

SPECIFYING INFORMATION IN RELATION TECHNOLOGY OF DRILLING WITH APPLICATION ROCK DESTRUCTION BALLS

Ye. Koroviaka^{1}, A. Ihnatov¹, & V. Rastsvietaiev¹*
¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
**Corresponding author: koroviaka.ye.a@nmu.one*

Abstract. The review of researches and developments in the field of fractional drilling in historical development is given, special attention is paid to the technological scheme of a method and the basic receptions of conducting robots, also ways of the further improvement of the specified way are outlined. The basic regularities and conditions of formation a face and a wellbore at the given way are covered; prerequisites for the creation of an advanced fractional drilling rig. The constructive and technological features of the modernized fractional drilling rig are stated, as well as the issues of the mechanics rock fracture at the bottom of the well are considered. It is convincingly proved that the application of the developed device in the practice of construction different types of wells will lead to a significant increase in drilling productivity, reduction of time for ancillary operations, overall increase in efficiency and cost-effectiveness of well construction as mining. The novelty and technical level of solutions are confirmed by patents of Ukraine. Developed technical solutions can be implemented at major drilling facilities both in Ukraine and abroad.

Keywords: shot boring drilling, bore hole, crown, device, mechanism of destruction, rock, circulation processes, products of destruction, mud.

УТОЧНЮЮЧІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ БУРІННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОРОДУРІВНИХ КУЛЬ

Є. Коровяка^{1}, А. Ігнатів¹, В. Расцветов¹*
¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна
**Відповідальний автор: koroviaka.ye.a@nmu.one*

Анотація. Приведений огляд досліджень і розробок в області дробового буріння в історичному розвитку, особлива увага приділена технологічній схемі методу і основним прийомам ведення робіт, також намічені шляхи подальшого вдосконалення вказаного способу. Висвітлені основні закономірності і умови формування забою і стовбура свердловини при даному способі; позначені передумови створення вдосконаленого приладу дробового буріння. Викладені конструктивні і технологічні особливості модернізованого приладу дробового буріння, а також розглянуто питання механіки руйнування гірських порід на забої свердловини. Переконаливо доведено, що застосування розробленого пристрою в практиці спорудження різних типів свердловин приведе до істотного підвищення продуктивності бурових робіт, скорочення часу на допоміжні операції, загального зростання ефективності і економічності процесу спорудження свердловин, як гірських виробок. Новизна і технічний рівень рішень підтверджені патентами України. Розроблені технічні рішення можуть бути впроваджені на основних об'єктах ведення бурових робіт як в Україні, так і за кордоном.

Ключові слова: дробове буріння, свердловина, коронка, прилад, механізм руйнування, гірська порода, циркуляційні процеси, продукти руйнування, шлам.

1. Вступ

В основному породурівний інструмент удосконалюється шляхом широкого застосування синтетичних алмазів і надтвердих матеріалів, що мають підвищену зносостійкість і підкреслимо – досить високу вартість [1]. При цьому витрата таких стираючих матеріалів виражається зазвичай в 10 – 15% від усієї вартості свердловин, але нерідко доходить

до 30%, а у виняткових випадках навіть до 60 – 70%. У абсолютних цифрах це важко виразити, оскільки умови і, отже, вартість, дуже різноманітні. Особливо велика витрата алмазів приурочена до деяких міцних і тріщинуватих порід. В той же час, багато випадків алмазного буріння цілком допускають застосування йому альтернативного, багато в чому недооціненого – дробового, при збереженні прийнятних технологічних показників. Така постановка питання зумовлює необхідність усебічного комплексного вивчення техніки буріння за допомогою породоруйнівних куль, та зокрема її представника – дробового буріння з метою появи нових технічних рішень і розширення його можливостей.

Породи, в яких доцільний дробовий спосіб, відносяться до вищих категорій за буримістю, а саме: гранати, корунд, порфіри, діорити, кварцити, кварцові зливні пісковики, масивні породи з середнім і великим зерном. В перерахованих породах алмазне озброєння коронки дуже часто зашліфовується. Іншою категорією порід, в яких застосування дробового буріння раціонально, є усі міцні тріщинуваті породи. За деяких виняткових умов проходку наносів з великою кількістю валунів міцних порід також можна з достатнім економічним ефектом здійснювати дробом [2].

Не можна не відмітити, що за дробовим бурінням як і раніше залишається важлива перевага – це низька вартість стираючих матеріалів, що в умові кризових явищ в геологорозвідувальній галузі набуває первинного значення.

Більшість інших позитивних сторін дробового буріння полягає в наступному: не вимагається високої кваліфікації змінних майстрів і їх достатнього досвіду роботи з алмазним інструментом; при самозаклиненні керна, операції по його продавлюванню проводяться без урахування вимог до збереження озброєння коронки; при залишенні керна у свердловині, його не треба ні ловити, ні розбивати, а достатнім є спуск дробової коронки на забій. Вагомим чинником є можливість застосування великих діаметрів буріння при несуттєвому удорожчанні робіт в результаті цих збільшень, адже, як відомо, виготовлення алмазного інструменту значних розмірів і економічно і технологічно складно [3].

Не дивлячись на значний досвід та тривалий період застосування дробового буріння, ще й до теперішнього часу ще немає єдиного погляду на механізм руйнування породи дробом. Вважається, що при дробовому бурінні основну роль в руйнуванні породи відіграє колений дріб, який гострими гранями руйнує породу дряпанням, розуміючи під останнім процес різання в малих масштабах. Існують і інші погляди, згідно з якими основну роль в руйнуванні при дробовому бурінні відводять цілому дробу.

Зважаючи на такі незрозумілості, передусім, необхідно уточнити питання, пов'язані з механізмом руйнування породи.

Таким чином, метою статті є встановлення закономірностей формування свердловини дробового буріння за допомогою модернізованого приладу в деяких його механічних аспектах і формулювання на їх основі адекватних техніко-технологічних заходів процесу спорудження свердловин з високою мірою продуктивності і економічності.

2. Методика

Дослідження особливостей роботи модернізованого дробового пристрою на прикладі руйнування гірських порід, виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання методів математичного й фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів. Процес розв'язання задач оптимального планування експерименту поділявся на чотири етапи: складання моделі, що планувалась; підготовка необхідних вихідних даних; розрахунок моделі; отримання результатів. Протікання свердловинних породоруйнівних процесів моделювалось на спеціальному лабораторному стенді, обладнаного контрольно-вимірювальним блоком (витратомір, манометр, тахометр, координатник).

3. Результати та обговорення

Майже усі сучасні способи буріння в більшості своїй засновані на докладанні до порід

зосереджених навантажень, що викликають місцеві руйнування. Оскільки місцеві руйнування на поверхні порід розвиваються, підкоряючись якійсь одній закономірності, абсолютно необхідно, щоб в теоріях буріння порід різними способами простежувалася базова спільність; вона виявляється при порівнянні різних теорій буріння, проте проявляється дуже слабо через різноманіття уявлень про фізичну суть явищ, які відбуваються в породах при їх місцевому руйнуванні, що зрештою майже повністю виключає її роль, в якості координуючого чинника основ теорій. У цьому і полягає головний недолік існуючих пояснень механізму руйнування [2].

При дробовому бурінні у свердловину засипають дріб (чавунну або сталеву), яка під впливом струменя промивальної рідини поступає під торець коронки через проріз в ній. Внаслідок обертання бурового інструменту і осевого тиску дріб руйнує гірську породу на забої свердловини. Винесення зруйнованої породи, відпрацьованого дробу і часток металу дробової коронки здійснюється промивальною рідиною або стислим повітрям.

Продуктивність дробового буріння, поза сумнівом, повністю визначатиметься характером заданої деформації руйнування [4]. Якщо заданою деформацією є зім'яття, тобто руйнування породи в межах головних об'ємів тиску, то, природно, буріння супроводжуватиметься великою витратою роботи на повторне дроблення вже відокремленої породи при її виштовхуванні і повторних затисках. При руйнуванні шляхом відділення об'ємів сколювання повторне дроблення матиме менше значення, шлам буде більший, а робота продуктивніша. Слід також відмітити, що дія дробу на нерівну і порушену поверхню породи може викликати, залежно від умов, різні види деформацій, але переважаючою буде та з них, яка задана режимом роботи.

Згідно із достатньо надійними лабораторними дослідженнями дробового способу буріння [5], можна констатувати наявність тісного зв'язку між швидкістю обертання коронки і її поглибленням, що виражається в безперервному зростанні механічної швидкості буріння із збільшенням числа оборотів. Причому, порівняно з алмазним способом буріння, інтенсивність зростання механічної швидкості дробового буріння, за описаних умов, навіть дещо вища. Ця обставина відкриває нові перспективи для дробового буріння, і показує певну необґрунтованість його майже повного витіснення з практики застосування.

Як спрямованість подальшого вдосконалення техніки й технології дробового буріння був обраний шлях досягнення максимально можливих швидкостей обертання бурового пристрою.

Однією з перешкод застосування високих частот обертання бурового пристрою при дробовому бурінні з використанням існуючих конструкцій пристроїв є скупчення дробу в зовнішньому кільцевому просторі, що веде до необґрунтованої розробки стовбура свердловини і зрештою викликає виникнення ускладнень і навіть аварій. Такий стан речей обумовлений, в основному, конструктивним виконанням дробової коронки.

У зв'язку з позначеними умовами на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ ДП було поставлено завдання удосконалення пристрою дробового буріння, результатом рішення якої стала наступна конструкція, що містить, як і базова [6] коронку (дещо видозмінену), керноприймач і перехідник, разом з цим, згідно з винаходом, коронка виготовлена у вигляді породоруйнівного кільця, жорстко закріпленого в нижній частині керноприймача, що має, як і кільце, внутрішні вертикальні колекторні пази для розташування дробу.

Модернізований пристрій забезпечує: унеможливлення скупчення дробу в зовнішньому просторі свердловини, значне зменшення витрат потужності для створення крутного моменту для породоруйнівного органу, створення умов для здійснення високообертального буріння, стабільність та ефективність акту руйнування порід, надійність механізму зриву та утримання керна, зниження зносу бурильних труб і за рахунок цього досягається інтенсифікація процесу буріння при зниженні загальних витрат.

Процесу механічного руйнування твердого тіла, тобто утворенню нової вільної поверхні під впливом прикладених зовнішніх навантажень, завжди передує етап навантаження зосередженим зусиллям [4]. Цей процес при заданому характері розподілу системи зовнішніх сил характеризується певним розподілом внутрішньої напруги і пов'язаних з ним деформацій,

які описуються відомими співвідношеннями теорії пружності. Подальший розвиток руйнування багато в чому визначається характером і інтенсивністю цієї напруги (деформацій). Досліджуючи механіку взаємодії середовища і твердого тіла при руйнуванні важливо визначити, який вплив кожного з чинників, на розподіл напруги в цих тілах. Зокрема, дуже важливо встановити, як впливає на розподіл напруги наявність середовища на поверхні навантаження.

Як критерій для оцінки впливу середовища на процес утворення тріщин використовували критичне значення коефіцієнта інтенсивності напруги при вершині тріщини (K_{Ic}), залежного від міцності і пружних характеристик матеріалу, початкових розмірів тріщин і на величину якого чинить вплив середовище [2]. В'язкість руйнування для тріщин відриву в нескінченних пластинах визначається виразом

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a}, \quad (1)$$

де σ_c - руйнівна нормальна напруга; a - лінійний розмір тріщини.

Для пластинів кінцевих розмірів

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right), \quad (2)$$

де f - умовна площа контакту; W - ширина пластини.

У основу експерименту був покладений відомий спосіб визначення в'язкості руйнування при трикрапковому вигині.

Для такої схеми навантаження коефіцієнт K_{Ic} визначається виразом

$$K_{Ic} = \frac{P_c S}{BW^{3/2}} \left[2,9 \left(\frac{a}{W}\right)^{1/2} - 4,6 \left(\frac{a}{W}\right)^{3/2} + 21,8 \left(\frac{a}{W}\right)^{5/2} - 37,6 \left(\frac{a}{W}\right)^{7/2} \right], \quad (3)$$

де P_c - руйнівне зусилля, B - висота зразка, S - довжина ділянки навантаження.

При $a \ll W$ членами полінома (3) вищих мір можна нехтувати

$$K_{Ic} = 2,9 \frac{P_c S}{BW} \sqrt{a}. \quad (4)$$

В результаті досліджень було встановлено, що середовище чинить вплив на розвиток тріщин відриву. Тріщини зрушення, зустрічаються в процесі буріння частіше, особливо це стосується дробового способу буріння, чим тріщини відриву.

Якщо величина K_{Ic} є мірою стійкості матеріалу проти утворення тріщин, то величина $\psi(a) = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{a}}$ може служити характеристикою стійкості матеріалу проти утворення тріщин конкретного зразка з цього матеріалу

$$\psi(a) = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{a}} = 2,9 \frac{P_c S}{BW} = \alpha P_c, \quad (5)$$

де $\alpha = 2,9 \frac{S}{BW^2}$ - коефіцієнт, що характеризує геометричні розміри зразка.

Умови проведення експериментів і результати досліджень приведені в табл. 1.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про те, що речовини, що адсорбуються на поверхні гірських порід, можуть інтенсифікувати процес зародження і розвитку тріщин зрушення і, отже, їх застосування дасть можливість підвищити ефективність процесу буріння проектованим пристроєм.

Дослідженнями встановлене [4], що при обертовому бурінні свердловин з вільною подачею і повним очищенням забою від шламу механічна швидкість буріння в загальному вигляді виражається функціональною залежністю від ряду величин:

$$V_i = f(H_e, k_n, a, F_{oc}, n, Q_y), \quad (6)$$

де H_e - твердість гірської породи; k_n - коефіцієнт пластичності породи; a - показник абразивності; F_{oc} - осьове навантаження; n - частота обертання породоруйнівного інструменту; Q_y - інтенсивність видалення продуктів руйнування.

Таблиця 1

Умови проведення і результати експериментів з визначення впливу середовища на процес зародження і розвиток тріщин зрушення

| № експериментів | Середня швидкість навантаження (Н/с) | Середовище | Час обробки поверхні, хв | Кількість досліджень | Середнє значення руйнуючого навантаження, Н |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|---|
| 1 | 78 | Повітря | 8 | 20 | 3582,5 |
| 2 | 78 | Дистильована вода | 8 | 20 | 3497,4 |
| 3 | 78 | Синтанол | 8 | 20 | 2759,9 |
| 4 | 78 | Неонол | 8 | 20 | 2597,9 |

Ця функціональна залежність в явному виді може мати окремі значення для кожного типорозміру породоруйнівного інструменту.

Таким чином, ефективність руйнування порід обертальним способом залежатиме від властивостей гірських порід, а також від технічних і технологічних чинників.

Усі перераховані чинники зрештою визначають умови, в яких відбуваються процеси руйнування порід, формування стовбура свердловини і керна, викривлення свердловин і інші процеси. Від них також, залежить вибір найбільш раціонального способу буріння свердловин, типу (конструкції) забійного інструменту, бурового пристрою і режиму його роботи, і інші технологічні параметри і операції.

До технологічних умов відносяться: режим роботи забійного інструменту, режим видалення продуктів руйнування породи зі свердловини, гідродинамічна дія потоку промивальної рідини на забій свердловини, динамічну дію колони бурильних труб і інші чинники. Вплив основних з них враховується в приведеній вище залежності (6).

Технічні умови, що визначають ефективність руйнування порід, включають: конструкцію (типорозмір) породоруйнівного інструменту і бурового пристрою, стан забою свердловини - міра анізотропії породи на забої, наявність шламу, стан стінок свердловини та ін.

Для подальшого обґрунтування технологічних параметрів процесу буріння проектованим приладом, необхідно отримати адекватну модель взаємодії коронки, що містить дробинки з гірською породою [2]. Це можна здійснити, розглянувши якісну сторону забійних процесів, що відбуваються при роботі дробової коронки. Правильне і чітке уявлення про механізм руйнування гірських порід за допомогою дробової коронки є необхідною умовою подальших техніко-технологічних розробок технології дробового буріння.

Експериментальні дослідження процесу руйнування гірських порід дробом були спрямовані на визначення: наявності впливу кутової швидкості обертання дробового пристрою та властивостей середовища на механізм утворення тріщин і з'ясування теоретичних основ механіки цього процесу.

Абсолютно очевидно, що забій свердловини при дробовому бурінні не є монолітним. Під натиском руху дробинки він вже має ту або іншу міру розвиненості тріщин, що безумовно приведе до деякого зниження зусиль, необхідних для його ефективного руйнування за заданим механічним типом. Нерівномірність руйнівної напруги викличе в породному масиві виникнення так званої дотичної напруги, яка приведе до дрібних сколів і зрушень.

Як критерій для оцінки впливу кутової швидкості обертання дробового пристрою на процес утворення зони руйнування в зразках гірської породи використовували критичне значення осьового навантаження P_n , залежного від міцності і пружних характеристик матеріалу, початкових розмірів тріщин і на величину якого чинить вплив частота обертання дробової коронки.

Умови проведення і результати експериментів приведені в табл. 2 та на рис. 1.

Дані табл. 2 свідчать про стійку залежність між умовами, у яких відбувається руйнування гірської породи та реалізованими значеннями наведеного значення осьового навантаження P_n ,

які закономірно збільшуються за умов переходу до більш високих значень кутової швидкості обертання дробового пристрою. Таким чином, проведені дослідження довели вірність вихідних положень про існування залежності ефективності руйнування гірських порід дробом від досягнутих значень кутової швидкості обертання та встановили достатній ступінь адекватності механічної моделі руйнування гірських порід дробовою коронкою, визначеною вище.

Таблиця 2
Умова утворення зони руйнування в зразках гірської породи

| Гірські породи | Частота обертання коронки, хв^{-1} | Умова утворення зони руйнування в зразках гірської породи при досягненні наведеного значення осьового навантаження P_n , кН | | Погрішність, % |
|----------------|---|---|---------------------|----------------|
| | | Експериментальне значення | Аналітичне значення | |
| Вапняк | 600 | 4,13 | 3,97 | 12,5 |
| | 800 | 3,70 | 3,85 | 5,0 |
| | 900 | 3,61 | 3,64 | 11,1 |
| | 1000 | 3,35 | 3,67 | 7,9 |
| Мармур | 600 | 6,22 | 5,32 | 8,2 |
| | 800 | 5,02 | 5,35 | 10,1 |
| | 900 | 4,73 | 4,76 | 3,5 |
| | 1000 | 4,17 | 4,33 | 6,6 |
| Граніт | 600 | 5,87 | 5,85 | 9,0 |
| | 800 | 5,40 | 6,82 | 10,0 |
| | 900 | 5,40 | 5,37 | 11,3 |
| | 1000 | 4,61 | 4,51 | 6,9 |

Як критерій для оцінки впливу середовища на процес тріщиноутворення при дробовому бурінні використовували критичне значення коефіцієнта інтенсивності напруги при вершині тріщини (K_{Ic}), залежного від міцності і пружних характеристик матеріалу, початкових розмірів тріщин і на величину якого чинить вплив середовище. За базу порівняння брали значення руйнівного навантаження, отримані при проведенні досліджень у середовищі повітря та рідини (технічної води).

На рис. 1 наведено характерну залежність $P = f(V_n)$, з якої чітко видно раціональна область значень V_n (швидкості прикладення навантаження) $V_n = 45 - 80$ Н/с; хоча подальше збільшення V_n призводить до зростання показників P , такі його значення є складно досяжні для умов розробленого пристрою та не є необхідними для умов проведення досліджень, але в цілому позначене питання потребує більш глибокого вивчення, що не входило в програму проведення експериментів.

Введення до складу рідин ПАР дозволило досягти умов зменшення показників V_n та відповідного зниження значення показників P . Це є важливою обставиною, яка свідчить про можливість і необхідність застосування ПАР в промивних рідинах, що використовуються при дробовому бурінні. Застосування ПАР дозволить значно зменшити значення необхідного осьового навантаження, що передається бурильною колоною, скоротити витрати потужності для приводу поверхневих насосів та тим самим підвищити техніко-економічні показники спорудження свердловин методом, що пропонується.

Важливі данні стосовно обґрунтованості запропонованої конструкції дробового пристрою дозволили отримати порівняльні дослідження існуючого та проектного пристрою і зокрема зіставлення приведених значень міцності гірських порід $[\sigma_p]$, отриманих на підставі аналізу механіки роботи дробових коронок (табл. 3).

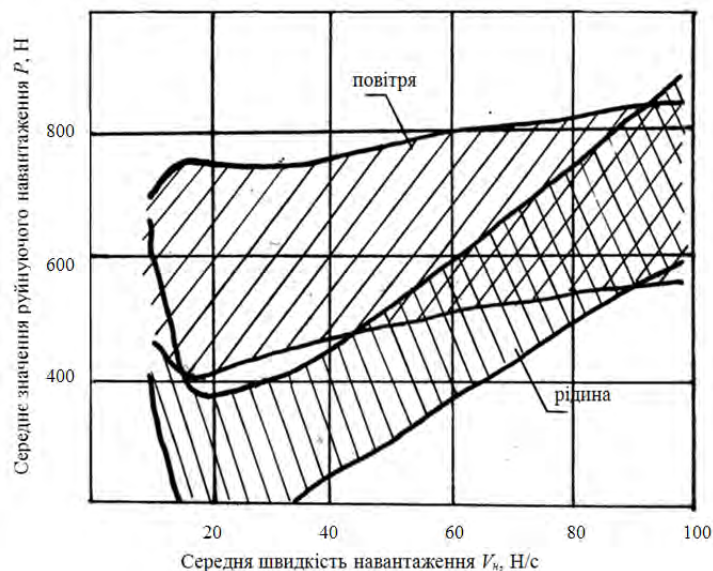


Рис. 1. Залежність значень руйнуючого навантаження P від швидкості прикладення навантаження V_n для різних умов стендового дробового буріння

Таблиця 3
Приведені значення міцності гірських порід $[\sigma_p]$ за умов застосування різних типів бурових дробових пристроїв

| Гірська порода | Модернізований пристрій $[\sigma_{mp}]$, ГПа | Існуючий пристрій $[\sigma_{ip}]$, ГПа | $[\sigma_{mp}]/[\sigma_{ip}]$ |
|----------------|---|---|-------------------------------|
| Граніт | 0,125 | 0,200 | 1,6 |
| Вапняк | 0,120 | 0,180 | 1,5 |
| Кварцит | 0,129 | 0,179 | 1,4 |
| Мармур | 0,110 | 0,275 | 2,5 |
| Пісковик | 0,065 | 0,230 | 3,5 |
| В середньому | | | 2,0-2,5 |

Дані табл. 3 переконливо свідчать про достатньо високий ступінь ефективності реалізованого за допомогою модернізованого дробового пристрою механізму руйнування і істотне зниження його енергоємності.

4. Висновки

1. Детальним аналізом конкретних робіт і досліджень показана перспективність розробки методів дробового буріння, ефективних, за певних умов, як з позицій механіки руйнування і енергоємності процесу, так і економічної обґрунтованості.

2. Встановлена необхідність визначення фізичної суті явищ, що відбуваються при відділенні елемента гірської породи від масиву дробовою коронкою модернізованого типу.

3. Вивчені принципи механізму руйнування гірських порід дробом з виведенням найважливіших аналітичних залежностей що характеризують забійні процеси формування свердловини.

4. Вивчені питання механіки руйнування гірських порід під торцем дробової коронки модернізованого бурового пристрою і вплив на неї поверхнево-активних речовин, що містяться в буровому розчині.

Вдячності

Автори висловлюють глибоку вдячність колективу кафедри нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету "Дніпровська політехніка" та особливо її співробітникам проф. О.М. Давиденку і доц. О.А. Пашенку, за допомогу в наукових дослідженнях.

Література

1. Калинин А. Г., Ошкордин О.В, Питерский В.М. Разведочное бурение. – М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. – 748 с.
2. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Д.: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
3. Юшков А.С., Пилипец В.И. Геологоразведочное бурение. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 464 с.
4. Давиденко А.Н., Ратов Б.Т., Пащенко А.А. Влияние гидростатического давления на ударное абразивно-механическое бурение скважин. – Алматы: Каспийский общественный университет, 2018. – 171 с.
5. Давиденко А.Н., Игнатов А.А., Полищук П.П. Исследование вопросов механики дробового бурения скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2018. – Вып. 21 – С. 132 – 139.
6. Пат. 111350 Україна МПК E21B 7/16. Пристрій для дробового буріння / А.О. Ігнатов. – Заявл. 07.10.2013; Опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.

References

1. Kalinin, A.G, Oshkordin, O.V, Piterskiy, V.M. (2000). Razvedochnoe burenie [Prospecting drilling]. – Moscow: ООО "Nedra-Biznestsentr" [in Russian].
2. Davidenko, A.N., & Inatov, A.A. (2013). Abrazivno-mehanicheskoe udarnoe burenie skvazhin [Abrasive mechanical percussion well drilling]. – DnIpropetrovsk: Derzh. visch. navch. zakl. «Nats. gIrn. un-t» [in Russian].
3. Yushkov, A.S., & Pilipets, V.I. (2004). Geologorazvedochnoe burenie [Prospecting drilling]. – Donetsk: Nord-Press [in Russian].
4. Davydenko, A.N., Ratov, B.T., Pashchenko, A.A. (2018). Vliyanie gidrostaticheskogo davleniya na udarnoe abrazivno-mehanicheskoe burenie skvazhin [Influence of hydrostatical pressure on percussion abrasive mechanical well drilling]. – Almatyi: Kaspiyskiy obschestvennyi universitet [in Russian].
5. Davydenko, A.N., Ihnatov A.A., & Polyshchuk, P.P. (2018). Perspektyvy zastosuvannia hnuchkoi kolony burylnykh trub dlia burinnia sverdlovyh [Perspectives application of coiled tubing in bore holes]. Porodorazrushayuschiy i metalloobrabatyivayuschiy instrument–tehnika i tehnologiya ego izgotovleniya i primeneniya - Rock destruction and metal-working instrument-technique and technology of his making and application, 21, 132 – 139 [in Ukrainian].
6. Pat. 111350 Ukraine, ICC E21B 7/16. Пристрій для дробового буріння / А.О. Ігнатов. – Publ. 25.04.16.