



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **96945** (13) **C2**
(51) **МПК**
E21B 7/24 (2006.01)
E21B 10/36 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ БУРІННЯ З ПОКРАЩЕНИМИ РЕЗОНАНСНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) a200900001
(22) 11.06.2007
(24) 26.12.2011
(86) PCT/GB2007/002140, 11.06.2007
(31) 0611559.6
(32) 09.06.2006
(33) GB
(31) 0708193.8
(32) 26.04.2007
(33) GB
(46) 26.12.2011, Бюл.№ 24, 2011 р.
(72) ВІЄРСІГРОХ МАРІАН, GB
(73) ЮНІВЕРСИТЕТ КОРТ ОФ ЗЕ ЮНІВЕРСИТЕТ ОФ АБЕРДІН, GB
(56) US 3990522 A, 09.11.1976
GB 328629 A, 30.04.1930
GB 2345931 A, 26.07.2000
SU 587235 A1, 05.01.1978
SU 265592 A1, 09.03.1970
SU 64525 A1, 30.04.1945
(57) 1. Спосіб контролю бурового долота для використання з буровим пристроєм, що включає бурове долото, придатне для коливального та ротаційного навантаження, та засоби управління для здійснення контролю за застосованим ротаційним та/або коливальним навантаженням бурового долота, при цьому засоби управління мають засоби регулювання для зміни застосованого ротаційного та/або коливального навантаження, при цьому зазначені засоби регулювання реагують на параметри матеріалу, через який проходить бур; при цьому засоби регулювання також контролюють застосоване ротаційне та коливальне навантаження бурового долота таким чином, щоб досягти та підтримувати резонанс між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним, спосіб також включає визначення відповідних параметрів навантаження для бурового долота відповідно до наступних етапів для досягнення та підтримки резонансу між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним:
А) визначення межі амплітуди бурового долота під час резонування та взаємодії з матеріалом, що буриться;

2

В) розрахунок відповідного діапазону коливань частоти для навантаження бурового долота;
С) розрахунок форми резонансної кривої;
D) вибір оптимальної резонансної частоти на резонансній кривій у точці, меншій ніж максимум на резонансній кривій; та
Е) приведення у дію бурового долота на основі цієї оптимальної резонансної частоти.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що бурове долото має відповідну конфігурацію для завадання ударної дії на матеріал з метою утворення сукупності перших макротріщин, після чого бурове долото продовжує обертатися та завдавати ударної дії на матеріал задля утворення подальших макротріщин, причому ротаційні та коливальні рухи бурового долота синхронізовані для сприяння взаємному з'єднанню утворених макротріщин таким чином, щоб створити локалізовану динамічну зону поширення розлому перед буровим долотом.
3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що спосіб використовується для буріння гірських порід, а утворені макротріщини мають довжину до 10 мм.
4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що високочастотне коливання, що застосовується до бурового долота, сягає до 1 кГц.
5. Спосіб за п. 3 або 4, який **відрізняється** тим, що привід бурового долота забезпечує обертання зі швидкістю 200 обертів на хвилину.
6. Спосіб за будь-яким з пп. 2-5, який **відрізняється** тим, що ротаційне та коливальне навантаження, застосоване до бурового долота, контролюється таким чином, щоб підтримувати резонанс між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним.
7. Спосіб за будь-яким з пп. 2-6, який **відрізняється** тим, що динамічна зона поширення розлому простирається радіально назовні не більше ніж на 1/20 діаметра бурового долота від зовнішнього краю бурового долота.
8. Спосіб за будь-яким з пп. 3-7, який **відрізняється** тим, що розмір часток розбуреної породи сягає до 10 мм.
9. Спосіб за будь-яким з пп. 3-8, який **відрізняється** тим, що спосіб застосовують для одного чи кількох видів буріння, наприклад, свердловин газу,

(19) **UA** (11) **96945** (13) **C2**

що надходить з невеликих глибин, крихких зон та зон розлому високого тиску.

10. Буровий пристрій, що містить:

бурове долото, придатне для ротаційного та високочастотного коливального навантаження; та засоби управління для здійснення контролю за застосованим ротаційним та/або коливальним навантаженням бурового долота, при цьому засоби управління мають засоби регулювання для зміни застосованого ротаційного та/або коливального навантаження, при цьому зазначені засоби регулювання реагують на параметри матеріалу, через який проходить бур,

при цьому засоби управління, встановлені на пристрої, застосовуються у місцезнаходженні бурової свердловини та обладнані датчиками для здійснення вимірів характеристик матеріалу всередині бурової свердловини, а сам пристрій працює у свердловині в режимі замкнутої системи управління в реальному часі,

буровий пристрій також включає:

засоби для визначення межі амплітуди бурового долота під час резонування та взаємодії з матеріалом, що буриться;

засоби для розрахунку відповідного діапазону коливань частоти для навантаження бурового долота;

засоби для вибору оптимальної резонансної частоти на резонансній кривій у точці, меншій ніж максимум на резонансній кривій; та

засоби для приведення у дію бурового долота на основі цієї оптимальної резонансної частоти.

11. Пристрій за п. 10, який **відрізняється** тим, що засоби управління здійснюють контроль за дією бурового долота на матеріал з метою утворення сукупності перших макротріщин, після чого засоби управління продовжують контролювати бурове долото з метою обертання та ударної дії на матеріал задля утворення подальших макротріщин, причому засоби управління синхронізують ротаційні та коливальні рухи бурового долота з метою сприяння взаємному з'єднанню утворених макротріщин таким чином, щоб створити локалізовану динамічну зону поширення розлому перед буровим долотом.

12. Агрегат бурового долота для використання на буровому пристрої за п. 10 або 11, що складається із:

бурової колони, яка має бурову трубу та коміри бура; та

бурового долота, придатного до високочастотного коливального та ротаційного навантаження;

засобів управління, що застосовуються у місцезнаходженні бурової свердловини, для здійснення контролю за застосованим ротаційним та/або коливальним навантаженням бурового долота, при цьому засоби управління мають засоби регулювання для зміни застосованого ротаційного та/або коливального навантаження, при цьому зазначені засоби регулювання реагують на параметри матеріалу, через який проходить бур,

при цьому навантаження бурової колони на метр до 70 % менше, ніж навантаження традиційної бурової колони, що застосовується для такого ж діаметра свердловини та таких же самих умов буріння.

13. Агрегат за п. 12, який **відрізняється** тим, що навантаження бурової колони на метр є в основному на 70 % менше, ніж навантаження традиційної бурової колони, що застосовується для такого ж діаметра свердловини та таких же самих умов буріння.

14. Агрегат за п. 12 або 13, який **відрізняється** тим, що засоби регулювання контролюють застосоване ротаційне та коливальне навантаження бурового долота у такий спосіб, щоб підтримувати резонанс між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним.

15. Агрегат за будь-яким з пп. 12-14, який **відрізняється** тим, що засоби регулювання встановлюють параметри навантаження бурового долота з метою визначення резонансних умов між буровим долотом та матеріалом, що буриться, за допомогою наступного алгоритму:

A) розрахунок нелінійного резонансного відгуку бурового долота без впливу матеріалу, що буриться;

B) оцінка сили ударів для утворення зони поширення розлому у матеріалі, що буриться;

C) розрахунок нелінійних характеристик жорсткості роздробленого матеріалу, що буриться;

D) розрахунок резонансної частоти бурового долота, яке взаємодіє із матеріалом, що буриться; та

E) перерахунок значення резонансної частоти для стабільного режиму шляхом включення нелінійних характеристик жорсткості роздробленого матеріалу, що буриться.

16. Агрегат за п. 15, який **відрізняється** тим, що алгоритм ґрунтується на визначенні нелінійної функції відгуку.

17. Агрегат за будь-яким з пп. 12-16, який **відрізняється** тим, що засоби регулювання можуть селективно дезактивувати коливальне навантаження бурового долота при бурінні м'яких порід.

Даний винахід стосується бурової установки, зокрема бурової установки для буріння такого матеріалу, як наприклад, гірські породи.

Промисел буріння у гірських породах та інших матеріалах сприяв цілому ряду розробок у сфері технологій буріння. В цьому сенсі, екстремальні суворі умови, за яких здійснюється цей вид буріння, а також його вартість та пов'язані з ним еколо-

гічні питання, висувають жорсткі вимоги щодо ефективності, надійності та безпеки способів буріння.

Як наслідок, промисловості, у яких застосовують буріння свердловин, такі як нафтовидобувна промисловість, зацікавлені у розробці бурових установок та способів, що задовольняють цим

вимогам та пришвидшують швидкість буріння і зменшують зношення обладнання.

У зв'язку з цим, нафтовидобувна промисловість все частіше стикається з потребою бурити свердловини із викривленим стовбуром чи горизонтальні свердловини дальньої досяжності у пошуках нових запасів нафти. Проте, подібне буріння також пов'язане із рядом проблем, що ускладнюють завдання існуючої технології буріння, як наприклад, вимоги щодо низького навантаження на бурове долото, можливість роботи у режимі зниженої потужності, мінливість структури породи уздовж свердловини, небезпека обвалів/розломів свердловини, висока вартість спусково-підіймальних операцій та підвищений рівень зносу та виходу з ладу інструменту.

Відомо, що швидкість буріння за певних обставин може бути покращена шляхом застосування зворотно-поступальних осьових рухів до бурового долота. Під час проходження через матеріал, що підлягає бурінню, тобто завдяки так званому ударному бурінню. Це пояснюється тим, що дія таких осьових рухів сприяє роздробленню матеріалу, що буриться, таким чином, полегшуючи подальше буріння та видалення породи.

При традиційному ударному бурінні, механізм проникнення базується на роздробленні матеріалу у буровій свердловині внаслідок потужних низькочастотних неконтрольованих ударів, що наносяться буровим долотом. У такий спосіб, швидкість буріння середньо-твердих та твердих порід може прискорюватися порівняно зі стандартним роторним бурінням. Проте, недоліком такого способу є те, що ці удари шкодять стабільності стовбура бурової свердловини, погіршують якість свердловини та спричиняють прискорене, і часто катастрофічне, зношення та/або вихід із ладу інструменту.

Іншою важливою розробкою у сфері технології буріння стало застосування ультразвукових осьових коливань до бурового долота, що обертається. У такий спосіб, ультразвукове коливання, замість окремих ударів високого навантаження, застосовується з метою сприяння поширенню розлому. Цей спосіб може забезпечити значні переваги перед традиційним ударним бурінням, оскільки він уможливує застосування більш низьких навантажень, дозволяючи при цьому здійснювати буріння із низьким навантаженням на бурове долото. Проте, вдосконалення, які демонструє ультразвукове буріння, не завжди є послідовними та не є такими, що безпосередньо застосовуються буріння свердловин.

Таким чином, предмет даного винаходу полягає у забезпеченні приладу та способу буріння, які сприяють уникненню зазначених проблем.

Відповідно до першого аспекту даного винаходу забезпечується буровий пристрій, що включає бурове долото, придатне для ротаційного та високочастотного коливального навантаження; засоби управління для здійснення контролю за застосованим ротаційним та/або коливальним навантаженням бурового долота, при цьому засоби управління мають засоби регулювання для зміни застосованого ротаційного та/або коливального

навантаження, при цьому зазначені засоби регулювання реагують на параметри матеріалу, через який проходить бур, при цьому засоби управління, встановлені на пристрої, застосовуються у місцезнаходженні бурової свердловини та обладнані датчиками для здійснення вимірів характеристик матеріалу всередині бурової свердловини, а сам пристрій працює у свердловині в режимі замкнутої системи управління в реальному часі.

У такий спосіб буровий пристрій може функціонувати автономно та регулювати ротаційне та/або коливальне навантаження бурового долота залежно від поточних умов буріння, таким чином оптимізуючи механізм буріння та отримуючи покращення швидкість буріння.

Переважно, засоби управління здійснюють контроль за дією бурового долота на матеріал з метою утворення сукупності перших макротріщин, після чого засоби управління продовжують контролювати бурове долото з метою обертання та ударної дії на матеріал задля утворення подальших макротріщин, при чому засоби управління синхронізують ротаційні та коливальні рухи бурового долота з метою сприяння взаємному з'єднанню утворених макротріщин таким чином, щоб створити локалізовану динамічну зону поширення розлому перед буровим долотом.

Задля зручності засоби регулювання контролюють застосоване ротаційне та коливальне навантаження бурового долота таким чином, щоб досягти та підтримувати резонанс між буровим долотом та матеріалом, що буриться, який знаходиться у контакті з зазначеним долотом. Такий резонанс у системі, яка включає бурове долото та матеріал, що буриться, мінімізує споживання енергії, потрібної для приведення у дію бурового долота, у такий спосіб покращується поширення тріщин у матеріалі перед буровим долотом, спрощуючи процес буріння та, таким чином, збільшуючи швидкість буріння.

Відповідно до другого аспекту даного винаходу забезпечується спосіб управління буровим долотом для застосування разом з буровим пристроєм, що включає бурове долото, придатне для коливального та ротаційного навантаження, та засоби управління для здійснення контролю за застосованим ротаційним та/або коливальним навантаженням бурового долота, при цьому засоби управління мають засоби регулювання для зміни застосованого ротаційного та/або коливального навантаження, при цьому зазначені засоби регулювання реагують на параметри матеріалу, через який проходить бур; а також засоби регулювання контролюють застосоване ротаційне та коливальне навантаження бурового долота таким чином, щоб досягти та підтримувати резонанс між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним.

Переважно, спосіб також включає визначення відповідних параметрів навантаження для бурового долота відповідно до наступних етапів з метою досягнення та підтримки резонансу між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним:

А) визначення межі амплітуди бурового долота під час резонування та взаємодії з матеріалом, що буриться;

В) розрахунок відповідного діапазону коливань частоти для навантаження бурового долота;

С) розрахунок форми резонансної кривої;

Д) вибір оптимальної резонансної частоти на резонансній кривій у точці, меншій ніж максимум на резонансній кривій; та

Е) приведення у дію бурового долота на основі цієї оптимальної резонансної частоти.

У зв'язку з цим, верхня межа амплітуди бурового долота обирається відповідно до значення, при якому резонанс у буровому долоті не буде руйнівним. За межами цього граничного значення існує вірогідність, що резонанс буде спричиняти руйнівну дію.

Що стосується розрахунку придатного діапазону коливань частоти, він переважно обирається таким чином, щоб відповідний вузький діапазон міг бути оцінений та використаний для належного прискорення решти способу.

Форма резонансної кривої ґрунтується на базовій резонансній кривій лише для бурового долота, що модифікується з метою врахування взаємодії з матеріалом, який буриться. У цьому сенсі, на кривій вибирається точка, що є меншою ніж точка максимуму, з метою не допустити відхилення буру за межі максимального значення та переходу до нестабільної/непередбачуваної зони.

Відповідно до третього аспекту даного винаходу забезпечується спосіб буріння у матеріалі з використанням бурового долота, придатного для ротаційного та високочастотного коливального руху, при чому буре долото має відповідну конфігурацію для завдання ударної дії на матеріал з метою утворення сукупності перших макротріщин, після чого буре долото продовжує обертатися та завдавати ударної дії на матеріал задля утворення подальших макротріщин,

причому ротаційні та коливальні рухи бурового долота синхронізовані з метою сприяння взаємному з'єднанню утворених макротріщин таким чином, щоб створити локалізовану динамічну зону поширення розлому перед буровим долотом.

Переважно, спосіб використовується в контексті буріння гірських порід, а утворені макротріщини мають довжину до 10 мм, переважно близько 5 мм. Така максимальна довжина забезпечує високий контроль протяжності зони поширення розлому.

Прийнятним високочастотним коливанням, що застосовується до бурового долота, є 1 кГц.

Переважно, привід бурового долота забезпечує обертання зі швидкістю 200 обертів на хвилину.

Переважно, ротаційне та коливальне навантаження, застосоване на буре долото, контролюється таким чином, щоб підтримувати резонанс між буровим долотом та матеріалом, що буриться, які знаходяться у контакті одне з одним. Слід зазначити, що перевага полягає в тому, що за подібних резонансних умов, потрібно витратити менше енергії для створення зони поширення розлому.

Зазвичай, зона поширення розлому простирється радіально назовні не більше ніж на 1/20 діаметра бурового долота від зовнішнього краю бурового долота. Слід зазначити, що перевага полягає в тому, що ці технології забезпечення високого рівня контролю місцевого розлому мінімізують загальне навантаження на матеріал, що буриться.

Переважно, у контексті буріння гірських порід, розмір часток розбуреної породи сягає до 10 мм, переважно 5 мм. Вони є невеликими порівняно із частками породи, які утворюються при застосуванні традиційних технологій буріння та ілюструють поетапну зміну у прийнятій методології.

Зазвичай, даний спосіб є придатним до застосування для одного або кількох видів буріння, наприклад, свердловин газу, що поступає з невеликих глибин, крихких зон та зон розлому високого тиску. Це застосування є результатом способу даного винаходу, який забезпечує придатність для буріння свердловин з використанням технік локального розлому з високим рівнем контролю, які мінімізують загальне навантаження на матеріал, відносно якого здійснюється буріння.

Відповідно до четвертого аспекту даного винаходу забезпечується агрегат бурового долота, що складається із:

бурової колони, яка має бурову трубу та комір бура; та

бурового долота, придатного до високочастотного коливального та ротаційного навантаження;

засобів управління, що застосовуються у місцезнаходженні бурової свердловини, для здійснення контролю за застосованим ротаційним та/або коливальним навантаженням бурового долота, при цьому засоби управління мають засоби регулювання для зміни застосованого ротаційного та/або коливального навантаження, при цьому зазначені засоби регулювання реагують на параметри матеріалу, через який проходить бур, при цьому навантаження бурової колони на метр до 70 % менше, ніж навантаження традиційної бурової колони, що застосовується для такого ж діаметра свердловини та таких же самих умов буріння.

Зазвичай, навантаження бурової колони на метр становить між 40 та 70 % менше, ніж навантаження традиційної бурової колони, що застосовується для такого ж діаметра свердловини та таких же самих умов буріння.

Переважно, навантаження бурової колони на метр є в основному на 70 % менше, ніж навантаження традиційної бурової колони, що застосовується для такого ж діаметра свердловини та таких же самих умов буріння.

У такий спосіб, буровий пристрій може регулювати ротаційне та/або коливальне навантаження бурового долота відповідно до поточних умов буріння, щоб таким чином оптимізувати механізм буріння та отримати покращену швидкість буріння.

Зазвичай, засоби регулювання контролюють застосоване ротаційне та коливальне навантаження бурового долота у такий спосіб, щоб підтримувати резонанс системи, включаючи буре долото та матеріал, що буриться. Явище резонансу покращує поширення тріщин у матеріалі перед

буровим долотом, полегшуючи процес буріння та, таким чином, підвищуючи швидкість буріння. У цьому відношенні, застосоване ротаційне та коливальне навантаження ґрунтується на прогнозованому резонансі породи, до якої застосовується буріння.

Переважно, бурове долото має відповідну конфігурацію для завдання ударної дії на матеріал з метою утворення сукупності перших макротріщин, після чого бурове долото продовжує обертатися та завдавати ударної дії на матеріал задля утворення подальших макротріщин, при цьому засоби управління синхронізують ротаційні та коливальні рухи бурового долота з метою сприяння взаємному з'єднанню утворених макротріщин таким чином, щоб створити локалізовану динамічну зону поширення розлому перед буровим долотом.

Зазвичай, засоби регулювання встановлюють параметри навантаження бурового долота з метою визначення резонансних умов між буровим долотом та матеріалом, що буриться, за допомогою наступного алгоритму:

А) розрахунок нелінійного резонансного відгуку бурового долота без впливу матеріалу, що буриться;

В) оцінка сили ударів для утворення зони поширення розлому у матеріалі, що буриться;

С) розрахунок нелінійних характеристик жорсткості роздробленого матеріалу, що буриться;

Д) розрахунок резонансної частоти бурового долота, яке взаємодіє із матеріалом, що буриться; та

Е) перерахунок значення резонансної частоти для стабільного режиму шляхом включення нелінійних характеристик жорсткості роздробленого матеріалу, що буриться.

У цьому відношенні, застосоване ротаційне та коливальне навантаження ґрунтується на прогнозованому резонансі породи, до якої застосовується буріння.

Зазвичай, алгоритм визначає невідому нелінійну функцію відгуку.

Зазвичай, алгоритм ґрунтується на нелінійному динамічному аналізі, при якому динамічні взаємодії між буровим долотом та породою, що буриться, за резонансних умов моделюються шляхом поєднання аналітичних та чисельних методів.

Зазвичай, засоби регулювання корегують роботу засобів управління у такий спосіб, щоб ті змінювали застосовані параметри буріння з метою підтримки резонансу гірської породи, що знаходиться у безпосередньому контакті з буровим долотом по мірі його просування.

Зазвичай, засоби регулювання можуть селективно дезактивувати коливальне навантаження бурового долота при бурінні м'яких порід. У такий спосіб, коливання можуть бути дезактивовані при бурінні м'яких порід з метою уникнення несприятливої дії, таким чином, забезпечуючи зсувні коливання від ротаційного руху для ефективного буріння, та, що найважливіше, усуваючи потребу в заміні бурового долота між твердими та м'якими породами.

Приклад даного винаходу буде описано нижче з посиланням на фігури, що додаються, з яких:

Фігура 1 зображує буровий модуль відповідно до варіанту даного винаходу; та

Фігура 2 графічно ілюструє, яким чином визначаються параметри для встановлення резонансних умов відповідно до даного винаходу.

Розвиваючи даний винахід, було з'ясовано, що надзвичайно висока швидкість буріння може бути досягнута під час буріння у таких матеріалах, як гірські породи, коли навантаження бурового долота встановлене таким чином, щоб сприяти резонансу у системі, сформованій буровим долотом та породою, що буриться.

Попри те, що отримання цього резонансу є можливим на випробувальному стенді з використанням стандартизованих зразків, зовсім іншою справою є буріння у природних гірських породах. Це пояснюється тим, що умови буріння змінюються від шару до шару в межах породи. Відповідно, резонансні умови змінюються по всій породі, і таким чином, резонансні умови не можуть підтримуватися протягом усього процесу буріння.

Даний винахід вирішує цю проблему шляхом визнання явища нелінійного резонансу при бурінні у матеріалі та спрямований на підтримку резонансу у комбінованій системі бурового долота та матеріалу, що буриться.

З метою досягнення зазначених цілей заявники, шляхом точної ідентифікації параметрів та механізмів, що впливають на буріння, розробили точну та надійну математичну модель динамічних взаємодій у буровій свердловині. Ця математична модель дозволяє даному винаходу розраховувати та використовувати механізми зворотного зв'язку для автоматичного регулювання параметрів буріння таким чином, щоб підтримувати резонанс на об'єкті бурової свердловини. Підтримуючи резонанс у такий спосіб, дієвість зони поширення розлому перед буровим долотом покращується, а швидкість буріння значно підвищується, внаслідок чого, цей вид буріння може бути описаний як буріння з покращеними резонансними характеристиками (надалі RED-Resonance Enhanced Drilling).

Фігура 1 зображує наочний приклад бурового модуля RED відповідно до варіанту даного винаходу. Буровий модуль обладнано буровим долотом з полі кристалічним діамантом (PCD). Секція вібротрансмісії 2 з'єднує бурове долото з п'єзоелектричним перетворювачем 3 для передачі коливань від перетворювача до бурового долота 1. З'єднання 4 з'єднує модуль з буровою колоною 5 та діє як блок віброізоляції з метою ізолювання коливань бурового модуля від валу.

Під час операції буріння, двигун постійного струму обертає вал бура, який передає рух через секції 4, 3 та бурове долото 1. Відносно невелика статична сила, що застосовується до бурового долота 1, разом з динамічним навантаженням утворюють зону поширення розлому таким чином, щоб бурове долото просувалось через матеріал.

Одночасно з обертанням бурового модуля 1, п'єзоелектричний перетворювач 3 приводиться у дію з метою створення вібрації з частотою відповідно до матеріалу на об'єкті бурової свердловини.

Ця частота визначається шляхом розрахунку нелінійних резонансних умов між буровим долотом та матеріалом, що буриться, схематично зображених на Фігурі 2, відповідно до наступного алгоритму:

А) розрахунок нелінійного резонансного відгуку бурового долота без впливу матеріалу, що буриться;

В) оцінка сили ударів для утворення зони поширення розлому у матеріалі, що буриться;

С) розрахунок нелінійних характеристик жорсткості роздробленого матеріалу, що буриться;

Д) розрахунок резонансної частоти бурового долота, яке взаємодіє з матеріалом, що буриться; та

Е) перерахунок значення резонансної частоти для стабільного режиму шляхом включення нелінійних характеристик жорсткості роздробленого матеріалу, що буриться.

Коливання від п'єзоелектричного перетворювача 3 передаються через бурове долото 1 до ділянки бурової свердловини та створюють зону поширення розлому у матеріалі перед буровим долотом. По мірі обертання та просування вперед, бурове долото розрізає матеріал у породі, вірізаючись у нього. Проте, створення зони поширення розлому у породі матеріалу перед буровим долотом значно послаблює його, тобто дія ротаційного розрізання зміщує більше матеріалу, ніж в подальшому може бути видалено.

Властивості динаміки поширення розлому можуть регулюватися з метою оптимізації механічної швидкості проходки (ROP-rate of penetration), якості свердловини та строку служби інструменту або в ідеалі поєднання усіх трьох чинників.

Тріщини утворюються під дією твердосплавних вставок бурового долота, що спричиняють ударний натиск на породу. Інші технології буріння діють шляхом зрізання або прорізання породи або через утворення значно більших тріщин. Далі описані основні особливості системи RED (буріння з покращеними резонансними характеристиками) щодо способів функціонування з фокусуванням на створенні та поширенні "макротріщин" у безпосередній близькості перед буровим долотом.

Система RED функціонує через високочастотне осьове коливання бурової голівки, яка завдає ударної дії на матеріал, а кутова геометрія твердосплавних вставок бурового долота ініціює утворення тріщин у матеріалі. Тривале функціонування бурового долота, тобто тривале коливання та обертання, створює динамічну зону поширення розлому перед буровим долотом.

Це явище може бути найкраще описане як синхронізована кінематика. Створення резонансу в системі (системі, яка включає матеріал, що буриться (осцилятор) та бурове долото) оптимізує ефективність та функціонування. Динамічна зона поширення розлому є локальною для бурового долота, а лінійний вимір зазвичай становить не більше 1/10 діаметра бурового долота.

Таким чином, поширення локального розлому є контрольованим з точки зору його направленості, а спосіб RED дозволяє уникнути поширення розлому за межі зони, що знаходиться безпосередньо перед буровим долотом.

Таким чином, буріння з покращеними резонансними характеристиками забезпечує створення високоякісної свердловини з точним номінальним діаметром.

Завдяки "чутливості" способу RED, його здатності до буріння свердловин з високим рівнем контролю місцевого розлому та мінімізацією загального навантаження на породу, спосіб RED є надзвичайно добре пристосованим до буріння чутливих порід на складних ділянках, таких як свердловини газу, що поступає з невеликих глибин, крихких зон та зон розлому високого тиску.

Відповідно до вищезазначеного, даний винахід може підтримувати резонанс під час процесу буріння, забезпечуючи більш швидке переміщення матеріалу породи у буровій свердловині, внаслідок чого досягається більш висока швидкість буріння. Крім того, використання резонансного руху з метою сприяння поширенню розлому дозволяє застосовувати менше навантаження на бурове долото, що в свою чергу призводить до меншого зношення інструменту. По суті, даний винахід не тільки забезпечує підвищення механічної швидкості проходки (ROP), але також дозволяє подовжити термін служби інструменту, а отже, скорочує час вимушеного простою, необхідного для технічного обслуговування або заміни інструменту.

Як тільки стають відомими механічні властивості матеріалу, параметри буріння можуть бути модифіковані таким чином, щоб оптимізувати функціональні характеристики буріння (відповідно до ROP, якості свердловини, а також строку служби та надійності інструменту).

Що стосується способу RED, частота та амплітуда коливань можуть бути модифіковані з метою визначення найбільш ефективного та результативного функціонування. Створення резонансу у системі коливань (між (осцилятором) буровим долотом та породою, що буриться) забезпечує оптимальне поєднання енергоефективності та функціональних характеристик буріння.

Фігура 2 графічно ілюструє, яким чином параметри для встановлення та підтримки резонансних умов були визначені.

По-перше, необхідно визначити межу амплітуди бурового долота при резонуванні та взаємодії з матеріалом, який піддається бурінню. У зв'язку з цим, межа амплітуди бурового долота обирається при значенні, коли резонанс у буровому долоті не стане руйнівним. Поза цією межею існує можливість того, що резонанс почне здійснювати руйнівну дію.

Потім, розраховується відповідний діапазон коливань частоти для навантаження бурового долота. Він розраховується таким чином, щоб відповідний вузький діапазон міг бути визначений та згодом використаний для прискорення решти способу.

Потім визначається форма резонансної кривої. Як бачимо, зображена типова резонансна крива, верхня частина якої нахилена вправо, як наслідок взаємодії бурового долота з матеріалом, що буриться. Слід зазначити, що як наслідок, графік має верхню та нижню гілки, а наслідком руху на кривій за межі максимальної амплітуди є знач-

не падіння амплітуди від верхньої гілки до нижньої гілки.

По суті, щоб не допустити таких значних змін, що є небажаними, наступний етап передбачає вибір оптимальної частоти на резонансній кривій у точці, що є меншою за максимум на резонансній кривій. Діапазон, нижчий за максимум, в якому обирається оптимальна резонансна частота, по суті встановлює запас міцності, а для змінних/непостійних бурових матеріалів, такий діапазон може обиратися також на основі точки максимальної амплітуди. Засоби управління можуть, у цьому сенсі, змінити запас міцності, тобто відхилитися або наблизитися до точки максимуму на резонансній кривій, залежно від визначених характеристик матеріалу, що буриться, або просування бура. Наприклад, якщо швидкість проходки (ROP) змінюється нерівномірно внаслідок низької однорідності матеріалу, що буриться, тоді запас міцності може бути збільшено.

Зрештою, пристрій функціонує з обраною оптимальною резонансною частотою, а процес періодично корегується в межах операційної системи із замкнутим контуром засобів управління.

Відповідно до даного винаходу навантаження бурової колони на метр може бути на 70 % менше, ніж навантаження традиційної бурової колони, що застосовується для такого ж діаметра свердловини та таких же самих умов буріння. Переважно цей діапазон є на 40-70 % менше або ще переважніше він є в основному меншим 70 %.

Наприклад, за типових умов буріння та при глибині буріння 12500 футів (3787 м), для розміру свердловини 12 1/4" (0,31 м) навантаження бурової колони на метр скорочується з 38,4 кг/м (стандартне роторне буріння) до 11,7 кг/м (з використанням способу RED) - скорочення на 69,6 %.

За типових умов буріння та при глибині буріння 12500 футів (3787 м), для розміру свердловини 17 1/2" (0,44 м) навантаження бурової колони на метр скорочується з 49,0 кг/м (стандартне роторне буріння) до 14,7 кг/м (з використанням способу RED) - скорочення на 70 %.

За типових умов буріння та при глибині буріння 12500 футів (3787 м), для розміру свердловини 26" (0,66 м) навантаження бурової колони на метр

скорочується з 77,0 кг/м (стандартне роторне буріння) до 23,1 кг/м (з використанням способу RED) - скорочення на 70 %.

В результаті низького навантаження на долото (WOB-weight on bit) та динамічного розлому, який воно спричиняє долото, спосіб буріння RED дозволяє заощадити 35 % вартості енергії на буровій установці та на 75 % скоротити навантаження на комір бурової колони.

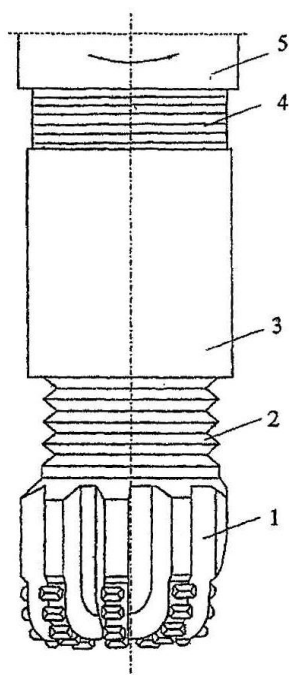
Варто усвідомлювати, що проілюстрований варіант, описаний у цьому документі, зображує застосування винаходу тільки з метою ілюстрації. На практиці винахід може бути застосований до багатьох різних конфігурацій; при чому його детальні варіанти є очевидними для фахівців тих галузей, де винахід має своє застосування.

Наприклад, секція бурового долота модуля може бути модифікована відповідно до конкретного варіанту застосування буріння. Наприклад, можуть використовуватися різні геометрії та матеріали бурового долота.

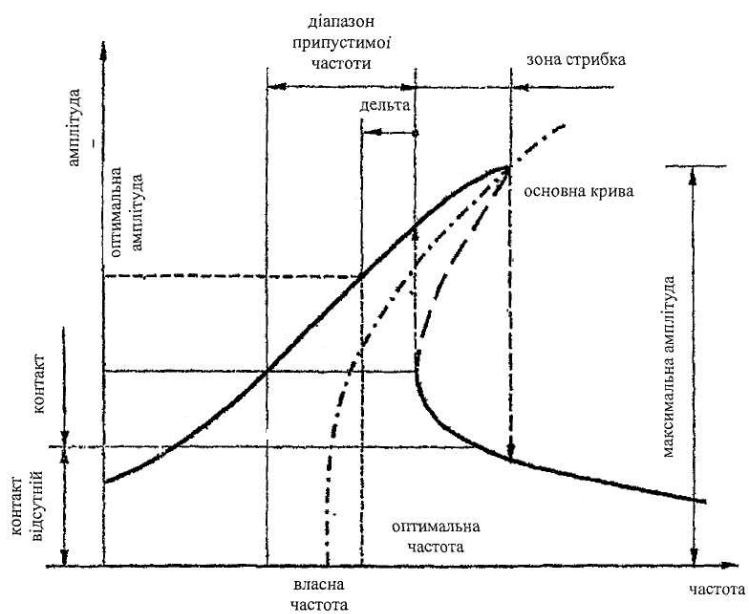
В іншому варіанті, інші засоби вібрації можуть застосовуватися як альтернатива п'єзоелектричного перетворювача для передачі вібрації на буровий модуль. Наприклад, може використовуватися магнітострикційний матеріал.

Крім того, також передбачається, що засоби вібрації можуть бути дезактивовані під час буріння м'яких порід з метою недопущення несприятливої дії. Наприклад, буровий модуль відповідно до даного винаходу може бути дезактивований таким чином, щоб функціонувати як ротаційний (тільки) буровий модуль під час початкового буріння верхнього м'якого шару ґрунту. Потім буровий модуль може бути активований з метою застосування резонансних частот при досягненні твердих гірських порід більш глибокого залягання. Цей підхід забезпечує значну економію часу, шляхом уникнення простою, який інакше був би потрібен для заміни бурових модулів між різними породами.

Даний винахід забезпечує наступні переваги, зокрема, буріння з низьким споживанням енергії, покращену механічну швидкість проходки, покращену стабільність та якість свердловини, а також покращений строк служби та надійність інструменту.



Фіг.1



Фіг.2