

3 Лубински А. Максимальные допустимые отклонения стволов скважин при роторном бурении. – М.: ГосИНТИ, 1979. – 68 с.

4 Григулецкий В.Г., Лук'янов В.Т. Проектирование нижней части бурильной колонны. – М.: Недра, 1990. – 302 с.: ил.

5 Малько Б.Д., Лігоцький М.В., Прозур О.В. Характеристика сил опору при переміщенні труб у свердловині // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 1(6). – С. 125–128.

УДК 622.24.051.553

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ ТРИШАРОШКОВИХ ДОЛІТ ДЛЯ РІЗНИХ ЗАДАЧ СПРЯМОВАНОГО БУРІННЯ

*І.В. Восвідко*

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

*Дан кратний анализ причин, не способствующих полному использованию отклоняющих возможностей компоновок низа бурильной колонны (КНБК). На основании анализа конструктивных особенностей трёхшарошечных долот предложен и обоснован критерий оценки ресурса фрезерования. Рассчитаны показатели фрезерования  $K_f$  и  $K_r$  для основных типоразмеров долот в соответствии с ГОСТ-20692-75. Разработан методический подход к рациональному выбору долот, позволяющий реализовать потенциальные фрезерующие возможности КНБК.*

*A short analysis of reasons, which do not assist to complete using of deflecting possibilities of drilling string assemblies has been done. On a base of analysis constructive peculiarities of tripane bits a criterion for valuation a milling cutting resource has been suggested and proved. The milling cutting indexes  $k_f$  and  $k_r$  for main sizes of bits according to HOST-20692-75 have been calculated. A methodical view to rational choice of bits, giving an opportunity to realize potential milling cutting possibilities of drilling string assemblies has been worked-out.*

Як свідчить практика буріння похило-спрямованих свердловин, теоретичні результати розрахунку інтенсивності зміни зенітного та азимутального кутів викривлення стовбурів свердловин зазвичай відрізняються від тих показників, які отримані в промислових умовах [1, 2]. Пояснюється це тим, що математичні моделі не в повному об'ємі враховують всі чинники, які мають місце в процесі проведення спрямовано викривлених свердловин [2].

Пошук шляхів підвищення ефективності буріння спрямованих свердловин вимагає, в першу чергу, виявлення причин, які не дають змоги повністю реалізувати на практиці потенційні можливості відхиляючих компоновок за існуючої техніки і технології буріння інтервалів із зміною параметрів викривлення.

В роботі [3] неповне використання відхиляючих можливостей КНБК пояснюється такими причинами.

1. Механічна швидкість буріння (турбінний спосіб буріння) настільки висока, що долото не може повністю реалізувати свою фрезеруючу здатність і відхилити стовбур на максимальну величину.

2. Величина відхиляючої сили на долоті недостатня для інтенсивного фрезерування стінки свердловини, тобто питоме контактне навантаження на стінку стовбура свердловини недостатнє для об'ємного руйнування породи.

3. Процес викривлення стовбура свердловини обмежується або корпусом вибійного двигуна, або встановленими над ними ОБТ.

4. Бокова фрезеруюча здатність тришарошкових доліт незначна і фактичне викривлення свердловин лімітується корпусом тришарошкового долота.

Другим чинником, який, безумовно, має вагомий вплив на процес викривлення свердловини, є коливання діаметра долота в межах свого допуску. Для діаметрів доліт в межах 93,0-349,2 і 374,6-444,5 мм відхилення від номінального діаметра складає відповідно +0,8 і +1,6 мм [4].

Збільшення діаметра долота до максимального розміру призводить до істотного зменшення відхиляючої сили на долоті (до 25%), яке із збільшенням зенітного кута свердловини стає все менш вагомим [5].

Вибір типу шарошкового долота і облік точності його виготовлення повинен стати однією із складових технології буріння похило-спрямованих свердловин, оскільки є резервом підвищення ефективності їх проведення.

Метою даної статті є висвітлення основних аспектів методичного підходу до вибору тришарошкових доліт для забезпечення реалізації функціональних можливостей компоновок.

На рис. 1 зображено схему секції тришарошкового долота. Згідно з [3] бокова фрезеруюча здатність долота характеризується коефіцієнтом

$$k_{\phi} = \operatorname{tg} \lambda = \lambda = \frac{\Delta + \delta}{h_1 + h_2}, \quad (1)$$

де:  $\Delta$  – зменшення радіуса корпусу долота в кінці першої ділянки, починаючи від дашків лап;

$\delta$  – завіс шарошок;

$h_1$  – відстань від верхньої калібруючої точки шарошки до дашків лап;

$h_2$  – висота першої ділянки корпусу, починаючи від дашків лап.

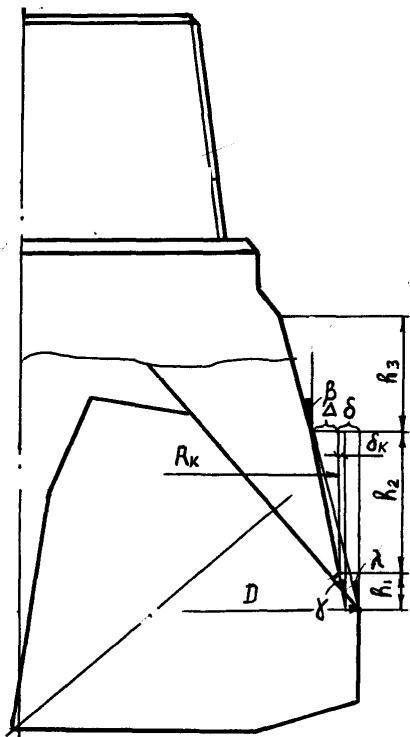


Рисунок 1 – Схема профілю секції тришарошкового долота

Фізичний зміст коефіцієнта бокової фрезеруючої здатності долота  $K_{\phi}$  полягає в тому, що він характеризує можливе відхилення стовбура свердловини, що обмежується корпусом долота, тобто в процесі поглиблення стовбура на величину  $\Delta + \delta$ . Таким чином, коефіцієнт бокової фрезеруючої здатності долота  $K_{\phi}$  є, по суті, кутом бокового фрезерування  $\alpha$ , що вимірюється в радіанах, і його можна вважати таким параметром фрезерування породоруйнуючого органа, який описує його конструктивні особливості та дає змогу відрізнити його від інших типів доліт. Отже, користуючись коефіцієнтом  $K_{\phi}$ , можна підібрати такий тип долота, який максимально відповідатиме завданням спрямованого буріння і дасть можливість у випадку необхідності повністю реалізувати потенційні можливості тієї чи іншої компоновки.

Як видно з рис. 1 і з (1), в процесі буріння здатність бокового фрезерування буде знижуватись виключно внаслідок зменшення величини завісу шарошок  $\delta$ , оскільки решта параметрів будуть залишатися без зміни.

Н.А.Григорян [3] акцентує на тому, що у випадку значного зношування калібруючої по-

верхні шарошки її завіс може сягти величини  $\delta_k$ , яка є критичною, і подальше відхилення долота буде обмежуватись дашками лап (рис. 1). В даному випадку  $\alpha = \gamma$ , тобто кут бокового фрезерування долота рівний куту нахилу його лапи на першій ділянці.

Такий варіант слід розглядати як критичний ще й з тієї причини, що в даному режимі роботи долото може працювати досить обмежений час. За тривалого часу роботи в результаті інтенсивного зношування дашків лап оголюються підшипники шарошок, що часто призводить до випадання роликів на вибій і, як наслідок, до виникнення аварійної ситуації [3, 6, 7, 8]. Виходячи з наведеного вище, можна категорично стверджувати, що критичний режим роботи долота не може бути визнаний технологічно необхідним, а ймовірність його виникнення повинна бути заздалегідь спрогнозована та своєчасно усунена.

У зв'язку із зазначеним вище стає очевидною необхідність вибору такого показника фрезерування, який би характеризував конструкцію долота з точки зору забезпечення цього процесу протягом тривалого часу. Таким показником може слугувати коефіцієнт ресурсу фрезерування

$$K_p = \frac{\lambda}{\gamma}, \quad (2)$$

де:  $\lambda$  – кут бокового фрезерування долота;

$\gamma$  – кут нахилу лапи долота на першій ділянці від її дашка.

З (2) очевидно, що із збільшенням кута  $\gamma$  коефіцієнт  $K_p$  буде зменшуватись і, як наслідок, час роботи долота в нормальному режимі фрезерування буде скорочуватись.

Як видно з рис. 1, величини коефіцієнтів  $K_{\phi}$  і  $K_p$  залежать від конструктивних параметрів секції долота:  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ . Чим більша величина завісу шарошок  $\delta$  і менші  $h_1$  і  $h_2$ , тим більшого значення набуває  $K_{\phi}$ . На величину кута  $\gamma$  і, як наслідок, на величину  $K_p$  буде мати вплив конструктивне виконання лапи долота. У випадку захисту дашка лапи твердосплавним наплавленням кут  $\gamma$  буде зменшуватись, а кут  $\lambda$  залишатиметься незмінним.

З метою проведення аналізу фрезеруючої здатності сучасних тришарошкових доліт, які виготовляються у відповідності з ГОСТ-20692-75, було розраховано усереднені величини коефіцієнтів  $K_{\phi}$  і  $K_p$  за середніх розмірів конструктивних елементів доліт (з врахуванням величин допусків). Результати розрахунку наведені в таблиці 1.

З таблиці видно, що із збільшенням номінального діаметра долота (окрім доліт розміром 311,1 мм) спостерігається тенденція до зростання величин  $K_{\phi}$  і  $K_p$ . Наявність наплавлення на дашках лап зменшує коефіцієнт  $K_p$  залежно від конструктивних особливостей долота в середньому на 20-30%.

Як відомо, згідно з ГОСТ 20692-75 бурові долота розподіляються на типи за призначенням відповідно до фізико-механічних властивостей гірських порід, в першу чергу, — за їх тве-

Таблиця 1 – Показники фрезерування для основних типорозмірів шарошкових доліт

Шифр долота за ГОСТ 20692-75	Наявність захисту дашка лапи	Усереднений коефіцієнт фрезеруючої здатності, $K_{\phi}$	Усереднений коефіцієнт ресурсу фрезерування, $K_p$
215,9 М-ГВ	-	0,053	1,52
215,9 МЗ-ГВ	наплавлення	0,050	1,20
215,9 МС-ГНУ	наплавлення	0,047	1,12
215,9 СЗ-ГАУ	наплавлення	0,049	1,14
215,9 СЗ-ГВ	наплавлення	0,048	1,09
215,9 ТЗ-ЦВ	наплавлення	0,051	1,16
215,9 ТЗ-ГН	наплавлення	0,048	1,11
269,9 М-ГВ	-	0,62	1,83
269,9 М-ГНХ	-	0,67	1,67
269,9 С-ГНУ	-	0,073	1,82
269,9 С-ГВ	-	0,063	1,85
269,9 СЗ-ГАУ	наплавлення	0,061	1,21
269,9 Т-УВ	-	0,059	1,68
295,3 М-ГВ	-	0,067	1,92
295,3 МС-ГВ	-	0,064	1,83
295,3 С-ГВУ	-	0,070	2,0
295,3 СЗ-ГВ	-	0,064	1,83
295,3 Т-ЦВ	-	0,069	1,97
295,3 ТЗ-ЦВ	наплавлення	0,068	1,29
311,1 М-ГНУ	-	0,052	1,46
311,1 МСЗ-ГВУ	-	0,049	1,40
311,1 СЗ-ГВУ	-	0,049	1,42
311,1 СЗ-ГВ	наплавлення	0,053	1,18
311,1 С-ГВУ	-	0,053	1,47
311,1 ТЗ-ГВ	наплавлення	0,047	1,20
393,7 М-ЦВ	-	0,12	2,12
393,7 М-ЦВУ	наплавлення	0,15	2,78
393,7 С-ГВУ	наплавлення	0,11	1,90
393,7 СЗ-ГВУ	наплавлення	0,07	1,40
393,7 С-ГВ	наплавлення	0,086	1,88
393,7 Т-ЦВУ	наплавлення	0,084	1,55
393,7 Т-ГВУ	наплавлення	0,090	1,79

рдістю і абразивністю. Однак до останнього часу не розроблено загальноприйнятий кількісний критерій, згідно з яким можна було б чітко регламентувати такий розподіл [4]. Окрім того на практиці не завжди вдається чітко визначити буримість порід, які складають певний розріз. В результаті точність вибору типу долота в більшості випадків визначається рівнем кваліфікації бурового майстра або спеціалістів технологічної служби підприємства. Тому, керуючись необхідністю підвищення функціональних показників роботи КНБК на певних інтервалах зміни Zenітного кута свердловини, слід проводити відбір доліт із раціональними величинами  $K_{\phi}$  і  $K_p$  серед породоруйнуючого інструменту з близькими експлуатаційними ознаками.

Із таблиці 1 видно, що долота 215,9Н-ГВ і 215,9 МЗ-ГВ близькі за призначенням і можуть використовуватись в м'яких слабкоцементованих породах, однак перше з них характеризу-

ється значно вищим  $K_p$  за рахунок відсутності наплавлення дашків лап. Якщо порівняти долота 269,9 С-ГНУ і 269,9 С-ГВ, то стає очевидним, що перше долото доцільніше використовувати під час роботи з КНБК на базі відхилювача у разі необхідності забезпечення значних темпів викривлення, оскільки  $K_{\phi}$  у нього на 15% вищий, ніж у долота типу М.

Оскільки конструктивні елементи тришарошкових доліт мають різні величини і знаки допусків, то, очевидно, реальні величини коефіцієнтів  $K_{\phi}$  і  $K_p$  будуть істотно відрізнятися від їх усереднених значень. Так, наприклад, для долота 215,9 МС-ГНУ коефіцієнт бокової фрезеруючої здатності  $K_{\phi}$  може змінюватись в межах від 0,044 до 0,050, а коефіцієнт ресурсу фрезерування – від 1,0 до 1,25. В першому випадку можливе зростання коефіцієнта на 13,6%, а в другому випадку – на 25%. Цей приклад також однозначно свідчить про необхідність ра-

ціонального вибору доліт в процесі вирішення різних завдань спрямованого буріння.

Вище було обґрунтовано необхідність вибору бурового долота, яке б за своїми конструктивними параметрами максимально відповідало меті рейсу з набору, стабілізації або зменшення показників викривлення. Однак для проведення таких робіт в комплексі необхідно розробити методичну програму, яка б систематизувала всі заходи і операції та об'єднувала їх в одне ціле.

Перш за все, слід зазначити, що раціональний вибір доліт передбачає вирішення в процесі буріння двох завдань. Перше полягає у формуванні на долоті розрахункової величини відхиляючої сили, а друге – передбачає реалізацію функціональних можливостей компонок шляхом забезпечення необхідної ефективності процесу фрезерування стінки стовбура свердловини.

Загальний підхід до вибору доліт для певних завдань похило-спрямованого буріння повинен передбачати проведення аналізу табличних даних (табл. 1) і вибору в першому наближенні певних типорозмірів доліт. На наступному етапі у взаємозв'язку з конкретними цілями спрямованого буріння необхідно провести детальний замір всіх конструктивних параметрів доліт, які впливають на процес фрезерування стінок стовбура свердловини. Для точного вибору доліт у відповідності із завданнями похило-спрямованого буріння необхідно розраховувати коефіцієнти  $K_{\phi}$  і  $K_r$ . Однак, як відомо, за інших рівних умов інтенсивність викривлення стовбура знаходиться в прямій залежності від величини завісу шарошок, тому для загальної орієнтації достатньо знати величини останньої. Окрім цього, слід брати до уваги той факт, що кут нахилу першої ділянки лапи ( $h_1$ ) у всіх типорозмірів долота складає  $2^\circ$ .

Для відтворення на долоті в процесі буріння розрахункової величини відхиляючої сили необхідно провести аналіз точності виготовлення існуючого асортименту доліт за діаметром і розділити його на 2-3 групи. Найточніший замір робочих діаметрів доліт можна провести на токарному верстаті за одночасного обертання корпусу долота і шарошок.

Долота кожної із груп повинні бути віднесені до порід певних категорій буримості у відповідності з їх фізико-механічними властивостями (твердість по штампу і абразивність). Якщо певні типорозміри доліт передбачається використовувати під час буріння міцних, абразивних порід, а досвід застосування їх в однотипних геологічних розрізах засвідчує високу ймовірність зношування породоруйнуючого інструменту за діаметром, тоді слід відбирати долота із завищеним в межах допуску діаметром.

У процесі буріння в початковий період добування інтенсивність зміни параметрів викривлення буде дещо нижча за розрахункову. В процесі роботи долота калібруюча поверхня шарошок почне спрацьовуватися і за умови збереження їх осьового люфту діаметр долота

буде зменшуватися, а величина відхиляючої сили на долоті почне зростати і наближатися до розрахункової. Окрім цього, зношування підшипників шарошkových вузлів збільшує величину їх осьового люфту і шарошки долота почнуть зміщуватися в осьовому напрямі до центра долота. В результаті цього фактичне зменшення діаметра долота наприкінці добування буде ще вагомим.

Для роботи в слабкоабразивних м'яких і середньої твердості породах слід відбирати і використовувати долота із номінальним діаметром. У випадку, коли для порід зазначеного діапазону фізико-механічних властивостей не залишається іншого варіанту, ніж застосування доліт тільки завищеного діаметру, тоді слід провести коригування конструктивних параметрів КНБК із врахуванням фактичного діаметра породоруйнуючого інструменту.

У всіх випадках сортування доліт згідно їх робочих діаметрів необхідно брати до уваги конкретні завдання спрямованого буріння і вимоги до точності реалізації проектного профілю свердловини.

Облік типу і точності виготовлення шарошковых доліт з метою реалізації на практиці ефекту фрезерування стінки стовбура свердловини повинен бути також безпосередньо пов'язаний із конкретними завданнями похило-спрямованого буріння, які можуть передбачати набір, стабілізацію або зменшення параметрів викривлення стовбура свердловини. Окрім цього, слід враховувати також і фізико-механічні властивості гірських порід, в першу чергу – їх вплив на стабільність коефіцієнтів  $K_{\phi}$  і  $K_r$ .

Для буріння в твердих високоабразивних породах в складі КНБК із відхилювачем (тобто за значних темпів викривлення) слід підбирати долота з максимальними величинами  $K_{\phi}$  і  $K_r$ . Такий підхід забезпечить потрібну інтенсивність викривлення, в першу чергу, за рахунок значних величин завісу шарошок, а також за рахунок довготривалості процесу фрезерування стінок стовбура свердловини. Для цієї мети недоцільно використовувати долота з наплавленням дашків лап, оскільки коефіцієнт ресурсу фрезерування  $K_r$  таких доліт досить низький і зазвичай не перевищує величини 1,3.

В процесі буріння неорієнтованими КНБК на долоті, як правило, реалізується значно менша за величиною відхиляюча сила, ніж під час застосування відхилювачів на базі гідравлічних вибійних двигунів. Тому в даному випадку існує можливість використання долота з дещо меншим діапазоном значень коефіцієнта  $K_{\phi}$ , однак для доліт типу МЗ, СЗ і ТЗ коефіцієнт  $K_r$  повинен мати якомога максимальні величини.

У випадку, коли проектний профіль осі свердловини передбачає застосування компонок для стабілізації зенітного та азимутального кутів викривлення, слід застосовувати долота з мінімальними величинами  $K_{\phi}$  і  $K_r$ . Для цього доцільно використовувати, в першу чергу, долота з наплавленням дашків лап, оскільки в даному випадку має місце висока ступінь ймовірності переходу долота в аварійний режим

## Література

роботи, тобто виникнення тертя між корпусом долота і стінкою свердловини. Зазвичай такі інтервали буріння проводять з допомогою доліт розміром 215,9 мм. Як видно з таблиці 1, всі типорозміри таких доліт (окрім типу М) мають захист дашків лап у вигляді наплавлення твердим сплавом. Значення коефіцієнту  $K_p$  таких доліт перебувають в межах 1,09-1,20, а з врахуванням величин допусків цей діапазон істотно розширюється. Для попередження виникнення аварійної ситуації через зношування дашків лап всіх типів долоті цього розміру необхідно першочергову увагу приділяти заміру їх конструктивних параметрів, які регламентують величину кута  $\gamma$  і, як наслідок, значення коефіцієнта  $K_p$ .

Таким чином, запропонований та обґрунтований критерій оцінки ресурсу фрезерування  $K_p$ , який характеризує долото з точки зору тривалості процесу фрезерування ним стінки свердловини. Розроблений методичний підхід до раціонального вибору доліт для різних задач спрямованого буріння, який базується на аналізі показників фрезерування  $K_f$  і  $K_p$  шарошkových доліт та точності їх виготовлення за діаметром.

1 Белоруссов В.О., Бадовский Н.А. Определение вероятного пространственного положения ствола естественно искривляющейся скважины // Нефтяное хозяйство. – 1982. – № 1. – С. 13-17.

2 Белоруссов В.О., Боднарук Т.М. Прогнозирование и расчёт естественного искривления скважин: Справочное пособие. – М.: Недра, 1988. – 175 с.

3 Григорян Н.А. бурение наклонных скважин уменьшенных и малых диаметров. – М.: Недра, 1974. – 312 с.

4 Масленников И.К. Буровой инструмент: Справочник. – М.: Недра, 1989. – 430 с.

5 Профили направленных скважин и компоновки низа бурильных колонн / А.Г.Калинин, Б.А.Никитин, К.М.Солодкий, А.С.Повалихин. – М.: Недра, 1995. – 649 с. – Вып. 6.

6 Владиславлев Ю.Е. Исследование конструктивной и работы шарошечных долот со смещёнными осями шарошек: Дис... канд. техн. наук. – М., 1965. – 173 с.

7 Исследование работоспособности и износа опор шарошечных долот / Э.Л.Комм, А.С.Мокшин, С.Л.Залкин, В.П.Браженцев, М.Г.Абрамсон, Г.М.Осипов // Обзорн. информ. Сер. Машины и оборудование нефтегазовой промышленности. – М.: ВНИИОЭНГ, 1973. – 50 с.

8 Жидовцев Н.А., Кершенбаум В.Я., Гинзбург Э.С. Долговечность шарошечных долот. – М.: Недра, 1992. – 266 с.

## XVI Міжнародна науково-технічна конференція

# ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ МАТЕМАТИКИ І МЕХАНІКИ

м. Севастополь  
(15–19 вересня 2008 р.)

### Оргкомітет конференції

СевНТУ, НИС  
99053, м. Севастополь,  
вул. Університетська, 33

vin@sevgtu.sebastopol.ua

Карелина  
Людмила Андреевна

тел. (0692) 23 52 10

### Тематика конференції:

- Загальні питання механіки рідини, газу та твердого тіла
- Чисельні методи
- Газодинаміка ракет
- Приладобудування та екологія
- Океанологія та акустика
- Математичне моделювання