

УДК 622.245

**Фем'як Я. М., доктор технічних наук, професор, професор кафедри буріння свердловин**

**Федик О. М., асистент кафедри буріння свердловин**

**Фем'як В. Я., аспірант кафедри буріння свердловин**

*(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)*

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КНБК ДЛЯ БУРІННЯ ПОХИЛО-СКЕРОВАНОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Ключову роль у процесі буріння свердловин відіграє бурильна колона (БК) та її наддолотна система – компоновка низу бурильної колони (КНБК), які повинні відповідати високим експлуатаційним вимогам, що обумовлені насамперед техніко-технологічними та гірничо-геологічними умовами буріння, а також показниками надійності, довговічності ну й зрозуміло що й енергоефективності.

В практиці буріння свердловин сьогодні застосовують безліч різноманітних КНБК, як неорієнтованих, так і для буріння в заданому напрямі. У процесі буріння скерованих свердловин найбільшого застосування набули неорієнтовані КНБК, що забезпечують прокладання умовно-прямолинійних вертикальних, нахилених і горизонтальних ділянок свердловини.

Дослідженнями встановлено [1, 2], що ефективність неорієнтованих КНБК залежить від кількості опорно-центрувальних елементів (ОЦЕ), збільшення яких сприяє стабільнішій їх роботі.

Проте, практикою буріння свердловин доведено низку негативних чинників стосовно використання багатоопорних компонок:

- ризику прихоплення низу БК;
- ускладнення при СПО;
- погіршення умов транспортування шламу;
- зростання гідравлічних втрат у кільцевому просторі;
- виникнення додаткових моментів опору - є чинником, що впливає на енергетичні затрати під час обертання бурильної колони.

Провівши аналіз опублікованих праць [3 - 7] за даним напрямком, можна помітити, що дане питання дійсно розкриває широкий спектр проблем управління параметрами проектного профілю з використанням КНБК для орієнтованого і неорієнтованого роторного та турбінного способів буріння. Проте при спорудженні ПСС і ГС здебільшого використовують їх неорієнтовані конструкції, незалежно від способу буріння. Більшість відомих орієнтованих систем скерованого буріння свердловин є конструктивно складнішими за свій прототип, а технологія буріння з ними в більшості розрахована на використання дороговартісних вибійних двигунів.

Проте сьогодні існують вибійні системи і технології скерованого буріння свердловин, застосування яких відбувається в умовах суміщеного способу. КНБК при цьому стають слабко керованими і не можуть повноцінно забезпечувати параметри проектного профілю. Шляхом аналізу промислових і наукових матеріалів встановлено низку упущень в підходах до їх проектування і вибору при відповідних техніко-технологічних параметрах експлуатації в ПСС і ГС.

Відомо, що при розміщенні КНБК в похилому прямолинійному стовбурі свердловини бурове долото руйнує вибій свердловини як в осьовому так і в поперечному напрямках під дією осьового навантаження й відхиляючої сили на долоті. Стосовно відхиляючої сили, то вона відповідає поперечній реакції  $R$  стінки свердловини на долоті, проте є протилежною за напрямком. Також слід мати на увазі,

що за рахунок прогину нижньої частини бурильної колони, вісь бурового долота не співпадає з віссю стовбура свердловини, тобто долото при цьому розміщене в свердловині по відношенню до її осі з певним перекосом. Тому напрямок буріння буде визначатися відхиляючою силою  $R$  і кутом перекосу долота  $\gamma$  (рис. 1). Як наслідок, за рахунок фрезерування стінки свердловини боковою поверхнею долота і неспівпаданні осі долота з віссю свердловини, її стовбур відхилятиметься від прямолінійного напрямку.

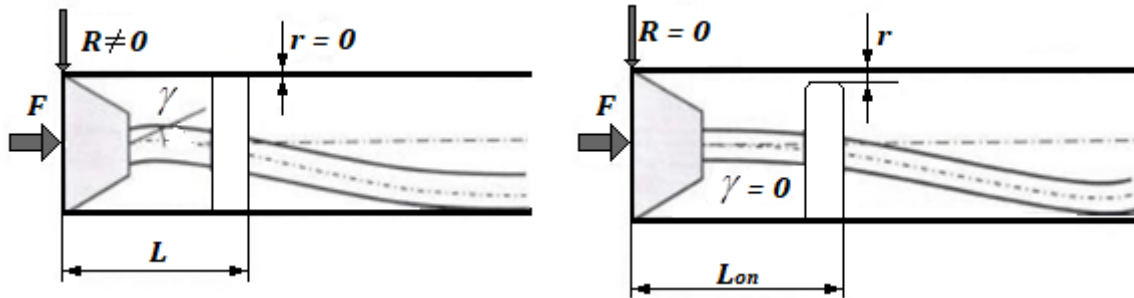


Рисунок 1 – Вплив жорсткості КНБК на напрямок буріння стовбура свердловини

З рис. 1 випливає, якщо будуть виконуватися наведені умови, тоді бурове долото руйнуватиме гірську породу тільки в напрямку осі свердловини, забезпечуючи стабілізацію напрямку буріння свердловини. Якщо так, тоді необхідно встановлювати в КНБК центратор, діаметр якого повинен бути меншим ніж діаметр долота, а довжина направляючої секції КНБК чітко відповідати розрахунковому значенню.

При рівності нулю не тільки відхиляючої сили на долоті, але і кута його перекосу гірська порода буде руйнуватися тільки в напрямку осі стовбура свердловини або дотичної до осі викривленого інтервалу свердловини. Тому, процес проектування КНБК передбачає чітке встановлення довжини секції та діаметру ОЦЕ, при яких будуть виконуватися поставлені умови щодо ефективної роботи бурового долота. Вирішення таких завдань здійснюється через критерій оптимізації  $\Theta$  :

$$\left. \begin{array}{l} R = 0; \\ \gamma = 0. \end{array} \right\} \rightarrow \Theta. \quad (1)$$

Розглянемо деякі варіанти стосовно оптимізації вибору КНБК, які є найбільш прийнятними для наших умов буріння проектної свердловини.

У випадку застосування КНБК з одним центратором при запроєктованому значенні зенітного кута і кривизни стовбура свердловини є лише одна пара оптимальних значень діаметра центратора і довжини направляючої секції КНБК (рис. 2 – 3).

На основі розрахункових оптимальних розмірів КНБК визначають розташування центратора з урахуванням розмірів долота, калібратора та інших технологічних елементів КНБК.

При застосуванні вибійних двигунів і використанні пересувних центраторів, місце встановлення нижнього центратора на корпусі вибійного двигуна (мається на увазі відстань від торця наддолотного перехідника вала шпинделя до центратора) можна визначити, скориставшись таким виразом:

$$H_3 = L - H_1 - H_2 - H_4, \quad (2)$$

де:  $H_3$  – відстань від нижнього торця наддолотного перехідника вала шпинделя вибійного двигуна до центратора, м;  
 $L$  – розрахункова довжина направляючої секції, м;  
 $H_1$  – висота долота, м;  
 $H_2$  – довжина наддолотного калібратора, м;  
 $H_4$  – довжина центратора, м.

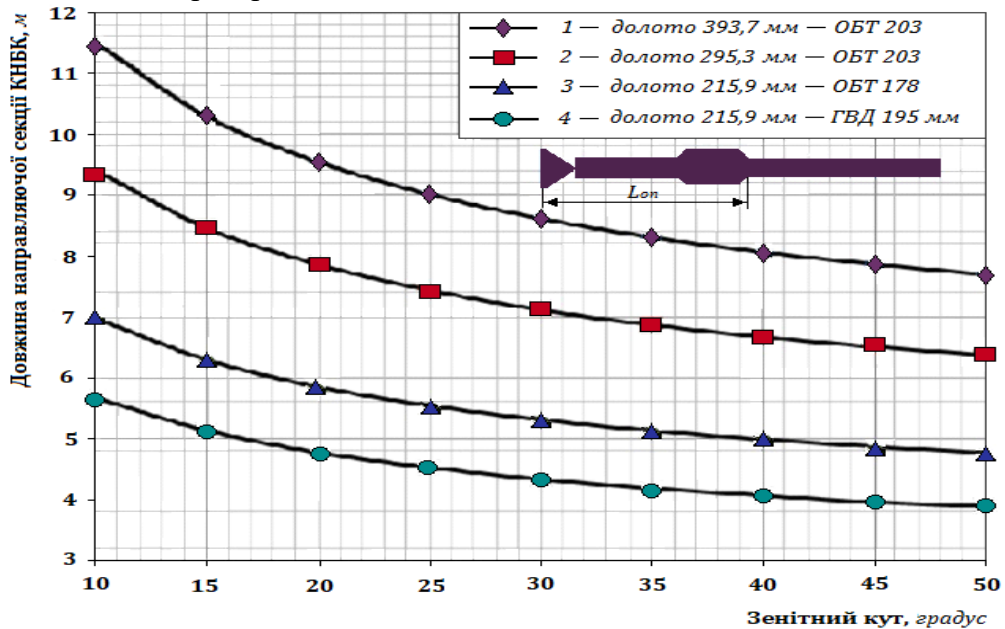


Рисунок 2 - Залежності довжини направляючої секції стабілізуючої КНБК з одним центратором від зенітного кута для буріння похило-скерованого інтервалу профілю свердловини

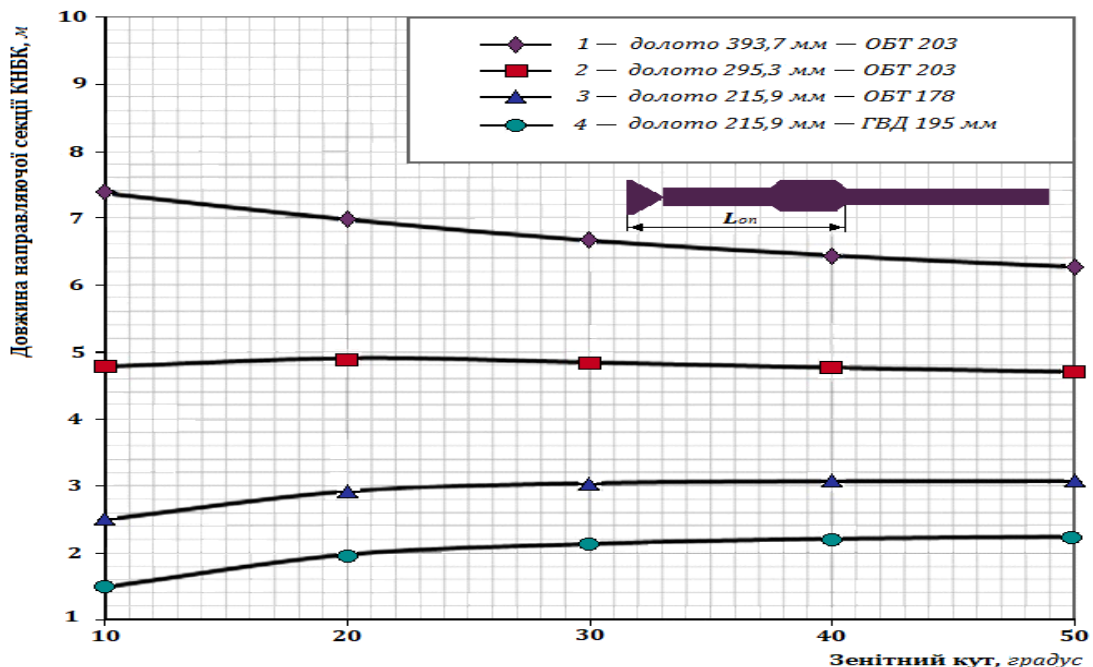


Рисунок 3 - Залежності довжини направляючої секції КНБК з одним центратором для буріння похило-скерованого інтервалу профілю свердловини з інтенсивністю збільшення зенітного кута 3°/100 м

У вибійного двигуна-відхилювача (рис. 4) між секцією шпинделя і робочою секцією знаходиться кривий перевідник або механізм викривлення. Згідно запроєктованого радіуса  $R_{кр}$  кривизни стовбура проектної свердловини розраховується необхідний кут  $\gamma$  перекосу викривленого перехідника чи іншого механізму викривлення за наступною формулою:

$$\gamma = \arcsin \left[ \frac{L_1 + L_2}{2R_{кр}} \right] + \beta; \quad (3)$$

$$\beta = \arctg \left[ \frac{D_{св} - d_{ГВД}}{2L_1} \right], \quad (4)$$

де:  $R_{кр}$  – радіус кривизни стовбура свердловини, м;

$L_1, L_2$  – відповідно довжина нижньої і верхньої секцій вибійного двигуна-відхилювача, м;

$\gamma$  – кут перекосу викривленого перехідника, град.;

$D_{св}, d_{ГВД}$  – відповідно діаметр свердловини і корпусу вибійного двигуна-відхилювача, м.

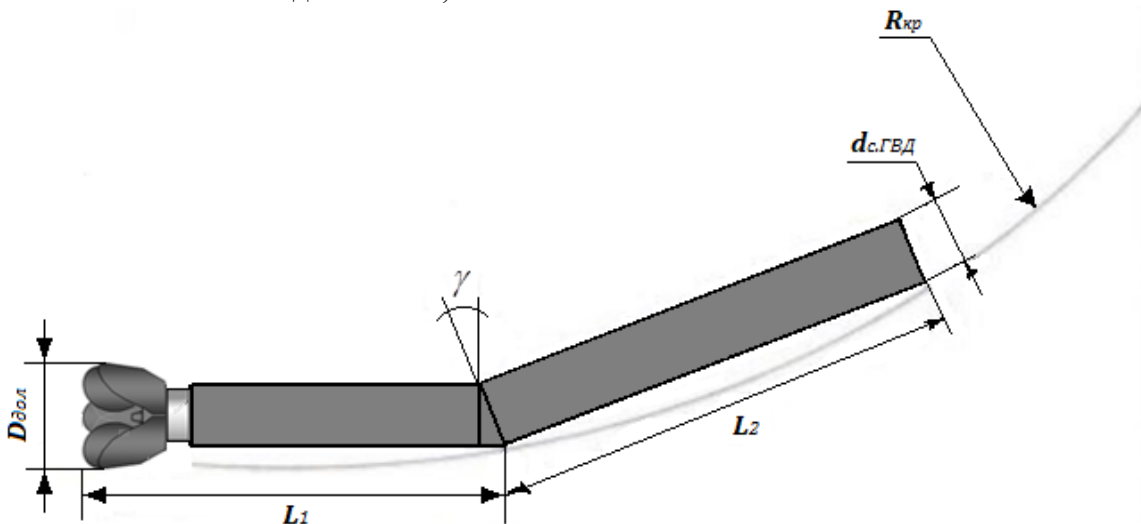


Рисунок 4 - Схема двигуна-відхилювача

Однак, необхідне виконання таких умов:

- довжина кожної секції повинна бути меншою за довжину  $L_1$  жорсткої частини КНБК, і яку можна визначити з формули:

$$L_1 = 1,333 \cdot \sqrt[4]{\frac{(D_{дол} - d_{с.ГВД}) \cdot EJ}{\Omega}}, \quad (5)$$

де:  $D_{дол}, d_{с.ГВД}$  – діаметр долота і секції вибійного двигуна відповідно, м;

$EJ$  – жорсткість на згин секції вибійного двигуна, кН·м<sup>2</sup>;

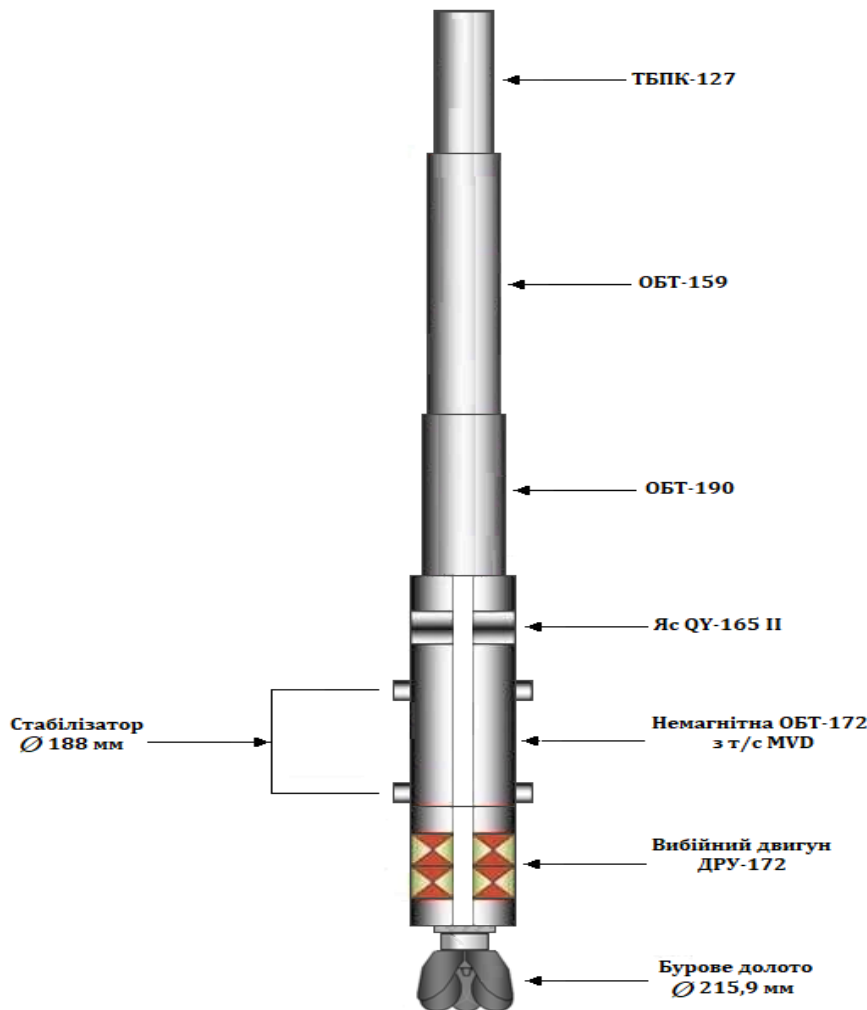
$\Omega$  – поперечна складова ваги одиниці довжини секції вибійного двигуна, кН/м.

Максимальна довжина  $L_{ш}$  шпинделя з буровим долотом, при якій забезпечується його прохідність у викривлений стовбур свердловини із заданим радіусом кривизни  $R_{кр}$  визначається, виходячи з формули:

$$L_{ш} = 2,4 \cdot \sqrt{R_{кр} \cdot (D_{дол} - d_{с.ГВД})}. \quad (6)$$

Слід зазначити, що й робоча секція вибійного двигуна-відхилювача також має проходити у викривлений стовбур свердловини без деформації, й тому її довжина  $L_{с.ГВД}$  повинна відповідати такому співвідношенню:

$$L_{с.ГВД} \leq 2,83 \cdot \sqrt{R_{кр} \cdot (D_{дол} - d_{с.ГВД})}. \quad (7)$$



**Рисунок 5 - Конструкції КНБК для буріння похило-скерованого інтервалу свердловини**

Виходячи з вище наведеного зрозуміло, що для буріння похило-скерованого інтервалу стає можливим застосування як роторної КНБК так і КНБК з вибійним двигуном. Слід зазначити, що в останні роки свердловини споруджувались за допомогою роторних компоновок та без використання телеметричних систем, а безпосередній контроль за траєкторією проводився здійсненням геофізичних робіт. Встановлено, що для забезпечення необхідної кількості обертів бурового долота вкрай

потрібним є використання вибійних двигунів з регульованим кутом перекоосу, як для набору так і для скидання кута. Для контролю за траєкторією свердловини пропонується використання телеметричної системи по всьому похило-скерованому інтервалу буріння. Виходячи з урахування наявності необхідного обладнання на виробничій базі бурового підприємства, для буріння похило-скерованого інтервалу пропонуємо наступну компоновку низу бурильної колони, яка наведена на рис. 5.

#### Список використаних джерел:

1. Спосіб розрахунку компоновок низу бурильної колони / В. М. Івасів, І. І. Чудик, І. М. Моргулець, П. В. Пушкар. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2003. № 1. - С. 118 - 120.
2. Воевідко І. В. Комплектація та вибір типорозміру компоновок низу бурильної колони для похило-спрямованого буріння свердловин / І. В. Воевідко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2008. - № 3. - С. 91 - 95.
3. Чудик І. І. Особливості застосування орієнтованих КНБК у процесі буріння скерованих свердловин / І. І. Чудик, А. М. Лівінський, А. Аль Танакчі, А. М. Пастух // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2019. - № 1(70). - С. 17 - 23.
4. Офіційний сайт компанії «National Oilwell Varco» (NOV), обладнання Proshot: [https://www.nov.com/Segments/Wellbore\\_Technologies/ReedHycalog/Directional\\_Measurment\\_and\\_Steerable\\_Technologies/Directional\\_Systems/Teledrift\\_ProShot.aspx](https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/ReedHycalog/Directional_Measurment_and_Steerable_Technologies/Directional_Systems/Teledrift_ProShot.aspx).
5. Чудик І. І. Врахування каверно- і жолобоутворення при проектуванні неорієнтованих КНБК [Текст] / І. І. Чудик, А. А. Юрич, А. А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 2(23). – С. 45 - 50.
6. Чудик І. І. Узагальнена методика розрахунку енергетичних витрат при роботі неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для роторного способу буріння [Текст] / І. І. Чудик // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2013. – № 2(35). – С. 121 - 128.
7. Чудик І. І. Вплив кривизни стовбура свердловини на статичні форми рівноваги неорієнтованих КНБК / І. І. Чудик, А. А. Козлов // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2006. – № 1(13). – С. 50 - 54.