

ШАРОШКОВЕ ДОЛОТО З ПІДВИЩЕНОЮ СТАБІЛІЗУЮЧОЮ ЗДАТНІСТЮ ДЛЯ БУРІННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ І ПОХИЛО-ПРЯМОЛІНІЙНИХ СВЕРДЛОВИН

Є.І.Крижанівський, І.В.Воєвідко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42464,
e-mail: rector@nung.edu.ua

Проведён анализ в области разработки компоновок для борьбы с искривлением скважин. Разработана конструкция долота с повышенной стабилизирующей способностью для бурения вертикальных или наклонно-прямолинейных скважин. Теоретически доказана возможность снижения скорости бокового перемещения долота такого типа приблизительно в 2,2-2,8 раза.

The analysis in sphere of exploitation drilling string assemblies for struggle with well-inclination is done. The construction of drill-bit with increased stable ability for drilling vertical or inclined-rectilinear wells is worked out. It is proved theoretically that it is possible to reduce the velocity of lateral transference of such type of bit-drill approximately in 2,2-2,8 times.

Проблема попередження викривлення стовбурів нафтових і газових свердловин останнім часом є проблемою надзвичайно актуальною. Перш за все, такі складності виникають зі збільшенням глибини свердловин, оскільки в таких умовах висувають підвищені вимоги до якості стовбура свердловини і його вертикальності [1, 2]. При виникненні з тих чи інших причин відхилень від вертикального напрямку вибої глибоких свердловин виявляються зміщеними відносно своїх проектних положень на десятки і сотні метрів, що призводить до серйозного порушення мережі розвідки та розробки родовищ [3]. Стовбури таких свердловин в більшості випадків мають різні регіони або локальні викривлення, що негативно відбивається на результатах їх подальшого проведення, криплення та експлуатації [4].

На сьогодні найбільш розповсюдженим способом, що застосовується для обмеження росту кута викривлення стовбура свердловини, є зменшення осьового навантаження і використання сил гравітації [5, 6]. У цьому випадку, в результаті фрезеруючої здатності долота, сили власної ваги ділянок бурильної колони між долотом і точкою контакту колони із стінкою свердловини прагнуть привести свердловину до вертикалі. Однак, використання такого типу компоновок часто пов'язано з обмеженням параметрів режиму буріння і, як результат, із зниженням техніко-економічних показників буріння.

Більш ефективними є застосування спеціальних компоновок низу бурильної колони, параметри яких вибрані із розрахунку зведення до мінімуму приросту викривлення свердловини. Така компоновка, що отримала назву жорсткої, включає наддолотний калібруючоцентруючий елемент та центратори, які розташовані в бурильній колоні із розрахунку на мінімальний загальний кут повороту долота [1, 7]. При цьому бокове переміщення долота гальмується опорною (калібуючою) поверхнею наддолотного калібратора.

Для стабілізації зенітного кута похило-прямолінійних ділянок свердловин розроблений метод оптимізації параметрів компоновок, який передбачає одночасно рівність нулю поперечної сили на долоті та кута його повороту [8, 9].

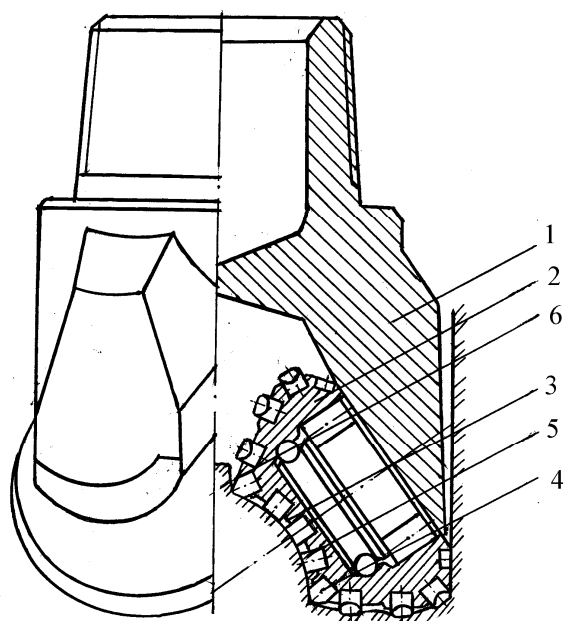
Під впливом дестабілізуючих факторів, до яких належить зміна діаметра свердловини або наддолотного калібратора, утворення радіального люфту шпинделя вибійного двигуна, зміна величини зенітного кута свердловини та деяких інших, на долоті з'являється певної величини відхиляюча сила, що не перевищує, зазвичай, 0,4-0,5 кН. Під дією такої сили долото починає фрезерувати стінку свердловини, а компоновка втрачає свої стабілізуючі властивості.

Метою цієї статті є висвітлення результатів конструювання та теоретичних досліджень роботи тришарошкового долота з підвищеною стабілізуючою здатністю для буріння вертикальних та похило-прямолінійних свердловин.

Такого типу долото для буріння м'яких та середньої твердості малоабразивних порід зображено на рис. 1.

Бурове шарошкове долото складається із корпусу 1 та трьох шарошок 2. Шарошки у верхній частині виконані у вигляді озброєних зубками увігнутих сферичних поверхонь 3 з радіусом r із центром на перетині осей шарошок і долота. При цьому частина шарошок, яка формує вибій, а також перехідна їх частина між конусною та сферичною поверхнями армовані клиноподібними зубками 4, а безпосередньо сферичні поверхні армовані циліндричними зубками 5 із плоскою робочою поверхнею. Такий підхід до озброєння шарошки вибійної частини, виходячи із розподілу величин питомого ковзання по робочій поверхні породоруйнуючого органу.

Як видно з рисунка, долото такого типу буде формувати вибій свердловини в його центральній частині із сферичною поверхнею, яка буде слугувати додатковою опорою породоруйнуючого інструменту при дії на нього певної



1 – корпус шарошки; 2 – шарошки; 3 – увігнута сферична поверхня; 4 – клиноподібні зубки; 5 – циліндричні зубки; 6 – стовп породи

Рисунок 1 — Шарошкове долото з підвищеною стабілізуючою здатністю

величини відхиляючої сили. В даному випадку вибій свердловини формується внаслідок подрібнюючо-сколюючої дії озброєння конусної частини шарошки, а сферична поверхня утворюється внаслідок ковзання зубків 5, тобто за рахунок різання та стирання гірської породи, що обумовлено специфікою кінематики такої конструкції долота. Стовп породи 6 незначного діаметру в центральній частині вибою в процесі буріння буде руйнуватися під впливом поперечних вібрацій долота та під дією промивальної рідини.

Для визначення ступеня стабілізуючої здатності запропонованого долота, необхідно визначити закономірності впливу конструктивних та кінематичних факторів на зменшення швидкості бокового фрезерування стінки свердловини під дією відхиляючої сили, яка виникла з тих чи інших причин.

У процесі дослідження розглядався ідеалізований варіант роботи долота.

1. Долото знаходиться під дією відхиляючої сили і обертається без осьового навантаження.

2. Величина бокової відхиляючої сили незначна (до 0,5 кН), що не призводить до об'ємного руйнування опорних поверхонь.

3. Руйнування сферичної поверхні центрального виступу вибою та бокової стінки свердловини відбувається за рахунок стирання та мікрорізання породи.

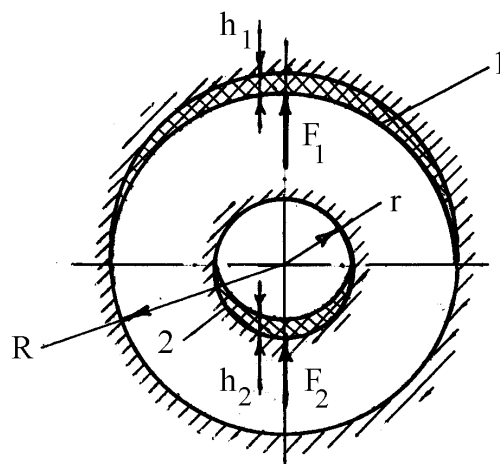
4. Долото працює в однорідних ізотропних м'яких та середньої твердості породах.

Такий підхід загалом спрощує розрахунок розподілу навантаження між двома опорними поверхнями долота, однак отримані результати

дослідження будуть дещо узагальнені і тільки в першому наближенні відображатимуть процес переміщення породоруйнуючого інструменту в боковому напрямку.

Теоретичні дослідження базувались на основних положеннях механізму руйнування гірських порід долотами ріжучо-стираючої дії та їх зносу при терті під дією елементів озброєння із твердого сплаву.

Очевидно, що при роботі долота нової конструкції загальна відхиляюча сила $F_{\text{від}}$, яка діє на долото, буде розподілена в певному співвідношенні між двома опорними поверхнями (рис. 2).



1 – стінка свердловини;
2 – поверхня кульового виступу

Рисунок 2 — Схема фрезерування кульового виступу та стінки свердловини на рівні її вибою

Із результатів аналізу роботи лопатевого долота [10] випливає, що навантаження на кожний елемент озброєння розподіляється за певним законом. У відповідності із величиною навантаження та специфікою кінематики кожний елемент озброєння руйнує такий об'єм породи, при якому глибина їх переміщення в осьовому напрямку є величиною сталою.

Якщо припустити, що в нашому випадку опорні поверхні рівні за площею і на них припадає однакова кількість породоруйнуючих елементів, кожен з яких за один оберт шарошки проходить одну і ту ж відстань, тоді до кожного елемента озброєння також буде прикладене однакове навантаження. В результаті буде зруйновано однаковий об'єм породи стінки свердловини і кульового виступу, долото переміститься на певну величину h , а величина відхиляючої сили $F_{\text{від}}$ рівномірно розподілиться між двома поверхнями $F_1 = F_2$.

В реальних умовах такі співвідношення не існують через особливості конструкції та специфіку кінематики такого типу долота, тому використаємо основні результати дослідження руйнування порід при їх стиранні твердими сплавами.

Відомо, що об'єм зруйнованої породи прямо пропорційний шляху, який проходить твер-

досплавний елемент при питомому навантаженні до 0,02 кг/мм² [11], що відповідає прийнятним умовам фрезерування. Окрім цього, при поверхневому руйнуванні порід із різними фізико-механічними властивостями механічна швидкість буріння лінійно зростає із збільшенням навантаження і характеризується кутовим коефіцієнтом K_n , який обернено пропорційний твердості порід і практично не залежить від швидкості руху породоруйнуючих елементів [12]. Такі ж залежності отримано при експериментальних дослідженнях в стендових умовах процесу фрезерування стінки стовбура свердловини під дією відхиляючої сили [13].

Виходячи із вищенаведеного, об'єм породи зруйнованої довільним породоруйнуючим елементом за певний цикл – оберт шарошки: $\Delta V_i = d_i \cdot L_i \cdot F_i \cdot K_n$, або $\Delta V_i = S_i \cdot F_i \cdot K_n$, де: d_i , L_i – діаметр та довжина траєкторії руху зубка; S_i – площа зруйнованої породи. Тоді об'єм породи V_1 , зруйнований всім озброєнням калібруючих поверхонь шарошок за певний проміжок часу, або за n обертів шарошок, буде

$$V_1 = \sum_{i=1}^n d_{i1} \cdot L_{i1} \cdot F_{i1} \cdot \kappa_n \cdot n, \quad (1)$$

або

$$V_1 = \sum_{i=1}^n S_{i1} \cdot F_{i1} \cdot \kappa_n \cdot n, \quad (2)$$

Для опорної поверхні 2

$$V_2 = \sum_{i=1}^n S_{i2} \cdot F_{i2} \cdot \kappa_n \cdot n, \quad (3)$$

Тоді заглиблення долота в поверхню 1

$$h_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i1}}{S_1} \cdot F_{i1} \cdot \kappa_n \cdot n, \quad (4)$$

де S_1 – площа опорної поверхні 1.

Аналогічно для поверхні 2:

$$h_2 = \frac{V_2}{S_2} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i2}}{S_2} \cdot F_{i2} \cdot \kappa_n \cdot n. \quad (5)$$

Очевидно, що в процесі роботи жорсткої системи, якою є породоруйнуючий інструмент, величина поглиблення кожної поверхні за певний проміжок часу, пропорційний кількості обертів, повинна бути однаковою. Тоді

$$\frac{\sum_{i=1}^n S_{i1}}{S_1} \cdot F_{i1} \cdot \kappa_n \cdot n = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i2}}{S_2} \cdot F_{i2} \cdot \kappa_n \cdot n. \quad (6)$$

Із рівняння (6) видно, що величини навантажень на опорні поверхні обернено пропорційні співвідношенням площ руйнування і величин цих поверхонь, які назвемо коефіцієнтами ступеня ураження опорних поверхонь за один оберт шарошки K_y .

Очевидно, що цілком можливо проводити аналіз процесу фрезерування опорних повер-

хонь таким типом долота за один оберт без врахування коефіцієнта κ_n . В результаті отримаємо:

$$K_{y1} \cdot F_1 = K_{y2} \cdot F_2, \quad (7)$$

Провівши нескладні перетворення із врахуванням того, що $F_{\text{від}} = F_1 + F_2$, отримаємо:

$$\frac{F_1}{F_{\text{від}}} = \frac{1}{\frac{K_{y1}}{K_{y2}} + 1}, \quad (8)$$

де: $K_{y1} = \frac{\sum_{s=1}^n S_{i1}}{\pi R H}$; $K_{y2} = \frac{\sum_{s=1}^n S_{i2}}{\pi r^2}$;

R і r – відповідно радіуси свердловини і сферичної поверхні;

H – висота калібруючої поверхні шарошок.

За допомогою отриманого рівняння можна в першому наближенні дослідити залежність

співвідношення сил $\frac{F_1}{F_{\text{від}}}$ від співвідношення

$\frac{K_{y1}}{K_{y2}}$, яке, в свою чергу, залежить від констру-

ктивних параметрів і кінематичної характеристики запропонованого долота.

Результати аналізу кінематики долота та дослідження можливих діапазонів зміни деяких конструктивних параметрів показали, що спів-

відношення $\frac{K_{y1}}{K_{y2}}$ для реальних конструкцій

долота знаходиться в межах 1,23-1,8.

На рис. 3 показана залежність співвідно-

шення сил $\frac{F_1}{F_{\text{від}}}$ від співвідношення коефіцієн-

тів ступеня ураження опорних поверхонь $\frac{K_{y1}}{K_{y2}}$.

Як видно із рисунка 3 із збільшенням величин

$\frac{K_{y1}}{K_{y2}}$ співвідношення $\frac{F_1}{F_{\text{від}}}$ зменшується з 0,45

до 0,36, тобто величина відхиляючої сили, що діє на опорну поверхню 1 (стінку свердловини), може зменшитись в 2,2-2,8 рази. Прямо пропорційно, в даному випадку, зменшиться також швидкість бокового фрезерування гірської породи долотом такої конструкції.

Аналіз конструкції та кінематики такого типу долота діаметром 295,3 мм показав, що в процесі фрезерування навантаження на стінку свердловини може зменшитись в 2,2-2,3 рази.

Значне зменшення бокової відхиляючої сили можна пояснити тим, що величина K_{y1} опорної поверхні 1 у всіх доліт змінюється в незначному діапазоні, а при цьому значення коефіцієнта K_{y2} для поверхні 2 змінюється істотно, причому його середні величини суттєво

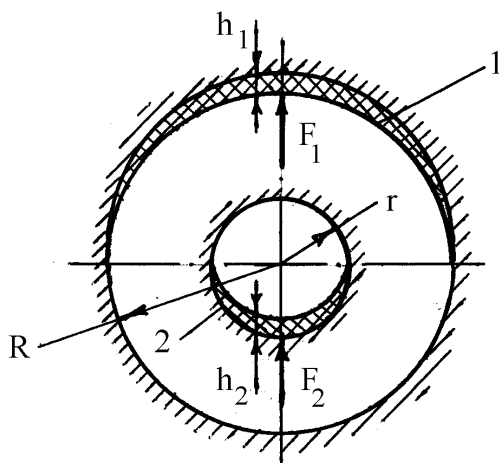


Рисунок 3 — Залежність співвідношення відхиляючої сили, що діє на стінку свердловини, та загальної відхиляючої сили від співвідношення коефіцієнтів ступеня ураження опорних поверхонь

менші за K_{y1} . Таке співвідношення значень $\frac{K_{y1}}{K_{y2}}$ вимагає і відповідного перерозподілу відхиляючої сили $F_{\text{від}}$ між двома опорними поверхнями.

Таким чином, розроблена конструкція долота з підвищеною стабілізуючою здатністю, застосування якого дозволяє зменшити швидкість його бокового переміщення приблизно в 2,2-2,8 рази, що дасть змогу значно знизити інтенсивність викривлення вертикальних або похило-прямолинійних свердловин.

Література

- 1 Беляев В.М., Калинин А.Г., Солодкий К.М., Фёдоров А.Ф. Расчёт компонок нижней части бурильной колонны. – М.: Недра, 1977.
- 2 Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодкий К.М., Повалихин А.С. Профили направленных скважин и компонок низа бурильных колонн. – М.: Недра, 1995.
- 3 Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодкий К.М., Султанов Б.З. Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Справочник. – М.: Недра, 1977.
- 4 Яремийчук Р.С., Семак Г.Г. Обеспечение надёжности и качества стволов глубоких скважин. – М.: Недра, 1982.
- 5 Калинин А.Г., Григорян Н.А., Султанов Б.З. Бурение наклонных скважин. – М.: Недра, 1990.
- 6 Григулецкий В.Г., Лукьянов В.Т. Проектирование компонок нижней части бурильной колонны. – М.: Недра, 1990.
- 7 Григулецкий В.Г. Расчёт компонок бурильной колонны для борьбы с искривлением скважин при роторном и турбинном бурении. – М.: ВНИИОЭНГ, 1982.

8 Фёдоров А.Ф., Солодкий К.М., Калинин А.Г., Повалихин А.С. Метод оптимизации параметров компонок для стабилизации зенитного угла наклонных скважин // Нефтяное хозяйство. – 1982. – №11. – С. 11-12.

9 Солодкий К.М., Фёдоров А.Ф., Повалихин А.С., Шагалов В.Л., Калинин А.Г. Принцип выбора стабилизирующих компонок с заданными оптимальными параметрами // Нефтяное хозяйство. – 1984. – №9. – С. 15-17.

10 Владиславлев В.С. Разрушение горных пород при бурении скважин. – М.: Гостоптехиздат, 1958.

11 Шрейнер Л.А., Петрова О.П., Якушев В.П., Портнова А.Т., Садиленко К.М., Клочко Н.А. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. – М.: Гостоптехиздат, 1958.

12 Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. – Л.: Гостоптехиздат, 1950.

13 Кулиев С.М., Григорян Н.А., Садыхов Ю.В., Абдуллаев А.А., Кулибеков А.А. Экспериментальное исследование процесса фрезерования стенки ствола под действием отклоняющей силы // Труды ВНИИБТ. – М., 1971. – №29.