

УДК 621.921.343-492.2:541.128.13

А. О. Кожевников, В. С. Хілов, доктора технічних наук,
О. А. Борисевич, А. П. Бельчицкий

Державний ВНЗ «Національний горний університет» м. Дніпропетровськ, Україна

ПРЕСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БУРІННЯ З ІМПУЛЬСНИМ ОБЕРТАННЯМ ІНСТРУМЕНТУ

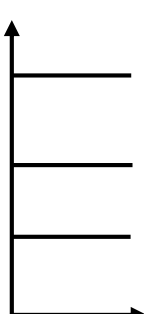
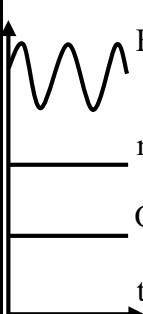
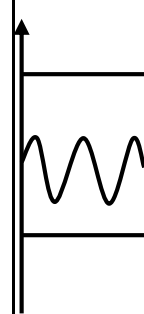

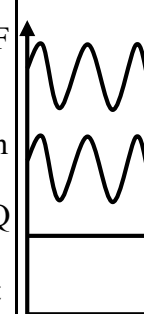
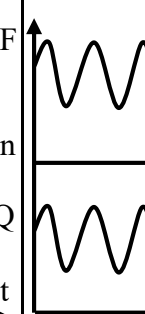
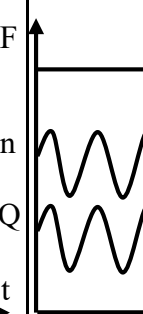
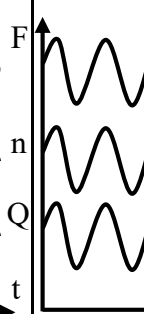
У статті розглянуті перспективи розвитку буріння з імпульсним обертанням інструменту. Метою цього буріння є підвищення ефективності процесу руйнування гірничою породи, зниження витрат та зменшення енергоємності при проходці свердловини. У роботі розглядається можливість використання імпульсної технології буріння зі змінною частотою обертання продоруйнівного інструменту.

Ключові слова: частота, імпульс, буріння.

Уперше класифікація імпульсних технологій представлена в роботах [1-2] у вигляді звіту ДГИ (Дніпропетровського гірничого інституту) по науково-дослідній роботі, виконаній по госпдоговору з ВИТР (Всесоюзним науково-дослідним інститутом методики і техніки розвідки) в 1986 році, а потім у вигляді тез доповіді на Міжнародній конференції «Механіка гірських порід при бурінні» в м. Грозному в 1992 р. Згідно цієї класифікації імпульсні технології утворюють три групи:

- монопараметричні (змінним являється один з трьох параметрів режиму буріння: F , n або Q);
- біпараметричні (змінними є два параметри режиму буріння попарно: F і n , n і Q або F і Q);
- трипараметричні (змінними є одночасно три параметри режиму буріння: F , n , и Q). – табл. 1.

Таблиця 1. Імпульсні технології буріння

Стаціо- нарна	Імпульсна						
	монопараметрична			біпараметрична			Трипара- метрична
$F = const$	$F = var$	$F = cons$	$F = cons$	$F = var$	$F = var$	$F = cons$	$F = var$
$n = const$	$n = const$	$n = var$	$n = cons$	$n = var$	$n = cons$	$n = var$	$n = var$
$Q = const$	$Q = const$	$Q = cons$	$Q = var$	$Q = cons$	$Q = var$	$Q = var$	$Q = var$
							
Оберта- льне буріння	Ударно- оберта- льне буріння						

Технічні засоби для створення імпульсного обертання бурового інструменту мають різний принцип дії і різні пристрої, а збуджуваний ними імпульсний рух інструменту має різні

амплітудно-частотні характеристики (АЧХ). Проте до теперішнього часу немає загальноприйнятої систематизації такого обертання інструменту і, як наслідок, відсутня класифікація способів буріння з імпульсним обертанням інструменту

Мета цієї статті – розглянути перспективи розвитку буріння з імпульсним обертанням інструменту.

На рис. 1 приведені способи буріння з імпульсним обертанням інструменту стосовно симетричних імпульсів.

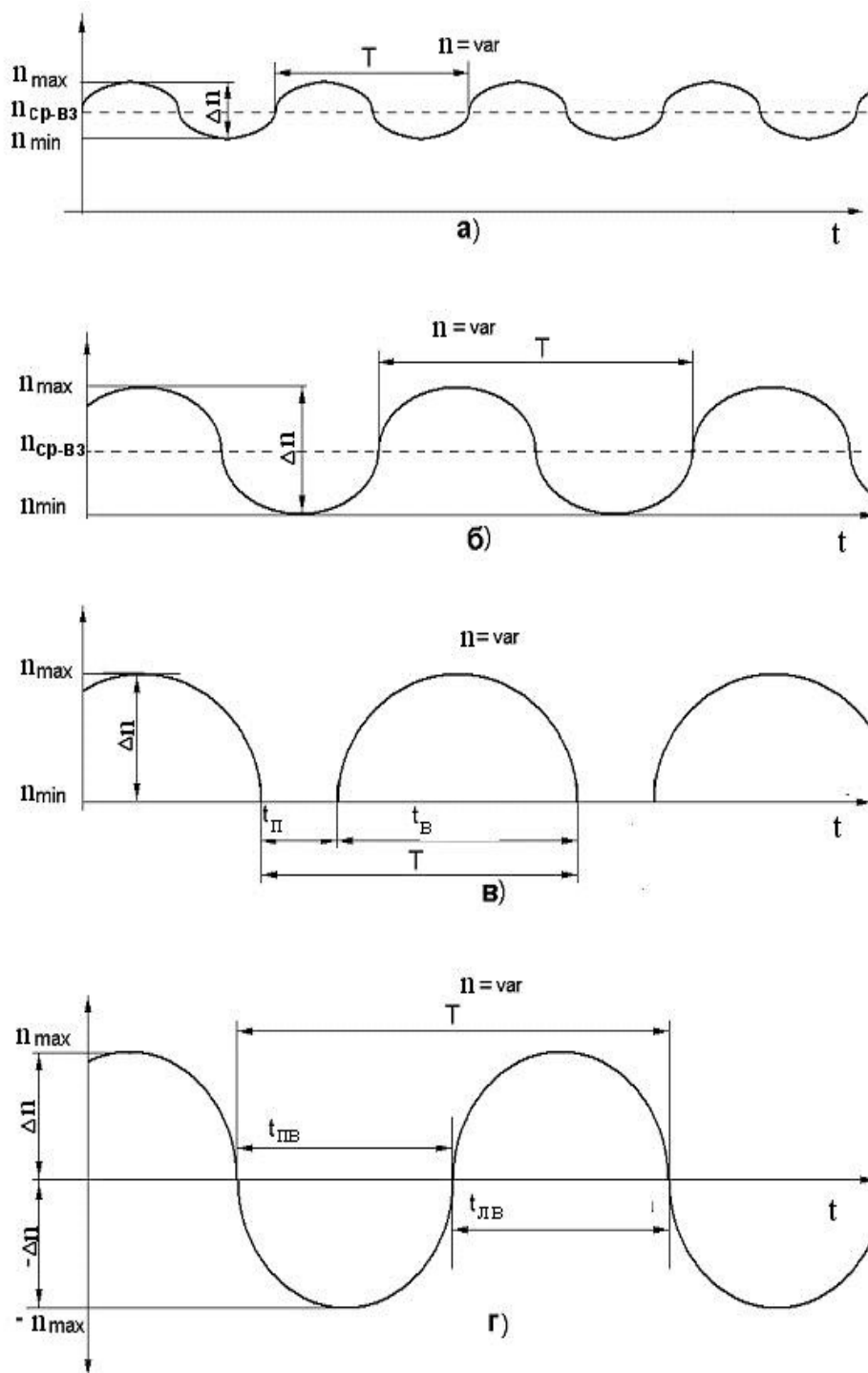


Рис. 1. Способи буріння з імпульсним обертанням інструменту: змінне обертання (а); пульсуюче обертання (б); переривчасте обертання(в); реверсивне обертання (г)

По амплітуді зміни частоти обертання інструменту способи буріння з імпульсним обертанням пропонується розділити на буріння зі змінним (рис.1, а), пульсуючим (рис.1, б), переривчастим (рис.1, в) і реверсивним (рис.1, з) обертанням інструменту.

Імпульсна технологія буріння зі змінним обертанням бурового інструменту (рис.1, а), характеризується такими параметрами:

- максимальная частота вращения n_{\max} ;
- мінімальна частота обертання n_{\min} ;
- середньозважена частота обертання $n_{\text{ср-вз}}$;
- амплітуда зміни частоти обертання Δn ;
- період (час циклу зміни частоти обертання) T ;
- частота зміни частоти обертання f ;

де
$$\Delta n = n_{\max} - n_{\min} ; \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{T} ; \quad (2)$$

$$n_{\min} > 0 ; \quad (3)$$

$$n_{\text{ср-вз}} = \frac{\int n(t)dt}{T} , \quad (4)$$

Імпульсна технологія буріння з пульсуючим обертанням інструменту (рис.1, б) характеризується такими ж параметрами, що і технологія зі змінним обертанням, проте зміна частоти обертання походить від максимальної частоти обертання n_{\max} до нуля, оскільки

$$n_{\min} = 0 ; \quad (5)$$

тоді
$$\Delta n = n_{\max} , \quad (6)$$

При цьому режимі обертання інструменту пульсації частоти обертання слідують один за одним без пауз між ними.

Основною відмінною особливістю імпульсної технології буріння з переривчастим обертанням (рис.1, в) є наявність пауз між імпульсами обертання зі зміною частоти обертання від нуля до n_{\max} . В цьому випадку, так само як і при пульсуючому режимі, $\Delta n = n_{\max}$, а період дорівнює сумі часів двох фаз: фази обертання інструменту і фази паузи в обертанні

$$T = t_e + t_n , \quad (7)$$

де t_e - тривалість фази обертання інструменту, t_n – тривалість фази паузи в обертанні, тобто перебування інструменту без обертання.

При цьому режимі обертання інструменту $t_n = t_i$. Якщо t_i стане рівним нулю, паузи не буде ($t_n = 0$) і режим обертання перейде з переривчастого в пульсуючий.

Імпульсна технологія буріння з реверсивним обертанням характеризується наявністю в одному періоді двох напрямів обертання: прямого і зворотного, тобто правого обертання і лівого обертання. Буровий інструмент після досягнення частоти його обертання нульового значення здійснює обертання в протилежну сторону. Таким чином, період зміни частоти обертання бурового інструменту при реверсивному його русі дорівнює сумі тривалості двох фаз

$$T = t_{\text{не}} + t_{\text{ле}} , \quad (8)$$

де $t_{\text{не}}$ – тривалість фази прямого обертання, наприклад правого обертання; $t_{\text{ле}}$ – тривалість фази зворотного обертання, відповідно лівого обертання.

При цьому

$$\Delta n = \pm n_{\max}, \quad (9)$$

а тривалість фази паузи між реверсуванням обертання дорівнює нулю

$$t_n = 0, \quad (10)$$

Таким чином усі п'ять режимів обертання інструменту при бурінні: один режим при $n = const$ і 4 режими при $n = var$ (рис. 1); знаходяться в тісному спадкоємному зв'язку між собою :

- при $\Delta Q = 0$ імпульсне обертання зі змінною частотою $n = var$ (рис. 1, а) переходить в режим стаціонарного обертання з $\Delta n \leq n_{\max}$

- при $\Delta n = n_{\max}$ режим змінного обертання (рис. 1, а) переходить в режим пульсуючого обертання (рис.1, б) і, навпаки, пульсуюче обертання стане змінним обертанням, якщо;

- пульсуюче обертання стане переривчастим, якщо в нім порушиться умова $t_n = 0$ і t_n стане більше нуля $t_n > 0$ відповідно, переривчастий рух перейде в пульсуюче досягши паузи нульового значення ($t_n = 0$) ;

- реверсивне обертання перетвориться в переривчасте, якщо одна з фаз (лівого або правого обертання) не реалізовуватиметься.

Реалізація буріння з імпульсним обертанням інструменту може бути здійснена із застосуванням як забійних, так і поверхневих пристроїв. Розглянемо деякі приклади буріння із застосуванням забійних пристроїв.

Значний інтерес представляє заглибний вібробур, що встановлюється безпосередньо на породоруйнівний інструмент [3].

У Криворізькому басейні був випробуваний буровий вібраційно-обертальний колонковий снаряд ВКС-1 (рис. 3), що використовує власні, мимовільні коливання бурової колони.

Снаряд ВКС-1 підсилює вібрації, збільшуючи швидкість буріння на 25–30%, одночасно знижує навантаження на бурильну колону [6].

Як показали спостереження за роботою снаряда ВКС-1, основними джерелами крутильних коливань є: неоднорідність механічних властивостей породи на забої свердловини, наявність залишкових деформацій породи, неоднозначність коефіцієнта тертя залежно від швидкості руху зв'язаних поверхонь.

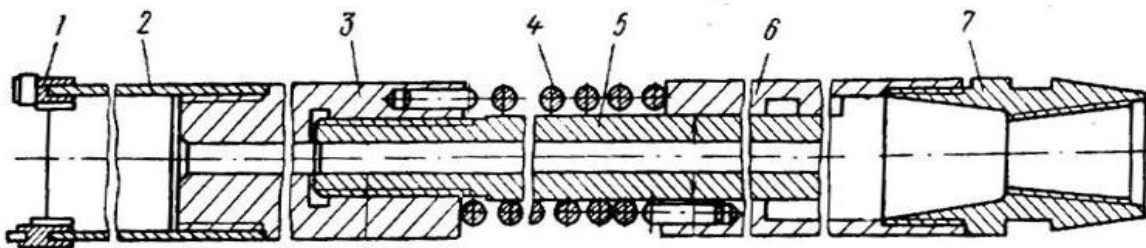


Рис.2. Вібраційно-обертальний колонковий снаряд ВКС-1: 1 – різці; 2 – колонковий снаряд; 3 – обважнювач; 4 – робочі пружини; 5 – стержні; 6 – циліндр; 7 – перехідник

При цьому при передачі крутильного моменту через пружний елемент від обертача, який рухається з постійною кутовою швидкістю, до породоруйнівного інструменту останній здійснюватиме пульсуючі рухи. При цьому змінюється характер дії різців на забій. Реактивний момент сил опору забою викликає спочатку крутильну деформацію пружної ланки з накопиченням в ній потенційної енергії. Внаслідок крихкого руйнування забою ріжуча кромка в початковий період ковзатиме по забою з кутовою швидкістю, більшою, ніж кутова швидкість обертача. В міру наростання сил опору швидкість її зменшуватиметься. Як показали досліди, навіть при змочених поверхнях твердого сплаву і породи між силою тертя і відносною швидкістю

переміщення існує нелінійна залежність, із збільшенням швидкості сила тертя зменшується. Після переходу положення рівноваги швидкість різця почне зменшуватися, а крутильний момент збільшуватися за рахунок зростання сил опору і сил тертя при зменшенні швидкості. Пружна ланка почне закручуватися, накопичуючи потенційну енергію, після чого процес повториться і снаряд здійснюватиме крутильні коливання.

Експериментальна перевірка вібросилового режиму при бурінні порід міцністю $f = 10\text{--}12$ із застосуванням віброколонкового снаряда ВКС-1 на верстаті з гвинтовою подачею ВСЗ, що розвивав осьове зусилля до 30 кН, була встановлена можливість підвищення швидкості буріння мінімум в два рази, а стійкості бурової коронки – в півтора рази в порівнянні з силовим режимом буріння [3].

У Дніпропетровському гірничому інституті (зараз Національний гірничий університет) розроблено пристрій для гасіння вібрацій бурильної колони [4]. Він є забійним гумометалевим амортизатором (ЗГМА) – рис. 2.

Цей амортизатор призначено для гасіння крутильних, подовжніх і поперечних віброколиваний колони.

Демфуючим елементом служать гумові втулки, що привулканіровані до зовнішнього і внутрішнього корпусів амортизатора і передають крутильний момент і осьове навантаження породоруйнівному інструменту.

Амортизатор складається з набору гумометалевих елементів. Багато елементів підвищує надійність роботи, і що найголовніше, збільшує працездатність конструкції за рахунок зменшення жорсткості системи. Надійність роботи його конструкції, досягається ще і тим, що нижня частина амортизатора забезпечена тарільчатими (від осьових навантажень) і радіальними (від тангентальних перевантажень) упорами.

Відмінність пристрою ЗГМА від снарядів ВКС-1 полягає в тому, що пружний елемент виконаний не у вигляді пружини, а у вигляді гумових втулок. Механізм роботи обох пристроїв однаковий.

Виробничі випробування дослідної партії забійних гумометалевих амортизаторів проводилися в Донбасі [5].

Буріння планових свердловин проводилося в інтервалі глибин 50–1200 м. Як порівняння був прийнятий обертальний спосіб буріння алмазними і твердосплавними коронками. Вживання забійних амортизаторів різко скоротило кількість аварій, поломок бурового інструменту, дозволило збільшити механічну швидкість буріння:

- твердосплавними коронками на 25%;
- алмазними коронками на 30%.

В процесі випробувань гумометалевих амортизаторів збільшилася проходка за рейс:

- твердосплавними коронками на 15%;
- алмазними коронками на 12%.

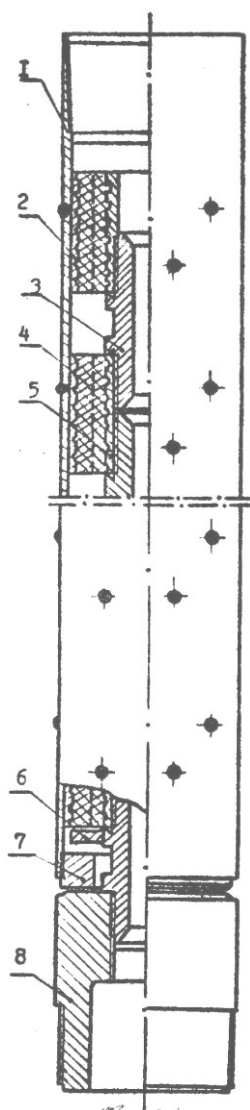


Рис.3. Забійний гумометалевий амортизатор (ЗГМА): 1 – корпус; 2 – зовнішня обойма; 3 – ніпель; 4 – пружний елемент; 5 – внутрішня обойма; 6 – запобіжне кільце; 7 – стопорне кільце; 8 – перехідник

Буріння неглибоких свердловин і шпурів.

У Кузбасівському політехнічному інституті [6] зроблено обґрунтування нових конструктивних схем бурильних машин для буріння шпурів і неглибоких свердловин.

Спосіб буріння з пульсуючим обертанням інструменту був випробуваний, а потім і упроваджений на Уралі при бурінні свердловин діаметром 0,135 м з денної поверхні на глибину 3,5 м в породах міцністю $f = 8-10$.

Буріння здійснювалося установкою УГБ-50М, забезпеченою фрикційною муфтою, що дозволяє періодично переривати обертання.

Режим буріння: осьове навантаження $P_0 = 50$ кН, частота обертання $n = 120$ мін^{-1} , час буріння $T_6 = 5-10$ с, час паузи $T_0 = 1-2$ с. Паралельно бурилися свердловини з постійним обертанням інструменту. Всього було пробурено під час випробування 5600 свердловин.

Аналіз отриманих даних показав, що не дивлячись на те, що буріння велося не в оптимальному режимі (замість 120 робилося 10 зупинок в хвилину без наявності ударних навантажень) проте час буріння однієї свердловини скоротився, і економічний ефект склав 42 тис. крб. в цінах 1991 року. Комісія, що проводила випробування, рекомендувала даний спосіб для буріння порід III–IV категорії міцності.

Буріння глибоких свердловин на нафту і газ.

У Полтавському відділенні Українського державного геологорозвідувального інституту розроблено спосіб буріння і пристрій для його здійснення [7].

Спосіб буріння свердловин з обертанням породоруйнівного інструменту відрізняється тим, що обертання породоруйнівного інструменту переводять за допомогою перетворювачів обертання в імпульсно-обертальне від стану спокою при поглибленні озброєння інструменту в породу до прискореного обертання при її сколюванні, а час впровадження озброєння регулюється міцністю породи на зрушення.

Пристрій для здійснення цього способу буріння свердловин включає порожнистий корпус із сполучним перевідником, центральний патрубок з перевідником і пружний елемент, розміщений в кільцевій порожнині між корпусом і патрубком, і відрізняється

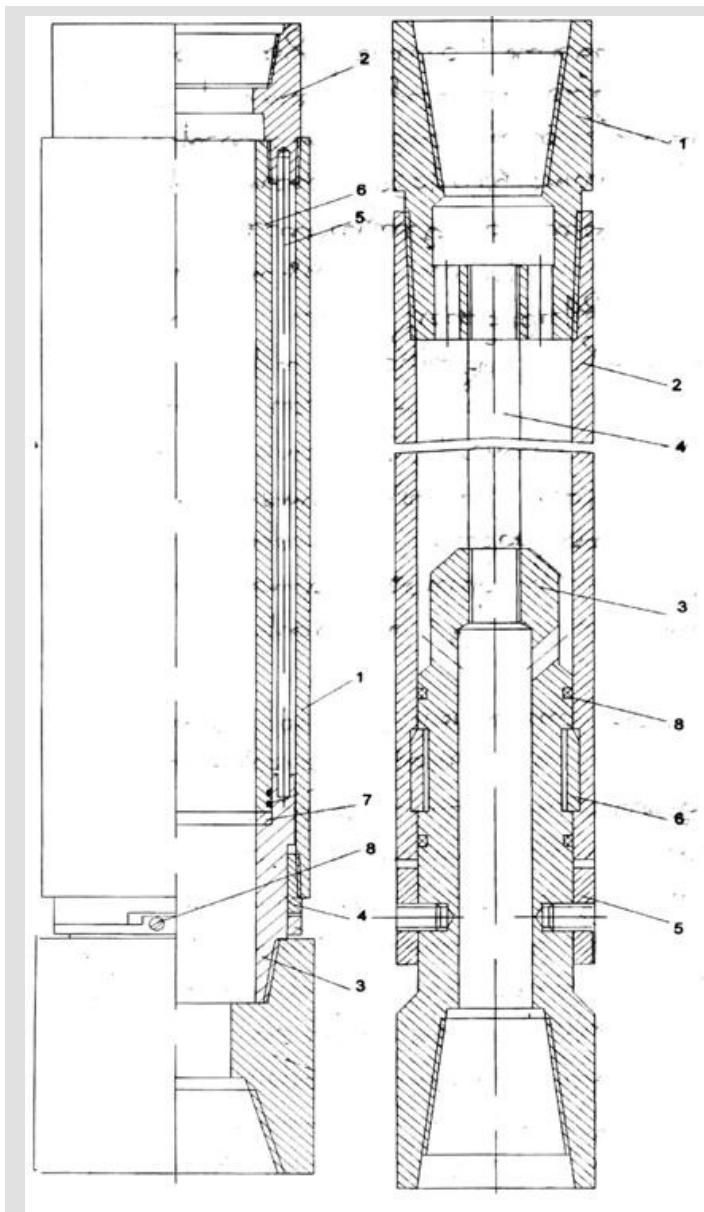


Рис. 4 – Наддолотні перетворювачі енергії обертання бурильної колони в енергію руйнування гірських порід: а, б – варіанти конструкції наддолотників: 1 – захисний кожух; 2 – вал; 3 – нижній вал; 4 – втулка; 5 – стержні; 6 – центральна опора; 7 – гумове кільце 8 – стопори

тим, що в перевідниках виконано гнізда, в які встановлені пружні елементи у вигляді стержнів, а перевідник центрального корпусу розміщений в корпусі з можливістю проворота і зафіксований від осьових переміщень фасонною гайкою, внизу якої встановлений обмежувач проворота нижнього перевідника відносно корпусу.

Полтавським відділенням УкрДГРІ запропоновано декілька варіантів конструкцій наддолотників (рис. 4).

Наддолотники, розроблені УкрДГРІ, пройшли стендові і промислові випробування і показали високі результати [8,9].

Використання наддолотника забезпечує підвищення показників відпрацювання доліт, зокрема:

- збільшення механічної швидкості – на 71,1%;
- збільшення проходки на долото – на 126,4%;
- збільшення стійкості долота – на 10,5%;
- економія доліт – 124,3%.

У лабораторії кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин Державного ВНЗ «НГУ» проведені експериментальні стендові дослідження буріння з імпульсним обертанням бурового інструмента поверхневим регульованим електроприводом.

Для виконання експериментальних досліджень задавача імпульсного обертання електромеханічної системи був виготовлено експериментальну установку яка складається з свердлильного станка та перетворювача частоти та задавача імпульсного обертання. Схема дослідного стенда наведена на рис. 5.

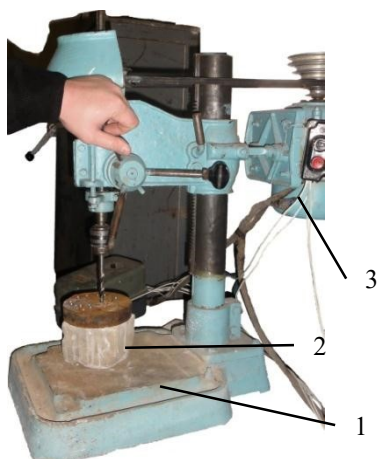


Рис. 5. Фотодослідний стенд: 1 – дослідний матеріал, 2 – установка свердління отворів, 3 – двигун

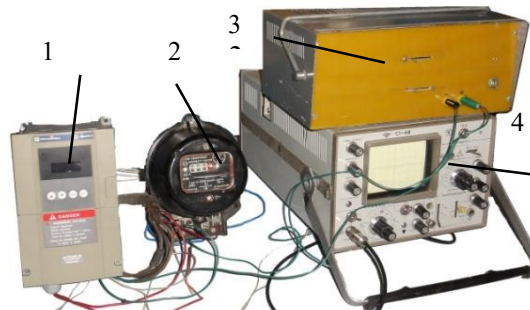


Рис. 6. Електрична частина стенда

В результаті проведених експериментальних досліджень можливо зробити наступні висновки:

- запропонований задавач імпульсного обертання електромеханічної системи є робото спроможним,
- енергоємність процесу буріння (свердління) з імпульсною швидкістю обертання на різних матеріалах зменшується порівняно з постійною швидкістю обертання,
- швидкість буріння з імпульсною швидкістю обертання на різних матеріалах заростає порівняно з постійною швидкістю обертання – табл. 2.

Таблиця 2. Результати стендових досліджень буріння

Матеріал	Зріст швидкості буріння, v %	Зменшення енергоємності, А %
Мармур	30	17
Силікат	34	15
Сталь	30	1,6
Граб	97	3,1

Висновки

Таким чином проведений аналіз стану буріння з імпульсним обертанням бурового інструменту дозволяє зробити наступні висновки:

1. Імпульсні технології буріння можуть здійснюватися в трьох режимах технологій: моно-, би- і трипараметрическая.

2. Імпульсне обертання інструменту при бурінні може бути реалізовано одним з чотирьох способів: змінне обертання, пульсуюче обертання, переривчасте обертання; реверсивне обертання

3. Реалізація імпульсного обертання може бути здійснена пристроями:

-по місцю розташування: забійні, поверхневі;

-по принципу роботи: механічні (з використанням сили пружності погрузного пружного елемента), електричні (поверхневий імпульснорегулируемый електропривод, погрузной імпульснорегулируемый електробур), гідравлічні (імпульснорегулируемые турбобури і вентовые двигуни), комбініровані.

В статье рассмотрены перспективы развития бурения с импульсным вращением инструмента. Целью этого бурения является повышение эффективности процесса разрушения горной породы, снижения расходов и уменьшения энергоёмкости при проходке скважины. В работе рассматривается возможность использования импульсной технологии бурения с переменной частотой вращения породоразрушающего инструмента.

Ключевые слова: частота, импульс, бурение.

In the article considered development of the boring drilling with the impulsive rotation of instrument. The aim of this boring drilling is an increase of efficiency of process of destruction of mountain breed, cost and reduction of power-hungryness cutting at driving of mining hole. Possibility of the use of impulsive technology of the boring drilling is in-process examined with variable frequency of rotation of instrument.

Key words: are frequency, impulse, boring drilling.

Література

1. Дослідження термомеханічного руйнування гірських порід при разв е дочно бурінні з генеруванням теплової енергії тертя; Про т чет про НДР / Дніпропетровський гірничий інститут / ДГІ /; Керівник А.А.К о жевніков. – № ГР 01850043527; – Дніпропетровськ, 1986. – 132 с.
2. Кожевников А.А. Імпульсні технології буріння свердловин // Тези доп. междунар конф. «Механіка гірських порід при бурінні». – Грозний, – 1992. – С. 43–44.
3. Воздвиженський В.І., Сидоренко А.К., Скорняков А.Л. Сучасні способи буріння свердловин. – М.: Недра, 1978. – 342 с.
4. А. с. 649820. Пристрій для гасіння вібрацій бурильної колони. Е.Ф. Епштейн, А.І. Шепель, А.А. Кожевников та ін
5. Результати відпрацьовано-ботки алмазних і твердосплавних коронок з використанням забійних резінометаліческих амортизаторів / Е.Ф. Епштейн, А.І. Шепель, А.А. Кожевников та ін. // Тези доп. Всесоюз. н-т конф. «Шляхи вдосконалення

- твердосплавного і алмазного бурового інструменту і розширення областей його застосування». Самарканд. – С. 184–189.
6. Якунін М.К. Розробка теорії і способу буріння порід з пульсующою подачею інструменту. Автореф. дисс. на здобуття уч.ст. д. т. н. Кузбаський політехнічний інститут, друкарня КузПІ., 1989.
 7. Патент України № 17447. Бюл. № 5 31.10.1997. / П.І. Світалка. Способ буріння свердловин та Пристрій для его Здійснення/
 8. Войтович А.Ф., Світалка П.І., Виноградов Г.В. Про можливості підвищення ефективності відпрацювання алмазних доліт в процесі буріння свердловин на нафту і газ // Тез. докл.V міжнарод. конф. «Породоразрушающий і металообробний інструмент – техніка і технології його виготовлення і застосування». Київ, 2002. – С. 72–75.
 9. Вплив застосування наддолотніка на техніко-економічні показателі буріння свердловин / П.І. Світалка, З.М. Дуда, В.В. Невежін, В.В. Соловійов. – Наук.-техн. аб. ІФТУПГ. Івано-Франківськ. – 2001. – Вип. 38 (том2). – С. 29–34.
 10. Вібраційне і ударно-обертальний буріння / Ф.Ф. Воскресенський, А.В. Кичигин та ін. – М.: Гостоптехіздат, 1961. – 244 с.

Надійшла 15.07.14

УДК 622.24.085

А. А. Каракозов, канд. техн. наук, **С. Н. Парфенюк**

Донецкий национальный технический университет, Украина

РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ ГИДРОУДАРНИКОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА ШЕЛЬФЕ

В статье рассмотрены вопросы создания расчётной модели гидроударников двойного действия с дифференциальным поршнем, приведены результаты численного моделирования рабочего цикла гидроударника и их сравнение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: бурение геологоразведочных скважин на шельфе, гидроударные буровые снаряды, гидроударник.

Гидроударники двойного действия с дифференциальным поршнем имеют достаточно продолжительную историю эксплуатации в практике геологоразведочного бурения: при ликвидации прихватов бурового снаряда; при ударно-вращательном бурении скважин с отбором керна; в гидроударных снарядах для бурения в нескальных породах на шельфе.

В настоящее время при расчёте рабочих параметров и проектировании этих гидроударников используется метод, разработанный О. И. Калиниченко [1] на основе исследований Е. Ф. Эпштейна, Г. И. Неудачина, В. Г. Ясова, А. А. Кожевникова и др. [2–5]. Этот метод при определённых условиях с достаточной точностью даёт возможность определить параметры гидроударника и успешно использовался при проектировании ряда конструкций, используемых в практике буровых работ. Детальный анализ этого метода показывает, что и он требует некоторого уточнения. Для этого рассмотрим схему работы гидроударника (рис. 1).

Буровой насос с компенсатором (рис. 1 а), соединяется подводным трубопроводом площадью f_t с гидроударником, в состав которого входят: впускной 1 и выпускной 2 клапана с ограничителем 3 и пружиной 4, цилиндр 5, дифференциальный поршень 6 со штоком 7, боёк 8, верхняя 9 и нижняя 10 наковальни.