2, \beta_2, K_3, \alpha_3, \beta_3\}. \quad (3)$$

Рівняння (2) мають практичне значення, коли вони прив'язані до конкретних вибійних умов. Набором таких факторів може бути [12] таке сполучення: типорозмір долота, якість промивальної рідини, статичний і диференціальний тиск на вибої. Але при заданій якості промивальної рідини статичний тиск визначається середньою глибиною залягання пласта, для якого будується математична модель буримості, а обмеження по диференціальному тиску враховується математичною моделлю буріння (2). Тоді можна вважати, що вибійні умови для моделі (2) задаються сполученням “типорозмір долота” і “якість промивальної рідини”.

Аналіз моделі буримості (3) засвідчує, що коефіцієнти K_1, K_2, K_3 мають розмірність

$$K_1 \rightarrow \left[\frac{M}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right], K_2 \rightarrow \left[\frac{M}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right],$$

$$K_3 \rightarrow \left[\frac{M}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right].$$

Якщо враховується об'ємне спрацювання озброєння і опор породоруйнівного інструменту, то тоді розмірність коефіцієнтів K_2 і K_3 така:

$$K_2 \rightarrow \left[\frac{M^3}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right], K_3 \rightarrow \left[\frac{M^3}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right].$$

Усі інші коефіцієнти моделі безрозмірні.

Отже, наприклад, коефіцієнт K_1 можна визначити, користуючись першою формулою моделі (2),

$$K_1 = \frac{v_0(P, n, \bar{A})}{P^{\alpha_1} n^{\beta_1}}, \left[\frac{M}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right]. \quad (4)$$

Цей вираз можна зобразити графічно як графік залежності середньої проходки в метрах за годину від добутку $P \cdot n$ для декількох рейсів долота всередині інтервалу порід однакової буримості (рис. 1)

Нахил прямої лінії $h = f(Pn)$ відображає коефіцієнт буримості гірської породи

$$K_\delta = K_1 = \frac{\Delta h}{\Delta(Pn)}, \left[\frac{M}{\kappa B m \cdot \text{год}} \right].$$

Цей показник використовується фірмою “Фекторметік дріллінг системс” з системою збору і обробки інформації “Дрілсерв” [3] для вибору інтервалів свердловини з однаковою буримістю гірських порід. Ця фірма користується двома методами вибору інтервалів свердловини з однаковою буримістю гірських порід.

Перший метод ґрунтується на визначенні прямолінійних приростів механічної швидкості буріння на графіку залежності сумарного часу t_δ буріння від глибини свердловини H (рис. 2).

Другий метод зводиться до побудови графіка залежності відносних характеристик буримості порід K_δ від глибини пробуреної свердловини H .

Буримість породи визначається за формулою

$$K_{\delta} \cdot 10^5 = \frac{h}{t_{\delta} \cdot P \cdot n}$$

дослідники фірми “Фекторметік” встановили, що в межах звичайної практики буріння показник ступеня 1 підходить як для навантаження на долото P, так і для швидкості обертання n

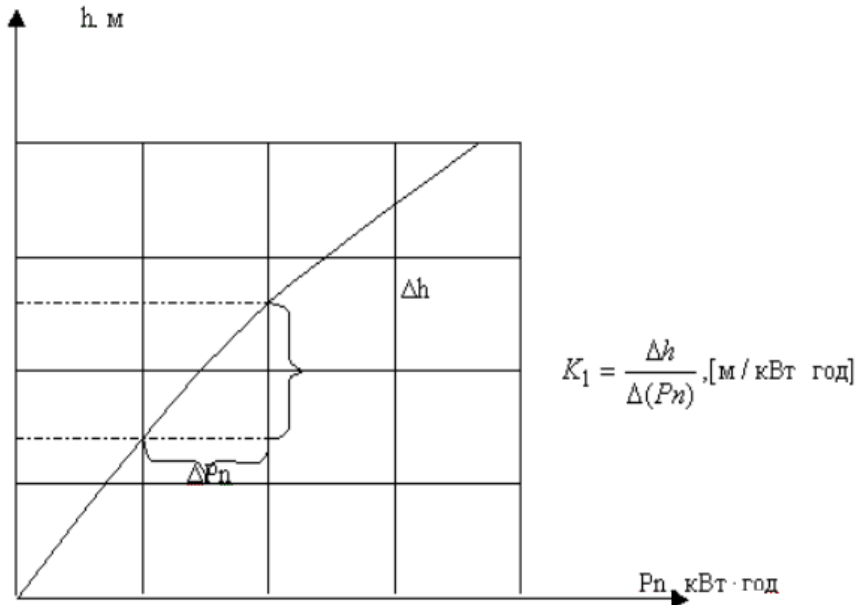


Рисунок 1 — Графік залежності проходки від добутку P · n

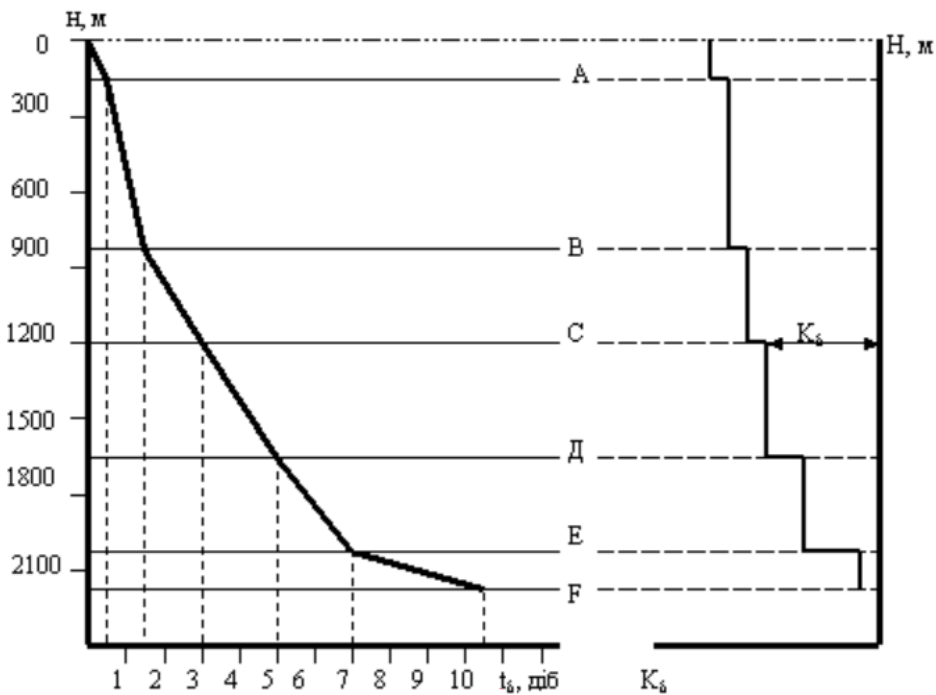


Рисунок 2 — Взаємозв'язки між глибиною Н свердловини, часом буріння t_δ і відносною буримістю порід K_δ

де: P – навантаження на долото;
n – швидкість обертання інструменту;
h – проходка на долото;
t_δ – час буріння.

Відомо, що для досягнення потрібної ступені сталості і вірогідності результатів експериментів, дослідники користуються цілими і дробовими показниками ступеня величин навантаження на долото і швидкості обертання. Але

інструменту. Тому у формулі для K_δ замість добутку P^{α1} n^β використовують просто Pnd. Параметр K_δ визначають і також шляхом побудови графіка залежності середньої проходки в метрах за годину від добутку Pn для декількох рейсів долота всередині інтервалу порід з однаковою буримістю (рис. 3)

Нахил прямої лінії, яка усереднює розкид точок, відображає коефіцієнт буримості гірської породи K_f .

У роботі [22] запропоновано критерій, що характеризує породу такою ж мірою, як і зубець долота, і названий "критерієм ефективнос-

Значення K_{δ_i} , що визначається за формулою (5) при бурінні з оптимальними параметрами режиму, послідовно перевіряються на приналежність побудованому раніше довірливому інтервалу. При цьому розглядаються такі варіанти:

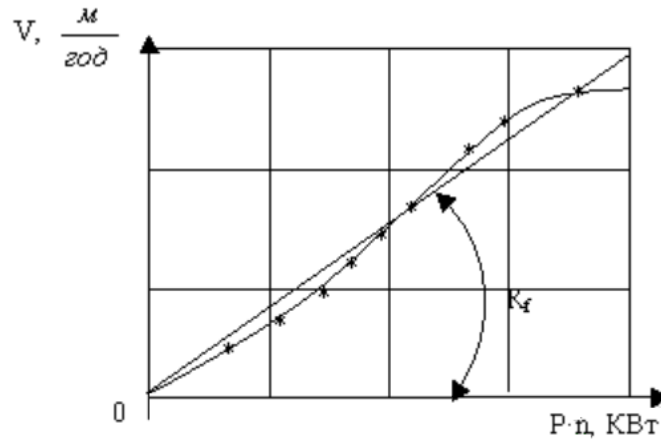


Рисунок 3 — Графіки залежності механічної швидкості буріння від добутку $P \cdot n$

ті" зубця стосовно даної породи.

$$K = \frac{V(z)P_{ш}}{\int_0^Z R(z)dz},$$

де: $V(z)$ – об'єм зруйнованої породи;

$P_{ш}$ – твердість породи за штампом;

$R(z)$ – сила опору породи проникненню зубця;

Z – заглиблення зубця (заглиблення проникнення) в породу.

Фізичний зміст "Критерію ефективності" зубця зводиться до оцінки об'єму зруйнованої породи на одиницю затраченої роботи. Зедений критерій дає змогу проводити попереднє порівняння озброєння доліт, призначених для розбування певних порід. За його допомогою, на думку автора, можна диференціювати породи, які проходить даний тип долота, за буримістю.

У роботі [18] запропоновано визначити коефіцієнт буримості K_{δ} гірських порід на основі лінійного рівняння регресії

$$K_{\delta_i} = v_1P + v_2n + v_3Q - v_{сер} ,$$

де: v_1, v_2, v_3 – коефіцієнти рівняння регресії;

$v_{сер}$ – середнє значення механічної швидкості буріння.

Передбачається, що процес буріння проводиться при оптимальних параметрах режиму і накопичуються значення $v_{сер}$. Для m останніх значень $v_{сер_i}$ визначаються чисельні значення K_{δ_i} за уточненою формулою

$$K_{\delta_i} = v_1P + v_2n + v_3Q - v_{ci} , \quad (5)$$

і після цього будується тренд $K_{\delta}(t)$ та довірливий інтервал.

1) якщо перші m значень K_{δ_i} попадають у межі побудованого раніше довірливого інтервалу, то продовжується формування змінного тренду $K_{\delta}(t)$ і змінного довірливого інтервалу;

2) якщо перші m значень K_{δ_i} послідовно відхиляються за межі довірливого інтервалу, але це відхилення не перебільшує $\leq 2\sigma$ від тренду $K_{\delta(t)}$, то будується новий тренд $K_{\delta(t)}$ і довірливий інтервал, які нарощуються і відтак змінюються в процесі роботи долота;

3) якщо перші m значень K_{δ_i} послідовно відхиляються більше, ніж на 2σ від тренду $K_{\delta(t)}$, констатується межа зміни буримості гірських порід.

Після накопичення L однорідних значень K_{δ_i} визначається $v_{сер}$, яка, спільно з новими отриманими значеннями P, n, Q використовуються для уточнення залежності (4).

У роботі [13] запропоновано 5 класів моделей, що описують буримість гірських порід.

Недоліком цих методів є не дуже висока точність вибору інтервалів з однаковою буримістю порід. Дійсно, оскільки в процесі буріння одночасно з руйнуванням породи зношується долото, то критерій оцінки буримості гірських порід повинен враховувати комплекс технологічних параметрів, що піддаються вимірюванню в реальному часі. Такими параметрами є потужність N , що витрачається на руйнування породи, осьове навантаження P на долото, механічна швидкість буріння v_M .

Користуючись методом аналізу розмірностей, вибрані змінні можна об'єднати деякою функціональною залежністю вигляду

$$f(P, N, v_M) = 0 .$$

Ці змінні дають можливість утворити лише одну безрозмірну величину

$$\Pi = P v_m / N .$$

Початкова залежність при переході до безрозмірних змінних буде мати вигляд

$$f(\Pi) = 0 .$$

Розв'язавши її відносно Π , отримаємо

$$P v_m / N = K_\delta . \quad (6)$$

Величина K_δ у кожному пласті гірських порід постійна і змінюється при переході долота в пласт порід з іншою буримістю, тобто вираз (6) може бути використаний як показник буримості гірських порід.

Фізично показник (6) є відношенням двох потужностей: $P v_m$ – потужності, що витрачається на рух породоруйнівного інструменту вздовж стовбура свердловини, до N – потужності, яка витрачається на руйнування породи.

Щоб виключити вплив процесу зношення долота, замість поточного значення швидкості буріння v_m в (6) підставимо v_0 – механічну швидкість буріння новим долотом при незмінних інших параметрах. Тоді отримаємо

$$\frac{Pnd}{N} = K_\delta , \quad (7)$$

де: d – діаметр долота;

K_δ – величина, постійна в кожному однорідному за буримістю пласті, яка змінюється при переході межі пластів.

Потужність N , що витрачається на руйнування породи будь-якої свердловини, залежить від осевого навантаження на долото P і швидкості його обертання n , причому ця залежність визначається властивостями механічних характеристик привода долота $n = f(M)$, де M – момент на долоті, і буримістю розбурюваної породи, тобто

$$N_\delta = P^\gamma n^\delta , \quad (8)$$

де N_δ – потужність на долоті.

Як привод долота може бути використаний електричний привод (електробури, або електричний привод роторного стола), гідравлічний (турбобури) або дизельний силовий привод роторного стола бурової установки.

Після підстановки (8) в (7) одержимо

$$K_\delta = \frac{Pnd}{P^\gamma n^\delta} = d P^{1-\gamma} n^{1-\delta}$$

або

$$K_\delta = K_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2} , \quad (9)$$

де: $K_2 = d$; $\alpha_2 = 1 - \gamma$; $\beta_2 = 1 - \delta$.

Порівнюючи формулу (1) після введення в неї безрозмірного часу $\tau = nt$ з формулою (9), отримаємо

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = K_2 P^{\alpha_2} n^{\beta_2} . \quad (10)$$

Отже бачимо, що величина, яка постійна в кожному однорідному за буримістю пласті і яка змінюється при переході в пласт з іншими властивостями, є не що інше, як швидкість зміни відносного зношення озброєння долота

$$K_\delta = \left(\frac{d\varepsilon}{d\tau} \right)^{-1} . \quad (11)$$

Показник (11) має перевагу перед іншими через те, що він піддається безперервному вимірюванню в процесі роботи долота і тому може бути покладений в основу методу визначення однорідних за буримістю пластів гірських порід у реальному часі за непрямими показниками як найбільш інформативний.

Висновок

Уперше розроблено критерій оцінки буримості гірських порід у реальному часі, яка ґрунтується на вимірювальній інформації про процес руйнування гірських порід, що дає можливість визначити буримість порід у реальному часі і підвищити ефективність процесу буріння свердловини на нафту і газ.

Література

1. Семенцов Г.Н. Оптимальное управление процессом бурения нефтяных и газовых скважин: Автореф. дис...д-ра. техн. наук: 05.13.07 / Москв. ин-тут нефти и газа им.Губкина. – М., 1990. – 44 с.
2. Байдюк Б.В. Физико-механические основы процессов бурения скважин. – М.: ИРЦ Газпром, 1993. – 77 с.
3. Бингхэм М.Г. Проблемы буримости горных пород. – М.: ВНИИОЭНГ, 1966.
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.– М.: ВНИИОЭНГ. 1985. – Вып. 5 (88). – 42 с.
6. Шрейнер Л.А., Павлов Н.Н. Механизм разрушения твердых горных пород и типы шарошечных долот // Нефтяное хозяйство. – 1954. – №4. – С. 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. – 40 с.
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. Леонов А.И., Парфенов К.А. Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации процессов бурения. – М.: ВНИИОЭНГ, 1976. – 54 с.

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

14. Лужаница А.В. Разработка экспертной системы для выбора рационального технологического решения при разбуривании зон аномально-высоких пластовых давлений: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10 – Ивано-Франковск, 1992. – 115 с.

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

16. Гулизаде М.П., Халимбеков Б.М. Обучающая модель оптимального управления процессом роторного бурения // За технический прогресс. – 1972. – №1. – С. 13-14.

17. Козловский Е.А., Гафиятуллин. Автоматизация процесса геологоразведочного бурения. – М.: Недра, 1991. – 296 с.

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

19. Самсоненко В.И., Романова Л.А., Беликов В.Г. Метод автоматизированной обработки измерительной информации в процессе механического бурения // Реф. нефт. техн. сб. ВНИИОЭНГ. Сер.: Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1983. – № 11. – С. 13-15.

20. Бадалов Р.А., Мурсалов А.Т. Вопросы износа вооружения трехшарошечных долот // Изв. вузов: Нефть и газ. – 1969. – №9. – С.27-30.

21. Габашвили Н.В., Кирия Т.А. и др. Применение методов математического программирования для оптимизации режимов бурения. – Тбилиси: Мецниереба, 1971. – 94 с.

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

3-я міжнародна спеціалізована виставка і конференція

ПРОМИСЛОВИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ

*м. Москва
(17-19 березня 2004 р.)*

Оргкомітет конференції

м. Москва, Центр міжнародної торгівлі

Тел: (812) 380-6002, 380-6000

факс (812) 380-6001

E-mail: ndt@primexpo.ru

Розділи виставки:

- Акустична емісія
- Ультразвуковий контроль
- Вихроструменевий контроль
- Візуальний і оптичний контроль
- Магнітопорошковий контроль
- Електромагнітний контроль
- Динамічний контроль твердості
- Вібраційний контроль
- Капілярний контроль
- Радіографічний контроль
- Електричний контроль
- Радіаційний контроль
- Контроль трубопроводів
- Навчання і сертифікація персоналу
- Атестація лабораторій

II Міжнародна науково-практична конференція

Облік, контроль і аналіз в управлінні підприємницькою діяльністю

*м. Черкаси
(24-26 березня 2004 р.)*

Тематика конференції:

- Облік, фінанси і оподаткування
- Аналіз та контроль підприємницької діяльності
- Регіональні проблеми економіки
- Моделювання і прогнозування економіки

Оргкомітет конференції

18006, м. Черкаси - 6, вул. Шевченка, 460, ЧДТУ,
каф. бухгалтерського обліку і аудиту

тел: (0472) 43-54-14