

ПРОЕКТУВАННЯ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З ДВОМА ПОРОДОРУЙНІВНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ ДЛЯ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН В ЗАДАНОМУ НАПРЯМКУ

І.В. Воєвідко, В.В. Токарук, М.А. Бодзян

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727165,
e-mail: vasyl.tokaruk@gmail.com*

На основі аналізу теоретичних і практичних досліджень буріння стовбурів великого діаметра запропоновано методика для проектування компоновок низу бурильної колони з двома породоруйнівними інструментами, що враховує геологічні і технічні фактори, які мають вплив на формування траєкторії. Проведено розрахунок двовибірних компоновок низу бурильної колони з різною кількістю опорно-центрувальних елементів для різних геологічних умов буріння і проведено аналіз їхньої роботи в процесі поглиблення. Наведено графічні залежності зміни інтенсивності викривлення і зенітного кута з поглибленням стовбура великого діаметра для компоновок, які можна використовувати для спорудження умовно вертикальних і похило спрямованих ділянок.

Ключові слова: розширювач, пілотний стовбур, ексцентриситет, бокове зміщення, анізотропія, інтенсивність викривлення.

На основе анализа теоретических и практических исследований бурения стволов большого диаметра предложена методика для проектирования компоновок низа бурильной колонны с двумя породоразрушающими инструментами, учитывающий геологические и технические факторы, оказывающие влияние на формирование траектории. Проведен расчет двухзабойных компоновок низа бурильной колонны с разным количеством опорно-центрирующих элементов для различных геологических условий бурения и проведен анализ их работы в процессе углубления. Приведены графические зависимости изменения интенсивности искривления и зенитного угла с углублением ствола большого диаметра для компоновок, которые можно использовать при сооружении условно вертикальных и наклонно направленных участков.

Ключевые слова: расширитель, пилотный ствол, эксцентриситет, боковое смещение, анизотропия, интенсивность искривления.

On the basis of the theoretical analysis and practical studies of hole drilling of large diameter, a method for designing the BHA with two rock cutting tools is proposed, taking into account the geological and technical factors that have an impact on the formation of the trajectory. The calculation of BHA with two rock cutting tools and a different number of supporting and centralizing components for different geological conditions of drilling is carried out and the analysis of their work in the process of drilling is conducted. The graphic dependences of the deviation intensity variation and the inclination angle with the sinking of borehole of the large diameter for the BHA that can be used for the drilling of vertical and directional wells.

Key words: hole opener, pilot bore, eccentricity, lateral displacement, anisotropy, deviation intensity.

Вступ

При спорудженні глибоких свердловин, передбачається спуск одно- або дворозмірних колон великого діаметра (324мм і більше) на значну глибину, що ставить задачу проведення стовбурів діаметром більше 393,7мм. Буріння ділянок такого діаметра можна здійснювати за допомогою доліт великого діаметра, роторно-турбінних бурів або розширенням попередньо пробурених стовбурів меншого діаметра долотами більшого розміру. Проте найбільш ефективним з огляду на техніко-економічні показники є використання одночасно двох породоруйнівних інструментів – пілот-долота для формування стовбура меншого діаметра і розширювача для утворення стовбура кінцевого діаметра. Ступеневий вибір дозволяє підвищити швидкість буріння за рахунок зменшення площі фронтального руйнування породи долотом і утворення зони попереднього руйнування на кільцевому вибої.

Аналіз публікацій та висвітлення невіршених раніше проблем

Такими дослідниками як Р. С. Яремійчук, Л. А. Райхерт було встановлено, що розширення пілотного стовбура в анізотропних породах відбувається ексцентрично [1]. Підтвердження цього явища наведено в роботі І. М. Фриза на основі експериментальних стендових і промислових досліджень. Також ним було проведено аналіз роботи компоновок низу бурильної колони (КНБК) з двома породоруйнівними інструментами в процесі буріння за різних геологічних умов [2]. При бурінні з використанням пілотної компоновки і наявності ексцентричного розширення, верхня частина обважнених бурильних труб (ОБТ) відхиляється в пілотному стовбурі від його осі. Це явище можна використовувати для керування траєкторією пілотного стовбура в площині ексцентричного розширення.

Основним фактором, що має вплив на виникнення ексцентричного зміщення розширю-

вача (РШ) є наявність на долоті і розширювачі відхиляючих сил, різних за величиною і напрямком. В роботі [3] представлені формули, використання яких дозволяє визначити величину відхиляючої сили на кожному з породоруйнівних інструментів, що виникає внаслідок дії анізотропності гірських порід і їх твердості:

$$F_{в.д.} = 0,5 \cdot \sigma_{з.п.} \cdot S_{к.д.} \cdot h \cdot \sin 2(\theta_0 - \alpha); \quad (1)$$

$$F_{в.р.} = 0,5 \cdot \sigma_{з.п.} \cdot S_{к.р.} \cdot h \cdot \sin 2(\theta_0 - \alpha); \quad (1)$$

де $\sigma_{з.п.}$ – твердість породи по штампу;
 $S_{к.д.}$, $S_{к.р.}$ – площа контактної поверхні відповідно долота і розширювача з вибоєм;
 h – індекс анізотропії гірської породи;
 θ_0 – кут падіння породи;
 α – зенітний кут нахилу свердловини.

Також варто враховувати, що різниця в механічних властивостях може проявлятися не тільки в шаруватих породах, але й в породах із строго орієнтованою системою тріщин. В таких породах опір руйнуванню вздовж площин тріщинуватості також вищий, ніж в перпендикулярному напрямку [4]. У такому випадку ізотропні тріщинуваті породи можуть поводити себе як анізотропні.

Згідно з твердженням вищезгаданих авторів, використання формул (1) і (2) дає можливість підібрати КНБК відповідно до завдань спрямованого буріння шляхом встановлення опорно-центрувального елемента (ОЦЕ) на певній відстані від долота. Зміна положення ОЦЕ між породоруйнівними елементами матиме вплив на баланс перекидаючих моментів і, відповідно, дозволить проводити умовно вертикальну ділянку стовбура свердловини або здійснювати буріння зі збільшенням або зменшенням інтенсивності викривлення.

Проте, використання такої методики розрахунку не дозволяє повною мірою оцінити роботу двовибійної КНБК, оскільки невраховано вплив напружено-деформаційного стану компоновки і зміну ексцентричного зміщення розширювача з поглибленням.

Отже, для максимально точного результату розрахунку КНБК з двома породоруйнівними інструментами ватро враховувати дію геологічних і технічних факторів на долото і розширювач, а також виконувати періодичне уточнення зміни ексцентричного зміщення основного стовбура свердловини відносно пілотного в процесі поглиблення і його вплив на зміну напружено-деформаційного стану КНБК.

Ціль та задачі дослідження

Метою цієї статті є висвітлення методики проектування КНБК з двома породоруйнівними інструментами, виконання розрахунку компонок згідно цієї методики, а також вибір оптимальних типів компонок низу бурильної колони.

Виклад основного матеріалу

В процесі буріння свердловини з використанням одночасно двох породоруйнівних елементів значення зенітного кута і ексцентриситету постійно змінюються. Тому роботу такого

типу КНБК неможливо повністю охарактеризувати за допомогою одноциклового методу розрахунку. Оптимальним є проведення циклічного розрахунку основних параметрів з уточненням в кінці інтервалу їхніх значень, і подальшим використанням уточнених величин при початковому розрахунку наступної ділянки.

Отже, пропонується використовувати наступний підхід до прогнозування роботи двовибійних КНБК:

1. Розраховується розподіл осевого навантаження між долотом і розширювачем, враховуючи розміри породоруйнівних інструментів і тип їхнього озброєння.

2. Використовуючи метод розв'язування диференціальних рівнянь вигнутої осі компоновки, проводиться розрахунок напружено-деформаційного стану КНБК з двома породоруйнівними елементами і, як результат, визначаються технічні відхиляючі сили на її контактних елементах.

3. Розраховуються геологічні відхиляючі сили на породоруйнівних елементах, враховуючи твердість породи, буровий індекс анізотропії, кут падіння пластів згідно формул (1) і (2).

4. Визначаються результуючі відхиляючі сили на долоті і розширювачі за різницею технічної і геологічної складових, що діють на відповідний елемент. Вказані складові були визначені в процесі розрахунку на другому і третьому етапах відповідно:

$$F_{р.в.} = F_{з.в.} - F_{т.в.},$$

де $F_{р.в.}$ – результуюча відхиляюча сила;

$F_{з.в.}$ – відхиляюча сила, що діє зі сторони геології;

$F_{т.в.}$ – відхиляюча сила, що виникає внаслідок зміни напружено-деформаційного стану.

5. Розраховується ексцентриситет на розширювачі як результат різниці бокових зміщень на породоруйнівних елементах. Бокові зміщення долота і розширювача розраховуються з врахуванням результуючих відхиляючих сил, визначених на попередньому етапі.

6. Визначаємо інтенсивність викривлення свердловини, використовуючи наступне рівняння [5]:

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{2}{L} \Phi_{\alpha} = 2 \left(\beta_0 + k \frac{F_{сид}}{F_{ос}} \cos p + \frac{h}{2} \sin 2\omega \cos \sigma \right), \quad (3)$$

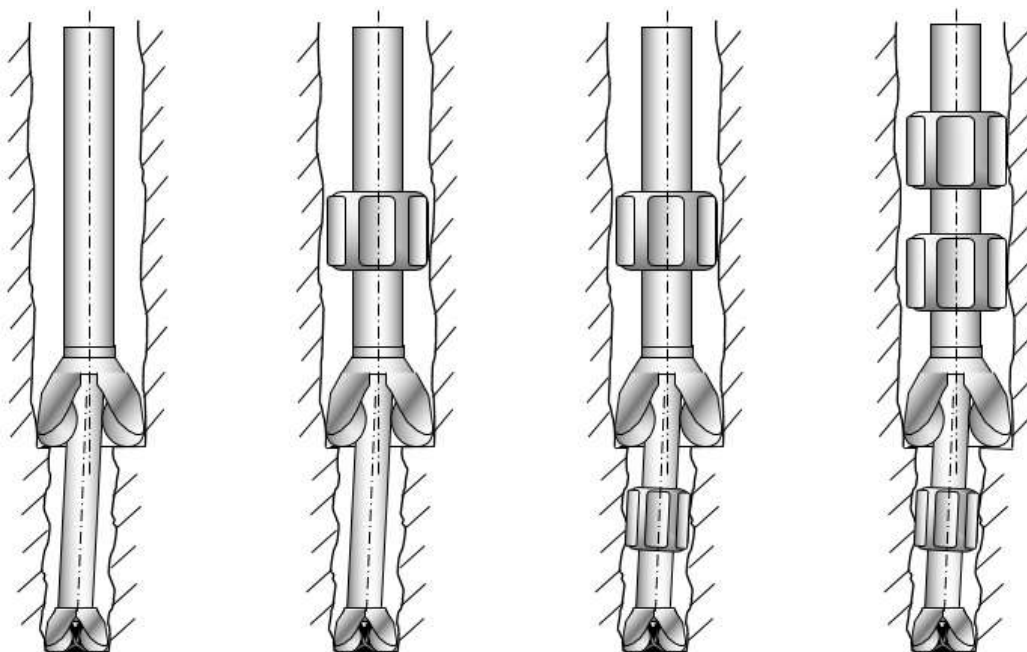
де L – довжина спрямовуючої ділянки від долота до першої точки контакту КНБК з стінкою свердловини;

$$\beta_0 = \frac{D_d - D_0}{2 \cdot L} \text{ – кут неспівосності;}$$

D_d , D_0 – діаметр долота і опорно-центрувального елемента відповідно;

k – коефіцієнт фрезеруючої здатності долота;
 $F_{вид}$, $F_{ос}$ – відповідно відхиляюча сила і осове навантаження на долото;

h – буровий індекс анізотропії;



а – без ОЦЕ; б – з ОЦЕ над РШ; в – з ОЦЕ над долотом і РШ;
 з – з ОЦЕ над долотом і двома ОЦЕ над РШ

Рисунок 1 – Схеми компоновок низу бурильної колони з двома породоруйнучими елементами

$$\omega = \arcsin \left(\frac{\cos[\alpha - \arctg(tg\gamma \cdot \cos\varphi_n)] \cos\gamma}{\cos[\arctg(tg\gamma \cdot \cos\varphi_n)]} \right) -$$

кут зустрічі долота з площиною пласта геологічної структури;

γ – кут падіння пластів;

φ_n – напрям свердловини по відношенню до підняття пластів;

$$\sigma = \arcsin \left(\frac{\sin\gamma \sin\varphi_n}{\cos\omega} \right) - \text{кут між апсидальною площиною і площиною дії відхиляючого фактора анізотропії.}$$

Виконання розрахунків згідно цієї методики у випадку просторового викривлення є досить складним, тому варто ввести обмеження, що дозволить зменшити кількість проведених обчислювальних операцій:

- поглиблення стовбура великого діаметра, а, відповідно, його викривлення і зміна ексцентриситету відбувається в апсидальній площині;
- розподіл навантаження між долотом і розширювачем незмінний на всьому інтервалі буріння для якого проводиться розрахунок;
- аналіз напружено-деформаційного стану КНБК здійснюється для плоскої моделі.

- механічна швидкість буріння приймається стабільною на всьому інтервалі буріння ділянки стовбура великого діаметра і вибирається на основі проаналізованих промислових даних при бурінні свердловин на родовищах Прикарпаття.

Використовуючи описану вище методику, було проведено практичний розрахунок масиву КНБК, до складу якого входять такі елементи:

- долото Ø295,3мм, ОБТØ203мм, РШ Ø393,7мм, ОБТ Ø203мм;

- долото Ø295,3мм, ОБТØ203мм, розширювач Ø393,7мм, ОБТ Ø203мм, ОЦЕØ393,7мм, ОБТ Ø203мм;

- долото Ø295,3мм, ОБТØ203мм, ОЦЕØ295,3мм, РШ Ø393,7мм, ОБТ Ø203мм, ОЦЕØ393,7мм, ОБТ Ø203мм;

- долото Ø295,3мм, ОБТØ203мм, ОЦЕØ295,3мм, РШ Ø393,7мм, ОБТ Ø203мм, ОЦЕØ393,7мм, ОБТ Ø203мм, ОЦЕØ393,7мм, ОБТ Ø203мм.

На рисунку 1 зображені схеми 4-х типів ступінчастих компоновок низу бурильної колони, до складу яких входять долото, розширювач і різна кількість ОЦЕ.

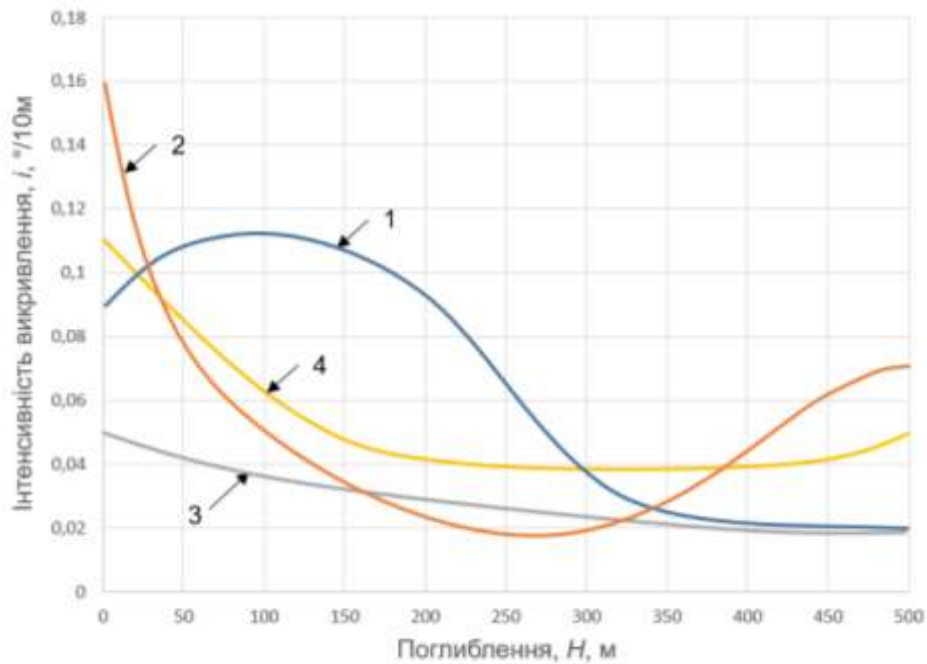
Під час виконання розрахунку згідно методики, було проаналізовано роботу зазначених вище типів КНБК, за різних геологічних умов, а саме за різних індексів анізотропії пласта:

ізотропні гірські породи ($h = 0$);

гірські породи з середнім індексом анізотропії ($h = 0,0075$);

гірські породи з максимальним індексом анізотропії ($h = 0,015$).

При бурінні свердловин великого діаметру з використанням «гладких» КНБК, тобто таких, що містять тільки два породоруйнучі інструменти, згідно з рівнянням (3) можна спостерігати тенденцію до зменшення інтенсивності викривлення зі збільшенням довжини спрямовуючої ділянки. Кінцевий зенітний кути при цьому знаходиться в межах 5°. Для буріння умовно вертикального стовбура можна використовувати таку двовибійну КНБК: долото Ø295,3мм + ОБТ 203мм 9м + розширювач Ø393,7мм + ОБТ 203мм – для порід з індексом анізотропії 0,015.



1 – без ОЦЕ, $h=0,015$; 2 – з ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$; 3 – з ОЦЕ над долотом і РШ, $h=0,0075$;
4 – з ОЦЕ над долотом і двома ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$

Рисунок 2 – Зміна інтенсивності викривлення $i, \%/10\text{м}$ з поглибленням свердловини $H, \text{м}$ (початковий зенітний кут 2°)

На основі аналізу попередньо розрахованої КНБК було прийнято рішення про розрахунок компоновок з встановленням ОЦЕ над розширювачем. Оскільки розрахунок попередніх КНБК проводився для ряду довжин пілотної ділянки, то для подальших розрахунків було обрано відстань між долотом і розширювачем рівну 5м, яка повинна забезпечувати середні значення інтенсивності викривлення, а встановлення ОЦЕ над розширювачем, в свою чергу, дозволяє сповільнити його боковий дрейф і відповідно, зменшити інтенсивність викривлення стовбура свердловини. Оптимальною для використання в цілях проведення умовно вертикального стовбура великого діаметра є наступна КНБК - долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 5м + РШ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 2м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм, при бурінні в породах з індексом анізотропії 0,0075. На ділянці буріння 0-300м спостерігається зменшення темпу викривлення стовбура свердловини від 0,16 до 0,1 $^\circ$ /100м, що супроводжується ростом ексцентриситету в напрямку підняття пластів. Подальше поглиблення відбувається зі збільшенням інтенсивності викривлення, при чому бокове зміщення долота більш вагомо починає впливати на формування ексцентриситету, який, відповідно, змінює свій напрям по падінню пластів.

На основі попереднього розрахунку КНБК без ОЦЕ і з одним ОЦЕ над розширювачем було прийнято рішення про розрахунок СКНБК з двома ОЦЕ. Відстань від долота до РШ, як і для попередньої компоновки, становить 5м, при цьому змінюється положення ОЦЕ $\varnothing 295,3\text{мм}$ між ними. Відстань від РШ до ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$

на основі аналізу КНБК з одним опорно-центрувальним елементом, прийнято рівною 3м, оскільки така довжина цієї ділянки відповідає середнім значенням інтенсивності викривлення, і мінімальним результирующим відхиляючим силам на РШ. При зміщенні ОЦЕ в напрямку від долота до РШ спостерігається зменшення інтенсивності викривлення згідно з рівнянням (3), оскільки збільшується довжина спрямовуючої ділянки.

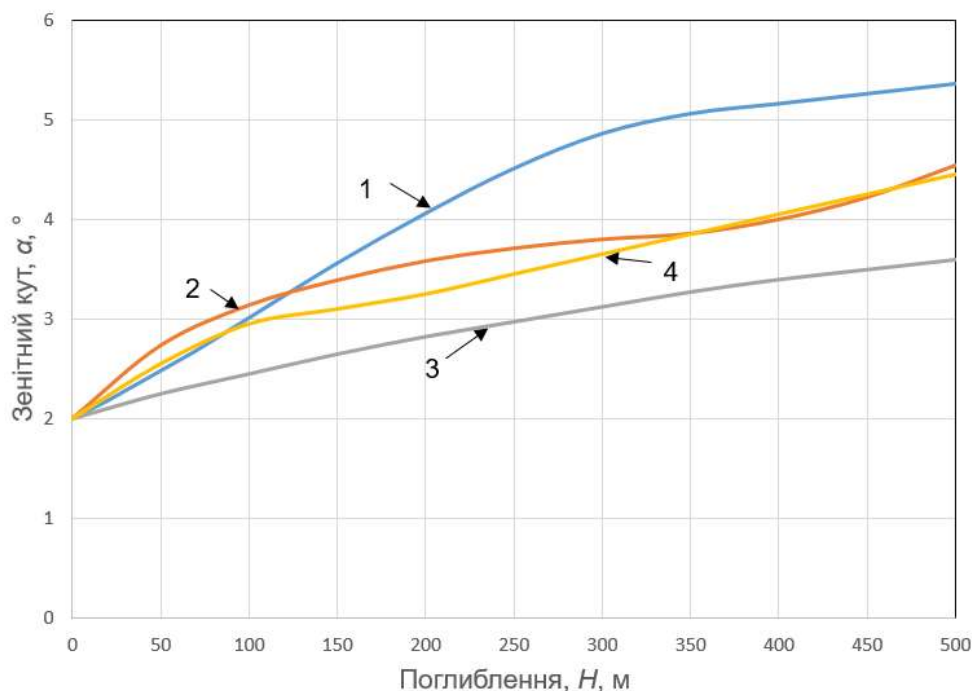
Для буріння умовно вертикальних свердловин можна виділити наступні дворозмірні КНБК:

долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 4м + ОЦЕ $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 1м + РШ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 3м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм – для порід з індексом анізотропії 0,0075.

Встановлення додаткового ОЦЕ над розширювачем дає змогу більшою мірою порівняно з попередньою КНБК, зменшити технічну складову відхиляючої сили на РШ, і, відповідно, на цей породоруйнуючий інструмент будуть діяти в основному відхиляючі сили, що виникають внаслідок анізотропії гірських порід. Для порід з індексом анізотропії 0,0075, при проведенні умовно вертикального стовбура свердловини, оптимальним варіантом є КНБК:

- долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 4м + ОЦЕ $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 1м + РШ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 3м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 5м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм.

На рисунку 2 зображено графіки зміни інтенсивності викривлення з поглибленням для описаних вище КНБК з двома породоруйнівними інструментами для буріння інтервалу довжиною 500 м.



1 – без ОЦЕ, $h=0,015$; 2 – з ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$; 3 – з ОЦЕ над долотом і РШ, $h=0,0075$;
4 – з ОЦЕ над долотом і двома ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$

Рисунок 3 – Зміна зенітного кута $\alpha, ^\circ$ з поглибленням свердловини $H, м$ (початковий зенітний кут 2°)

Аналізуючи графіки, зображені на рисунку 1, можна зробити висновок, що для проведення умовно вертикального стовбура свердловини оптимальним варіантом є використання КНБК, до складу якої входять два ОЦЕ: перший з них встановлений на відстані 5 м над розширювачем, другий – між долотом і РШ, на відстані 4 м від долота. Ця компоновка дозволяє здійснювати буріння з інтенсивністю викривлення $0,2-0,5^\circ/100м$. Поведінка «гладкої» КНБК значною мірою залежить від зміни величини і напрямку ексцентриситету в процесі поглиблення, що чітко відображено на графічній залежності – в інтервалі буріння 0-100 м відбувається набір ексцентриситету в напрямку падіння пластів, і, відповідно, величина інтенсивності викривлення збільшується від $0,9$ до $1,16^\circ/100м$. На ділянці 100-350 м відбувається зміна напрямку ексцентриситету з зміщення РШ, що супроводжується спадом темпу набору зенітного кута від $1,16$ до $0,25^\circ/100м$ і при подальшому поглибленні величина ексцентриситету стабілізується.

Встановлення додаткового ОЦЕ над розширювачем дозволяє зменшити інтенсивність набору ексцентриситету з зміщення в процесі поглиблення, проте це явище більш вагомо відбивається на діапазоні величини інтенсивності викривлення – в інтервалі 0 – 275 м темп зміни зенітного кута зменшується від $1,6$ – $0,19^\circ/100м$.

Проаналізувавши КНБК з трьома ОЦЕ, можна помітити, що загалом величина інтенсивності викривлення дещо вища в порівнянні з компоновкою з двома ОЦЕ за рахунок меншої технічної складової відхиляючої сили на РШ, тобто формування ексцентриситету відбуваєть-

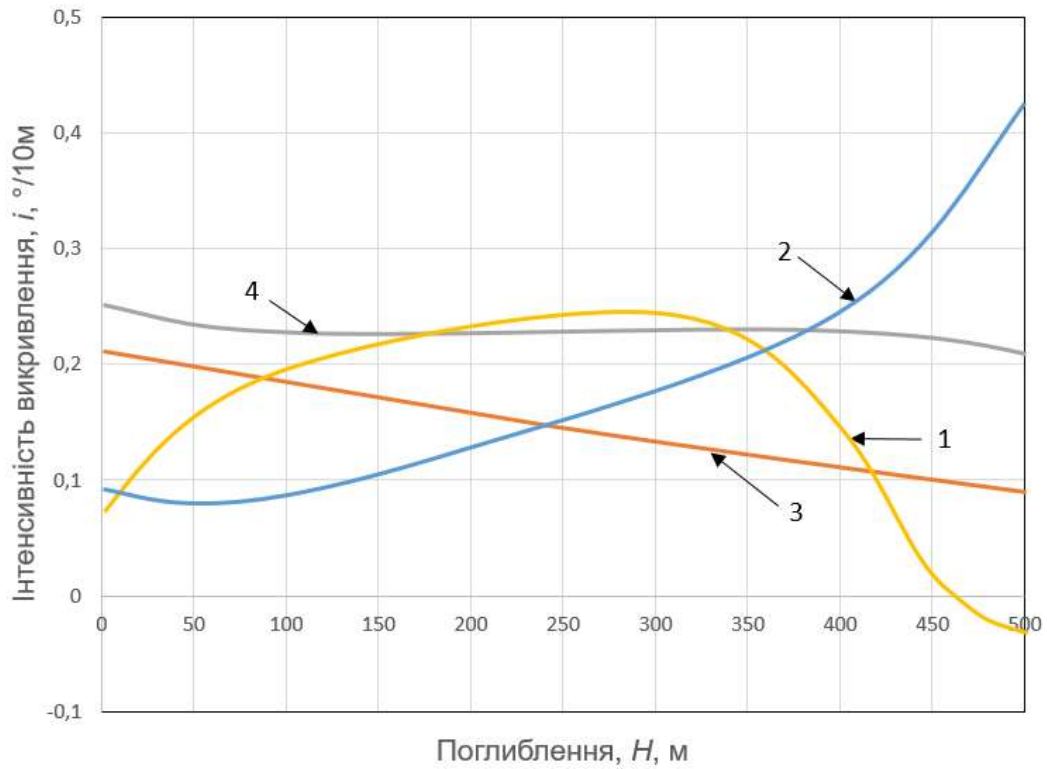
ся більш активно внаслідок дії геологічних факторів. Оскільки форма вигнутої осі КНБК змінюється при боковому переміщенні більшого породоруйнівного інструмента, то відповідно збільшується відхиляюча сила на долоті.

На рисунку 3 зображені графіки зміни зенітного кута з поглибленням, які є похідними від значень інтенсивності викривлення.

Проаналізувавши наведені графічні залежності, можна дійти висновку, що мінімальний діапазон зміни зенітного кута спостерігається при використанні КНБК з двома ОЦЕ – зенітний кут змінюється від 2 до $3,5^\circ$ на інтервалі буріння 500 м. Компоновки з одним і трьома ОЦЕ забезпечують зміну зенітного кута від 2 до $4,5^\circ$ на ділянці буріння такої самої довжини. Використання КНБК без ОЦЕ призводить до приросту зенітного кута від 2 до $5,2^\circ$ при бурінні інтервалу довжиною 500 м.

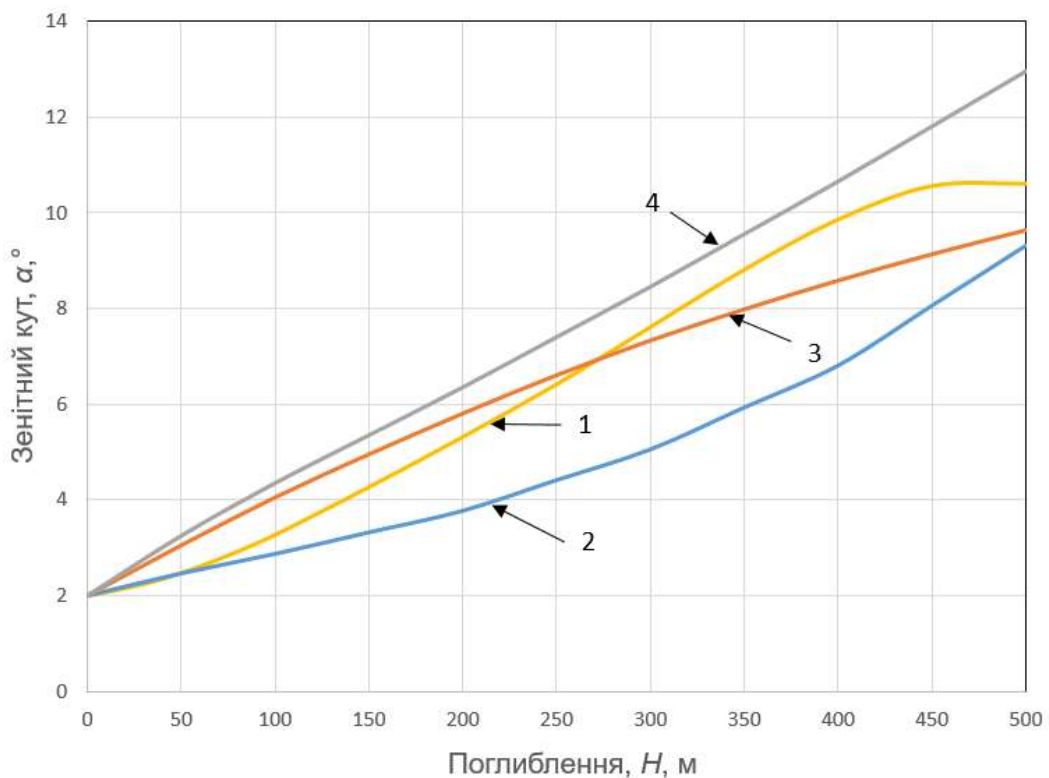
При необхідності проведення похило спрямованого стовбура великого діаметра, явище формування ексцентриситету можна використовувати як для збільшення, так і для зменшення зенітного кута в процесі буріння. Аналізуючи результати розрахунків різних двовибірних КНБК, можна виділити необхідну величину інтенсивності викривлення, визначити проміжне значення ексцентриситету, що їй відповідає, і шляхом встановлення обмежувача ексцентриситету під розширювачем застabilізувати певний темп зміни зенітного кута.

На рисунку 4 зображено графічні залежності зміни інтенсивності викривлення з поглибленням при використанні двовибірних КНБК для набору зенітного кута.



1 – без ОЦЕ, $h=0,015$; 2 – з ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$; 3 – з ОЦЕ над долотом і РШ, $h=0,0075$;
4 – з ОЦЕ над долотом і двома ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$

Рисунок 4 – Зміна інтенсивності викривлення $i, °/10м$ з поглибленням свердловини $H, м$ (початковий зенітний кут $2°$)



1 – без ОЦЕ, $h=0,015$; 2 – з ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$; 3 – з ОЦЕ над долотом і РШ, $h=0,0075$;
4 – з ОЦЕ над долотом і двома ОЦЕ над РШ, $h=0,0075$

Рисунок 5 – Зміна зенітного кута $α, °$ з поглибленням свердловини $H, м$ (початковий зенітний кут $2°$)

На основі проведених розрахунків КНБК до складу яких входить долото і РШ, можна виділити наступну компоновку без ОЦЕ, яка підходить для буріння з набором zenітного кута: долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 7м + розширювач $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм при бурінні у породах з індексом анізотропії 0,0075. Значення інтенсивності викривлення в цьому випадку досягають $2,4^\circ/100\text{м}$.

Використовуючи двовибійну КНБК з одним ОЦЕ над розширювачем такої конфігурації: долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 5м + РШ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 3м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм можна здійснювати буріння стовбура великого діаметра з приростом zenітного кута від 0,9 до $3,4^\circ/100\text{м}$.

При бурінні компоновками з двома ОЦЕ можна досягнути стабільної зміни zenітного кута при високих значеннях анізотропії гірських порід. КНБК такого типу - долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 2м + РШ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 3м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм дає можливість проводити стовбур свердловини з інтенсивністю від $2,1^\circ/100\text{м}$ на початку інтервалу до $0,9^\circ/100\text{м}$ на глибині 500м. При зменшенні відстані від долота до ОЦЕ, можна отримати більші значення інтенсивності викривлення.

Встановлення додаткового опорно-центрувального елемента над розширювачем дозволяє зменшити діапазон коливання значення темпу зміни zenітного кута. Наприклад, при використанні КНБК: долото $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 1м + ОЦЕ $\varnothing 295,3\text{мм}$ + ОБТ 203мм 4м + РШ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 3м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм 5м + ОЦЕ $\varnothing 393,7\text{мм}$ + ОБТ 203мм при проходженні порід з індексом анізотропії 0,015, інтенсивність викривлення знаходиться в межах $2,1-2,5^\circ/100\text{м}$.

На рисунку 5 зображено графічні залежності зміни zenітного кута з поглибленням, які є похідними від графіків на рисунку 4.

Аналізуючи ці графіки, можна зробити висновки, що використання описаних КНБК дозволяє проводити стовбур великого діаметра з приростом zenітного кута від 2° до $9-13^\circ$ на кінцевому етапі буріння ділянки довжиною 500м. При цьому можна помітити такі тенденції - для «гладких» компоновок при бурінні інтервалу довжина якого перевищує 500м, відбувається зменшення zenітного кута, а використання КНБК з ОЦЕ дозволяє отримати стабільну зміну траєкторії свердловини.

Висновки

На основі проведеного критичного аналізу інформаційних джерел, що стосуються буріння стовбурів великого діаметра з використанням компоновок низу бурильної колони до складу яких входять два породоруйнівні інструменти (долото і розширювач), розроблено методику, яка дозволяє здійснювати розрахунок КНБК, виходячи з геологічних умов буріння, для виконання завдань спрямованого буріння. На основі запропонованої методики проведено розрахунок і аналіз масиву двовибійних КНБК, які дозволяють споруджувати кінцевий стовбур діаметром 393,7мм. Вибрано оптимальні компоновки для проведення умовно вертикальних і похило-спрямованих стовбурів великого діаметра.

Література

- 1 Яремийчук Р.С. Бурение стволов большого диаметра / Яремийчук Р.С., Райхерт Л.А. – М.: Недра, 1977. – 174 с.
- 2 Фрыз И.М. Разработка ступенчатых компоновок для бурения вертикальных скважин в анизотропных породах: на примере месторождений Прикарпатья: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 1986. – 211 с.
- 3 Райхерт Л.А. Направленное бурение скважин в анизотропных породах роторным способом ступенчатыми КНБК / Райхерт Л.А., Фрыз И.М. // Труды ВНИИБТ. – М., 1985. – Вып. 61.
- 4 Сулакшин С. С. Направленное бурение: учебник для вузов / С. С. Сулакшин. – Москва: Недра, 1987.
- 5 Воевідко І.В. Розробка науково-методичних основ та технічних засобів для підвищення точності проведення нафтогазових свердловин в заданому напрямі: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Івано-Франківськ, 2007. – 353с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
17.05.18

Рекомендована до друку
професором **Векериком В.І.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук **Куцьяком Я.В.**
(ПАТ «НДКБ бурового інструменту», м. Київ)