

Винахід відноситься до буріння глибоких свердловин на нафту і газ, а саме, до способів управління і регулювання самого процесу обертального буріння.

Відомий спосіб управління процесом буріння вибухових свердловин, який включає вибір оптимальних значень характеристик приводу обертання, замір рівня вібрацій бурильного верстату і обертального моменту на холостих обертах, знаходження статичного співвідношення обертального моменту, осьового навантаження, механічної швидкості буріння і частоти обертання бурильного інструменту. Жорсткість і крутизну регулювання постійної часу приводу в залежності від частоти обертання міняють у відповідності з співвідношень жорсткості до обертальних моментів, частоти обертання, осьового навантаження і механічної швидкості буріння (див. а.с. СРСР № 1488448 МПК 3 Е 21В 44/00, бюл. № 23 від 26.06.89р.).

Недоліком відомого способу управління процесом буріння являється те, що він відноситься тільки до буріння вибухових (декілька метрів глибини) свердловин, де всі параметри буріння заміряються стандартними приладами на поверхні і по їх показаннях вносяться необхідні корективи в роботу приводу (двигуна електричного). Спосіб відноситься тільки для вибору технічної характеристики приводу і він не може примінятися для верстатів, які застосовуються для буріння глибоких свердловин на нафту і газ.

Відомий також спосіб регулювання швидкості обертального буріння, що включає подачу промивальної рідини в бурильні труби з нагвинченим породоруйнівним інструментом, осьове навантаження на долото, частоту обертання його ротором. Підвищення продуктивності буріння досягається за рахунок зберігання робочих частин породоруйнівного інструменту в перехідних процесах при бурінні порід різних категорій буримості, тобто в період переходу від одних режимних параметрів до інших, а не в період встановлених робочих режимних параметрів. Перехід від одного режиму до іншого проходить рівномірно прискорено. Для різних категорій порід прискорення обертання різне, але не перевищує $0,05\text{об/с}^2$ (див.а.с. № 1649088 МПК 5 Е 21 В 44/00, Бюл. № 18 від 15.05.91р.).

Спосіб має наступні недоліки: спосіб передбачає регулювання швидкості обертання інструменту при переході від одного режиму до іншого з метою запобігання перегріву твердого сплаву (термомеханічного зношення), тобто передчасного зношення оснащення породоруйнівного інструменту. Другим суттєвим недоліком відомого способу є те, що перехід від одної швидкості до другої проводиться тільки при конкретному прискоренню, що потребує плавного регулювання обертів. Це можливо тільки для легких, невеликої потужності верстатів типу ЗІФ-650 М, СКБ-5, які працюють з комплектом регульованих електродвигунів. Вказані верстати в глибокому бурінні не застосовуються.

Відомий спосіб не ставить метою регулювання швидкості обертання в робочих діапазонах, не враховує таких властивостей порід, як твердість по штампу, пластичність, абразивність, конструкцію і розміри тришарових доліт, компонування низу бурильної колони, її жорсткість, параметри промивальної рідини, зенітний кут свердловини і т.д. Перераховані фактори приводять до виникнення низькочастотних поздовжніх коливань низу бурильної колони, поломки її елементів, передчасного руйнування зубців і опори доліт, погіршенню умов руйнування породи на вибої, суттєвого зменшення технічних показників буріння: проходки на долото, часу його роботи на вибої, механічної швидкості буріння, перевитратам енергоносіїв.

Задачею винаходу є збільшення механічної швидкості буріння, часу роботи долота на вибої, запобігання поломки різьових з'єднань елементів бурильної колони за рахунок регулювання швидкості обертального буріння частотою обертання.

Для вирішення поставленої задачі у відомому способі регулювання швидкості обертального буріння це досягається рівномірним переходом (прискоренням) від однієї швидкості обертання до іншої в період прироблення інструменту (початкова стадія буріння, яка в часі від всього циклу займає дуже малу величину). При цьому при бурінні порід VII-VIII категорій перехід від одної швидкості до другої проходить з прискоренням $0,01\text{--}0,2\text{об/с}^2$, а при бурінні порід IX-X категорії - прискорення не перевищує $0,05\text{об/с}^2$. Такий процес, по задумці авторів, запобігає термічне зношення оснащення породоруйнівного інструменту, зберігає його геометрію, що підвищує продуктивність буріння.

Відомий спосіб приміняється тільки на перехідному періоді: при переході від одних швидкостей обертання інструменту до других швидкостей. Він визначає тільки прискорення обертання, а не їх робочу частоту.

Стосовно винаходу. Спосіб регулювання швидкості обертального буріння пропонується не на перехідний період від одних обертань до других, а на тривалий робочий цикл буріння для конкретних геолого-технічних умов, які можуть змінюватися з поглибленням свердловини. Оптимальна швидкість обертання породоруйнівного інструменту (частота обертання долота) регулюється до розрахункових величин при повному осьовому навантаженні на долото, для окремих інтервалів глибин, розбурюваних порід, і визначається з врахуванням наступних факторів: оптимального використання встановленої потужності приводу ротора; мінімізації затрат енергії на руйнування породи; забезпечення достатнього часу контакту оснащення долота (зубців) з породою для утворення ямки (лунки) руйнування в пружно-крихких та пластичних породах; запобігання передчасного інтенсивного зношення оснащення долота в абразивних породах; запобігання поздовжніх низькочастотних коливань (вібрацій) низу бурильної колони. Визначення швидкості обертання долота з врахуванням цих факторів і регулювання її по інтервалах глибин, в породах створює найсприятливіші умови для ефективного руйнування порід на вибої, запобігає поломкам елементів низу бурильної колони по різьових з'єднаннях, збільшує механічну швидкість буріння, працездатність долота на вибої.

Технологічний процес буріння глибоких свердловин окреслюється (визначається) рядом регульованих параметрів (осьове навантаження на долото, швидкість його обертання, витрати промивальної рідини, її параметри) і нерегульованих (фізико-механічні властивості порід, конструкція породо-руйнівного інструменту, низу бурильної колони, зенітний кут свердловини, властивості металу труб). При окремих співвідношеннях регульованих параметрів, невідповідність їх нерегульованим параметрам приводить до виникнення поздовжніх низькочастотних коливань в нижній частині бурильної колони, які в зоні резонансу руйнують різьові з'єднання елементів низу бурильної колони, озброєння і опори доліт, зменшують час контакту зубців з породою. Це приводить до суттєвого зменшення механічної швидкості буріння, працездатності доліт на вибої,

поломок низу бурильної колони, значних перевитрат енергоносіїв.

З регулюючих параметрів при певному осьовому навантаженні на долото найбільше впливовим на виникнення поздовжніх низькочастотних коливань є швидкість обертання породоруйнівного інструменту. По цій причині пропонується регулювання швидкості обертального буріння проводити в межах величин, які вираховуються з мінімізацією умов, щоб запобігати виникненню коливань, передчасному зношенню породоруйнівного інструменту, підвищити ефективність руйнування породи на вибої.

Величину швидкості обертання, яка виключає всі несприятливі фактори пропонується вираховувати за наступними формулами.

З метою найбільш раціонального використання встановленої потужності приводу ротора, який передає обертання по бурильній колоні долоту на вибої з швидкістю обертання n_1 в залежності від потужності приводу пропонується визначати:

$$n_1 = \frac{N_p \times K_{kp}}{1,37(c \times \rho \times H \times d_{BT}^2)^{0,6}}, \text{ об / хв... (1)}$$

де: N_p - потужність приводу ротора;

K_{kp} - коефіцієнт, який враховує зменшення потужності за рахунок зенітного кута свердловини; для $\alpha = 1^0 - 5^0$, $K_{kp} = 0,85$; для $\alpha = 5^0 - 10^0$, $K_{kp} = 0,75$; при $\alpha = 10^0 - 20^0$, $K_{kp} = 0,6$;

c - коефіцієнт, який враховує тип гірських порід (для аргілітів $c = 0,002$, алевролітів $c = 0,0004$);

ρ - густина промивальної рідини;

H - поточна (плинна) глибина свердловини;

d_{BT} - зовнішній діаметр бурильних труб. Оптимальну швидкість обертання долота з метою мінімізації

витрат енергії на руйнування породи n_2 пропонується розраховувати:

$$n_2 = \frac{33,3 \times D_q^2 \times P_{ш} \times \Delta P \times \delta \times V_m}{P_q^2}, \text{ (2)}$$

де: D_q - діаметр долота;

$P_{ш}$ - твердість породи на стиснення по штампу;

ΔP - диференційний тиск на вибої;

δ - глибина проникнення зубця долота в породу;

V_m - плинна механічна швидкість буріння;

P_q - осьове навантаження на долото.

З метою збільшення часу контакту породоруйнівного інструменту з породою, що сприяє об'ємному ефективному руйнуванню породи, суттєвому зростанню механічної швидкості буріння, швидкість n_3 обертання долота пропонується враховувати за формулою:

$$n_3 = \frac{0,6 \times 10^5 \times d_{ш}}{t \times Z \times D_q}, \text{ об / хв... (3)}$$

де: $d_{ш}$ - діаметр шарошки;

t - час контакту зубця шарошки з породою, який по результатах наших досліджень становить 20...50мс в залежності від коефіцієнта пластичності породи;

Z - кількість зубців на периферійному вінці шарошки;

D_q - діаметр долота.

З метою запобігання передчасного зношення бокових поверхонь долота по діаметру від абразивності порід, де мають місце найбільші колові швидкості, швидкість обертання n_4 доліт пропонується визначати:

$$n_4 = \frac{30 \times w}{\pi \times D_q}, \text{ об / хв... (4)}$$

де: w - колова швидкість точок на бокових поверхнях долота;

π - число $\pi = 3,14$

D_q - діаметр долота.

Колова швидкість w має критичні значення для різних по абразивності порід, перевищення якої приводить до передчасного зношення доліт по діаметру. По результатах наших досліджень для порід з абразивністю A менше 1мг колова швидкість $w = 3,5$ м/с; для порід з абразивністю 15мг вона дорівнює 1,5м/с, а для високоабразивних порід, коли $A > 50$ мг, $w = 0,5$ м/с.

З метою запобігання виникненню низькочастотних поздовжніх коливань бурильної колони, які приводять до передчасного зношення зубців, опори доліт, поломок різьбових з'єднань елементів компоновки низу бурильної колони, швидкість обертання породоруйнівного інструменту пропонується розраховувати, використовуючи наступну залежність:

$$\frac{60 \times K_{кр} \times \alpha \times \chi}{\pi^2 \times L \times \Theta} \leq \frac{10 \times K_{кр} \times d_0 \times \chi}{H_0 - L} j \leq n_5 \leq \frac{10 K_{кр} \times d_k \times \chi}{H_k - L} (j + 0,25), \text{ об / хв.} \quad (5)$$

де: $K_{кр}$ - коефіцієнт, який враховує зенітний кут свердловини;

α - коефіцієнт, який враховує число збуджень коливань вибоєм свердловини $\alpha = 1,25$ при $j = 3, 6, 9$;

j - кількість можливих хвиль (нерівностей на вибої) для збудження коливань;

χ - швидкість розповсюдження поздовжніх коливань в бурильних трубах (для сталі $\chi = 5730 \text{ м/с}$);

L - сумарна довжина обважнених бурильних труб (ОБТ);

d_0, d_k - залежать від кількості хвиль j ; $j = 3, d_0 = 0,9; d_k = 1,0$ і для $j = 6, d_0 = 0,8, d_k = 0,9$ і для $j = 9 d_0 = 0,7;$

$d_k = 0,8$;

Θ - коефіцієнт пропорційності діаметрів ОБТ і звичайних бурильних труб (БТ).

$$\Theta = \frac{D_{ОБТ}^2 - d_{ОБТ}^2}{D_{БТ}^2 - d_{БТ}^2},$$

де $D_{ОБТ}$ і $d_{ОБТ}$ - зовнішній і внутрішній діаметри ОБТ і БТ ;

$D_{БТ}$ і $d_{БТ}$ - зовнішній і внутрішній діаметри БТ;

j - частота збуджень низькочастотних коливань;

d_0, d_k - коефіцієнти, які залежать від числа збуджень коливань, 3,6,9;

H_0, H_k - початкова і кінцева глибини інтервалу буріння. Регулювання швидкості обертального буріння по частоті обертання породоруйнівного інструменту в межах величин, вирахованих по формулах (1,2,3,4,5), являється новим елементом, суттєво відрізняє пропонуємий спосіб від відомих.

Визначені по приведених формулах швидкості обертання змінюються в процесі обертального буріння при поглибленні свердловини, вони регулюються в залежності від глибини, породи, конструкції низу бурильної колони, породоруйнівного інструменту при певному осьовому навантаженні на долото.

Буріння свердловини при швидкості обертання, вирахованих за формулою (1), дозволяє раціонально використати встановлену на роторі потужність приводу, зменшити витрати енергоносіїв. При швидкостях обертання, вирахованих за формулою (2), ефективно руйнується порода з врахуванням конкретних умов, які склалися при поглибленні свердловини: диференційного тиску на вибої, властивостей розбурюваних порід, осьового навантаження на долото. При бурінні свердловини при швидкості обертання, вирахованої за формулою (2), енергоємність процесу руйнування порід буде рівна або близька по величині до такого параметру породи, як питома робота руйнування, що відповідає найкращим умовам руйнування її на вибої.

При бурінні свердловини в пружно-крихких і пластичних породах необхідно, щоб час контакту зубців долота з породою був достатнім для утворення об'ємної ямки (лунки) в породі. Якщо цього часу недостатньо, то зубці проскакують (прослизгають) по породі і не руйнують її. В таких випадках необхідно точно регулювати процес обертального буріння швидкістю обертання долота, вирахованою за формулою (3). При цьому будуть створені умови для утворення ямок руйнування в породі, тобто об'ємне її руйнування.

При бурінні свердловин в абразивних породах, якщо колові швидкості перевищують 0,5м/с, має місце інтенсивне зношення бокових поверхонь доліт, працездатність їх на вибої зменшується, суттєво знижуються показники роботи доліт. Для запобігання такого явища пропонується регулювання процесу обертального буріння проводити швидкістю обертання долота, вирахованою за формулою (4). Це дозволить створити умови для зменшення від'ємного впливу абразивності порід на показники буріння.

Перекачування зубців долота на вибої, обертання шарошки, наявність на вибої нерівностей, неоднорідності подачі інструменту, осьового навантаження на долото, імпульси коливань промивальної рідини, талеві системи приводять до виникнення поздовжніх низькочастотних коливань бурильної колони, що при певних умовах призводить до появи резонансних коливань. Такі коливання являються причиною поломок зубців, опори долота, різьових з'єднань елементів низу компоновки бурильної колони, суттєво зменшують темп поглиблення свердловини. Для запобігання виникнення коливань регулювання процесу обертального буріння проводять при швидкості обертання породоруйнівного інструмента, врахованої за формулою (5).

Для визначення оптимальної швидкості буріння після проведення розрахунків за формулами (1), (2), (3), (4), (5) вибирають три близькі величини швидкості, знаходять по них середньозважене значення, яке являється основним для регулювання оптимальної швидкості обертального буріння.

Для реалізації пропонованого способу регулювання швидкості обертального буріння розроблена методика, програма розрахунків на ПЕОМ швидкості обертання за формулами (1), (2), (3), (4) і (5). Для проведення розрахунків вводяться в ПЕОМ наступні дані для конкретної свердловини (121 Кулічівського родовища):

Перший розділ:

1 Кінцева і поточна глибина свердловини	2250м
2 Коефіцієнт, який характеризує породу	0.002
3 Густина промивальної рідини	1.2г/см ³
4 Зовнішній діаметр бурильних труб	127мм

5 Зенітний кут свердловини	2 град.
6 Абразивність породи	20мг
7 Діаметр долота	295.3мм
8 Механічна швидкість буріння	4м/год
9 Осьове навантаження на долото	150кН
10 Твердість породи	500МПа
11 Глибина проникнення зубця долота в породу	0.0004м
12 Діаметр шарошки	190мм
13 Число зубків на периферійному вінці шарошки	23шт
14 Коефіцієнт пластичності породи	1.9

Другий розділ:

1 Початкова і кінцева глибина буріння	900м,...2250м
2 Зовнішній і внутрішній діаметр ОБТ	229мм,...80мм
3 Зовнішній і внутрішній діаметр БТ	127мм,...107мм
4 Сумарна довжина ОБТ	100м
5 Крок зміни глибини свердловини для розрахунків	25м

Після введення перерахованих даних в ПЕОМ через 1 хвилину на екрані з'являються результати розрахунків, які одночасно записуються принтером на папері. Для приведених даних в розділах 1 і 2 в

результаті розрахунків одержані наступні значення швидкості обертання: $n_1=117\text{об/хв.}$, $n_2=74\text{об/хв.}$, $n_3=66\text{об/хв.}$, $n_4=72\text{об/хв.}$, $n_5=71\text{об/хв.}$ Із п'яти величин швидкості обертання вибирають три приблизно однакові (74, 72 і 71об/хв.), вираховують середньоарифметичне (72об/хв.), воно прийнято за основу для регулювання швидкості обертального буріння при поглибленні свердловини 121 Кулічівського родовища.

Пропонований спосіб регулювання швидкості обертального буріння застосовувався при бурінні 49 глибин свердловин на газ в буровому управлінні "Укрбургаз" в інтервалі глибин 900-5550 м в різних породах долотами діаметром 152, 215.9 і 295.3мм.

В 2002-2003 роках був включений в план впровадження нової техніки по ДК "Укргазвидобування". Прибуток в 2002 році склав 1,9млн.грн., в 2003 році - 1,6млн.грн.

В усіх випадках суттєво збільшилася механічна швидкість буріння, працездатність доліт на вибої, не було поломок елементів низу бурильної колони. Наприклад, при поглибленні свердловини 51 Східно-Полтавська при регулюванні процесу при обертальному бурінні в інтервалі 3668-3842м механічна швидкість буріння долотами діаметром 215.9мм збільшилася в 1,6 рази, а час роботи долота на вибої на 26%, на буровій 121 Кулічівського родовища в інтервалі 900-2254м при бурінні долотами діаметром 295.3мм ці показники збільшилися відповідно на 22% і на 49%. Аналогічні результати одержані і при бурінні інших 47 свердловин.

Пропонований спосіб регулювання швидкості обертального буріння враховує ряд факторів, які впливають на ефективність руйнування породи, дозволяє суттєво підвищити працездатність доліт на вибої, механічну швидкість буріння, запобігає поломці різьбових з'єднань елементів низу компоновання бурильної колони, має новизну і, як свідчать результати застосування, народногосподарське значення.