

Техніка і технології

УДК 622.243.272

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОРІЄНТОВАНИХ ОПОРНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

І.І. Чудик, А.М. Лівінський

ІФНТУНГ; 76019, Івано-Франківськ, Карпатська 15, тел. (0342) 727137,
e-mail: chudoman@ukr.net

Описано науково-практичний підхід для розрахунку статичних характеристик взаємодії орієнтованих опорних компоновок низу бурильної колони зі стінками скерованої свердловини з використанням суміщеного способу буріння. Наведено опис особливостей конструкції і умов роботи орієнтованих опорних компоновок у стовбурі скерованої свердловини. Особливу увагу приділено складним орієнтованим компоновкам з кутом перекосу шпинделя вибійного двигуна та встановленими на ньому опорно-центрувальних елементів. З врахуванням геометричних особливостей конструкції орієнтованих компоновок, з відповідним кутом перекосу шпинделя вибійного двигуна, розроблено математичні моделі для розрахунку статичних характеристик взаємодії впливу техніко-технологічних параметрів на відхиляюче зусилля на долоті і кут його повороту, а також на реакції на центраторах. Розрахункові математичні моделі компоновок низу бурильної колони побудовані для крайових їх положень у стовбурі скерованої свердловини. Обертання компоновок враховується через зміну кута перекосу шпинделя вибійного двигуна. За результатами аналітичних досліджень на прикладі одно і двоопорних конструкцій встановлено, що врахування в аналітичній схемі кута перекосу між корпусом і шпинделем вибійного двигуна, а також встановлення центраторів забезпечує ефективні умови реалізації параметрів проектного профілю. Окрім того, встановлено, що практичне використання орієнтованих одно- і двоопорних компоновок низу бурильної колони забезпечує суттєві переваги в порівнянні з неорієнтованими аналогами.

Ключові слова: компоновка низу бурильної колони, проектування, відхиляюча сила, кут перекосу, кут повороту, свердловина, долото.

Описано научно-практический подход для расчета статических характеристик взаимодействия ориентированных опорных компоновок низа бурильной колонны со стенками направленной скважины с использованием совмещенного способа бурения. Приведено описание особенностей конструкции и условий работы ориентированных опорных компоновок в стволе направленной скважины. Особое внимание уделено сложным ориентированным компоновкам с углом перекоса шпинделя забойного двигателя и установленными на нем опорно-центровочных элементов. С учетом геометрических особенностей конструкции ориентированных компоновок с соответствующим углом перекоса шпинделя забойного двигателя разработаны математические модели для расчета статических характеристик взаимодействия влияния технико-технологических параметров на отклоняющее усилие на долоте и угол его поворота, а также на реакции на центраторе. Расчетные математические модели компоновок низа бурильной колонны построены для их крайевых положений в стволе направленной скважины. Вращения компоновок учитывается через изменение угла перекоса шпинделя забойного двигателя. По результатам аналитических исследований на примере одно- и двухопорной конструкции установлено, что учет в аналитической схеме угла перекоса между корпусом и шпинделем забойного двигателя, а также установление центратора, обеспечивает эффективные условия реализации параметров проектного профиля. Кроме того, установлено, что практическое использование ориентированных одно- и двухопорной компоновок низа бурильной колонны обеспечивает существенные преимущества по сравнению с неориентированными аналогами.

Компоновка низа бурильной колонны, проектирование, отклоняющая сила, угол перекоса, угол поворота, скважина, долото.

The article discusses the research and applied approach to calculation of the static characteristics of interaction between supported oriented bottom hole assemblies and well borehole walls (combined drilling). The design features and operational conditions of supported oriented bottom hole assemblies in directional hole are described. The particular attention is drawn to oriented assemblies with bent downhole motors and installed centering elements. The mathematical models have been developed to calculate the static characteristics of influence

of technical parameters on the bit steering effort and its turning angle, as well as centralizers, taking into account the geometrical features of the assembly construction with bent downhole motors. The mathematical models for bottom hole assemblies are made for their extreme positions in directional hole. The rotation of assemblies is considered through the bend angle change of the downhole motors. The results of analytic studies based on the designs of single-support and double-support assemblies show that the consideration of bend angle between housing and bearing assembly of the downhole motor, as well as installation of centralizers provides for the increased efficiency of such designs of well profile. It has also been established that the practical use of the oriented single-support and double-support assemblies provides significant advantages in comparison with non-oriented assemblies.

Key words: bottom hole assembly, well planning, steering effort, bend angle, turning angle, well, bit.

Останнім часом у практиці буріння свердловин широке використання має суміщений спосіб, при якому крутний момент для долота створюється вибійним двигуном (ВД) та передається бурильною колоною (БК) від верхнього привода чи ротора [1, 2 та ін.]. При цьому особливої уваги з боку інженерно-технічного персоналу і науковців вимагає точність проектування та вибору конструктивних параметрів компоновок низу бурильної колони (КНБК), які за вищезазначеного способу буріння на сьогодні не зовсім коректно регламентуються відомими методиками [3-8]. Особливо це стосується суміщеного способу буріння за наявності кута перекосу в нижній частині ВД. Внаслідок обертання бурильної колони (БК), корпус ВД (і компоновка загалом) обертається навколо осі свердловини, що обумовлює появу характерних умов, за яких будуть суттєво змінюватися чинники викривлення стовбура свердловини (кут повороту долота і відхиляюче зусилля на ньому) не лише за один оберт долота, а й впродовж усього процесу.

Слід зазначити, що класичні за конструкціями неорієнтовані КНБК у стовбурі свердловини володіють стабільними параметрами викривлення [1-2], що дає змогу із застосуванням класичних методик [2-8] ефективно прогнозувати траєкторію їх буріння.

Для ефективного буріння скерованих свердловин суміщеним способом із використанням орієнтованих КНБК (ВД з кутом перекосу) необхідною умовою у відповідних розрахункових схемах є врахування геометричних параметрів стовбура свердловини і нижньої частини БК, жорсткості на ваги елементів системи, зенітного кута, умов взаємодії опорно-центруючих елементів (ОЦЕ) із стінками свердловини тощо.

Незважаючи на те, що дослідженнями умов і особливостей роботи КНБК займалися багато вітчизняних і закордонних вчених, проаналізувавши опубліковані праці [1-6 та ін.] у даному напрямі можна зробити висновок, що питання використання орієнтованих опорних КНБК при суміщеному способі буріння є актуальним і потребує розвитку. У зв'язку із цим ставиться відповідна мета – вивчення особливостей використання орієнтованих опорних КНБК при суміщеному способі буріння свердловин. Об'єктом дослідження при цьому є орієнтована одно- і двоопорна КНБК на базі ВД.

Для реалізації поставленої мети визначено такі задачі дослідження:

1. Визначення особливостей взаємодії орієнтованих опорних КНБК у стовбурі свердловини при суміщеному способі буріння.

2. Розроблення математичної моделі орієнтованих одно- і двоопорної КНБК у прямолинійному скерованому стовбурі свердловини.

3. Оцінка статичних характеристик взаємодії елементів орієнтованих опорних КНБК зі стінками прямолинійного скерованого стовбура свердловини.

Розглянемо орієнтовані одноопорні КНБК, які розташовані в прямолинійному скерованому стовбурі свердловини з верхнім і нижнім положенням корпусу ВД. На рис. 1 і рис. 2 зображені прийняті для дослідження схеми їх конструкцій, які складаються із 3-х ділянок певної ваги та жорсткості на згин: перша і друга від долота ділянка представляє собою шпindel ВД, третя – сам ВД; на межі контакту 1-ої і 2-ої встановлено ОЦЕ.

Окрім того, вважається, що стінки свердловини не деформуються і є прямолинійними; центр долота і стовбура свердловини знаходяться в одній точці; відцентрові сили відсутні за рахунок невеликих швидкостей обертання; згин БК – плоский; у місцях контакту елементів КНБК зі стінкою свердловини відсутні сили тертя; l_i – довжини ділянок КНБК; q_i – вага погонного метра ділянок КНБК; EI_i – жорсткість на згин ділянок КНБК; Q і P – відхиляюча і осьова сили на долоті; R – реакція на ОЦЕ; Δ – кут перекосу вала ВД по відношенню його корпусу; α – зенітний кут нахилу осі свердловини.

Аналітичне дослідження статичних характеристик взаємодії орієнтованих КНБК з вибоєм та стінками свердловини зводиться до розв'язку плоскої задачі методом диференціальних рівнянь пружної осі при відповідних граничних умовах, [2-8]. Згідно з розрахунковими схемами, наведеними на рис. 1 і 2, пропонується:

- для ділянки КНБК, довжиною l_1 :

$$EI_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -P y_1(x_1) + Q x_1 + \frac{q_1 x_1^2 \sin(\alpha)}{2}. \quad (1)$$

- для ділянки КНБК, довжиною l_2 :

$$EI_2 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -[P - q_1 l_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) + Q(x_2 + l_1) - R x_2 + \left(\frac{q_1 l_1^2}{2} + x_2 q_1 l_1 + \frac{q_5 x_5^2}{2} \right) \sin(\alpha); \quad (2)$$

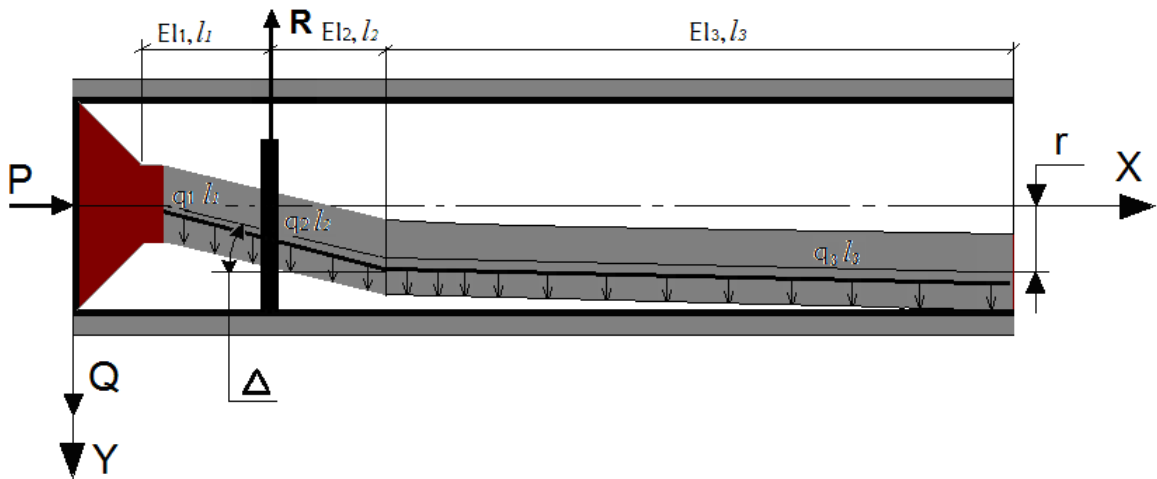


Рисунок 1 – Розрахункова схема орієнтованої КНБК із нижнім положенням корпусу ВД

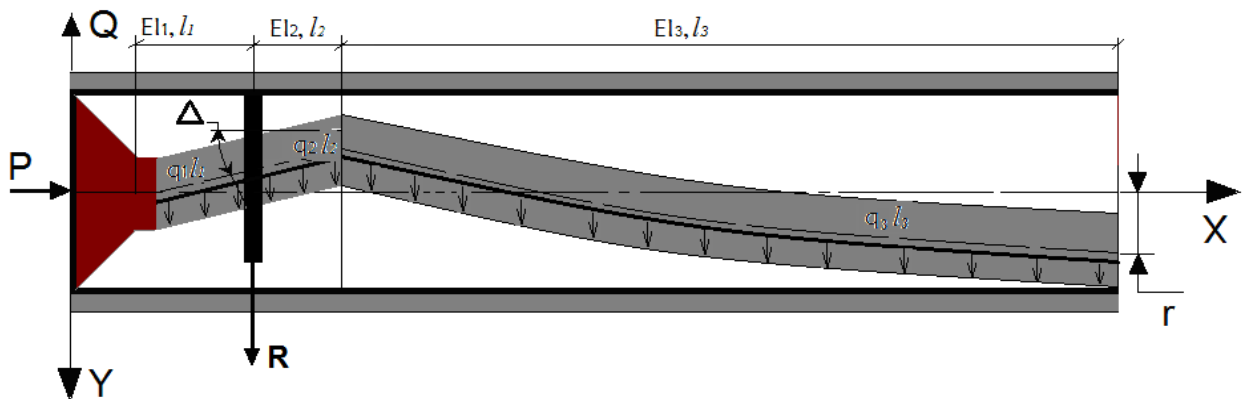


Рисунок 2 – Розрахункова схема орієнтованої КНБК із верхнім положенням корпусу ВД

• для ділянки КНБК, довжиною l_3 :

$$EI_3 \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_3(x_3) + Q \left(x_3 + \sum_{i=1}^2 l_i \right) - R(x_3 + l_2) + \left(\sum_{i=1}^2 \frac{q_i l_i^2}{2} + q_1 l_1 l_2 + x_3 \sum_{i=1}^2 q_i l_i + \frac{q_3 x_3^2}{2} \right) \sin(\alpha). \quad (3)$$

Функції зміни прогинів осі КНБК, відносно осі свердловини:

$$y_1(x) = A_1 \sin(k_1 x_1) + A_2 \cos(k_1 x_1) + \frac{Q x_1}{P} + \left[\frac{q_1 x_1^2}{2P} - \frac{q_1}{k_1^2 P} \right] \sin(\alpha); \quad (4)$$

$$y_2(x_2) = E_1 \sin(k_2 x_2) + E_2 \cos(k_2 x_2) + \frac{Q(x_2 + l_1) - R x_2}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)} + \left[\frac{q_1 l_1^2}{2} + q_1 l_1 x_2 + \frac{q_2 x_2^2}{2} - \frac{q_2}{k_2^2} \right] \sin(\alpha); \quad (5)$$

$$y_3(x_3) = F_1 \sin(k_3 x_3) + F_2 \cos(k_3 x_3) + \frac{Q \left[x_3 + \sum_{i=1}^2 l_i \right] - R[x_3 + l_2]}{P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha)} + \left[\frac{\sum_{i=1}^2 \frac{q_i l_i^2}{2} + x_3 \sum_{i=1}^2 q_i l_i + q_1 l_1 l_2 + \frac{q_3 x_3^2}{2} - \frac{q_3}{k_3^2} \right] \sin(\alpha). \quad (6)$$

Функції зміни кутів повороту осі КНБК, відносно осі свердловини:

$$y_1'(x_1) = A_1 k_1 \cos(k_1 x_1) - A_2 k_1 \sin(k_1 x_1) + \frac{Q}{P} + \frac{q_1 x_1}{P} \sin(\alpha); \quad (7)$$

$$y_2'(x_2) = E_1 k_2 \cos(k_2 x_2) - E_2 k_2 \sin(k_2 x_2) + \frac{Q - R + (q_1 l_1 + q_2 x_2) \sin(\alpha)}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)}; \quad (8)$$

$$y_3'(x_3) = F_1 k_3 \cos(k_3 x_3) - F_2 k_3 \sin(k_3 x_3) + \frac{Q - R + \left(\sum_{i=1}^2 q_i l_i + q_3 x_3 \right) \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha)} \quad (9)$$

Функції зміни згинаючих моментів осі КНБК відносно осі свердловини:

$$M_1(x_1) = \left[A_1 k_1^2 \sin(k_1 x_1) - A_2 k_1^2 \cos(k_1 x_1) + \frac{q_1}{P} \sin(\alpha) \right] EI_1; \quad (10)$$

$$M_2(x_2) = \left[-E_1 k_2^2 \cos(k_2 x_2) - E_2 k_2^2 \sin(k_2 x_2) + \frac{q_2 \sin(\alpha)}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)} \right] EI_2; \quad (11)$$

$$M_3(x_3) = \left[-F_1 k_3^2 \cos(k_3 x_3) - F_2 k_3^2 \sin(k_3 x_3) + \frac{q_3 \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha)} \right] EI_3. \quad (12)$$

Взаємодія орієнтованих КНБК (рис. 1 і 2) зі стінками свердловини характеризується такими граничними умовами:

$$\left. \begin{aligned} y_1(0) &= 0 \\ y_1'(l_1) - y_2'(0) &= 0 \\ y_2'(l_2) - y_3'(0) &= \pm \Delta \\ y_2(l_2) &= y_3(0) \\ y_1(l_1) &= y_2(0) \\ y_1(l_1) &= r_{ОЦЕ} \\ y_3'(l_3) &= 0 \\ y_3(l_3) &= r \\ y_3''(l_3) &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} Q \\ R \\ l_3 \\ A_i \\ E_i \\ F_i \end{cases}. \quad (13)$$

Примітка:

«+» - орієнтовна КНБК із нижнім положенням корпусу ВД (рис. 1);

«-» - орієнтовна КНБК із верхнім положенням корпусу ВД (рис. 2).

$$r_{ОЦЕ} = (D_{Д} - D_{ОЦЕ}) / 2, \quad (14)$$

$$r = (D_{Д} - D_{ВД}) / 2, \quad (15)$$

де $D_{Д}$ - діаметр долота;
 $D_{ОЦЕ}$ - діаметр ОЦЕ;
 $D_{ВД}$ - діаметр корпусу ВД.

Для дослідження сил взаємодії орієнтованої двоопорної КНБК (другий ОЦЕ встановлено після ВД) із вибоєм та стінками свердловини пропонуються розрахункові схеми, які зображені на рис. 3 і 4, які складаються із 4-х ділянок різної ваги погонного метра та жорсткості на

згин, на контакті 1-ї і 2-ї та 3-ї і 4-ї встановлено ОЦЕ.

Для перших 3-х ділянок (між долотом і ОЦЕ) справедливими будуть диференціальні рівняння (1)-(3), а також його розв'язки - прогини осі КНБК (4)-(6); кути повороту осі КНБК - (7)-(9) та згинальні моменти - (10)-(12).

Для 4-ї ділянки диференціальне рівняння, його розв'язок $y_4(x_4)$, а також $y_4'(x_4)$ і $M_4(x_4)$ описуються:

$$EI_4 \frac{d^2 y_4}{dx_4^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_4(x_4) + Q \left(x_4 + \sum_{i=1}^3 l_i \right) \pm R_1(x_4 + l_3 + l_2) + R_2 x_4 + \left(\sum_{i=1}^3 \frac{q_i l_i^2}{2} + q_1 l_1 l_2 + l_3 (q_1 l_1 + q_2 l_2) + \right. \quad (16)$$

$$\left. + x_4 \sum_{i=1}^3 q_i l_i + \frac{q_4 x_4^2}{2} \right) \sin(\alpha);$$

$$y_4(x_4) = B_1 \sin(k_4 x_4) + B_2 \cos(k_4 x_4) + \frac{Q(x_4 + \sum_{i=1}^3 l_i) \pm R_1 \left(x_4 + \sum_{i=2}^3 l_i \right)}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)} + R_2 x_4 +$$

$$+ \left[\frac{\sum_{i=1}^3 \frac{q_i l_i^2}{2} + q_1 l_1 \sum_{i=2}^3 l_i + x_4 \sum_{i=1}^3 q_i l_i + q_2 l_2 l_3 + \frac{q_4 x_4^2}{2} - \frac{q_4}{k_4^2}}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)} \right] \sin(\alpha);$$

$$y_4'(x_4) = B_1 k_4 \cos(k_4 x_4) - B_2 k_4 \sin(k_4 x_4) + \frac{Q \pm R_1 + R_2 + \left(\sum_{i=1}^3 q_i l_i + q_4 x_4 \right) \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)}; \quad (18)$$

$$M_3(x_3) = \left[-B_1 k_4^2 \cos(k_4 x_4) - B_2 k_4^2 \sin(k_4 x_4) + \frac{q_4 \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)} \right] EI_4; \quad (19)$$

$$k_i = \sqrt{P - \sum_{i=1}^n q_i l_i \cos(\alpha)} / EI_n, \quad (20)$$

де n - кількість ділянок у складі КНБК.

Взаємодія двоопорних орієнтованих КНБК зі стінками свердловини характеризується такими граничними умовами:

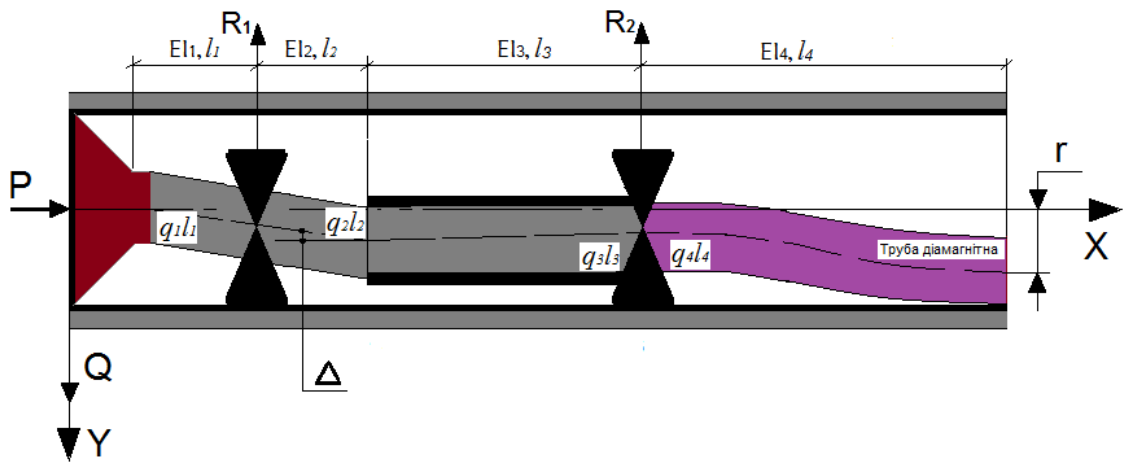


Рисунок 3 – Розрахункова схема орієнтованої двоопорної КНБК із нижнім положенням корпусу ВД

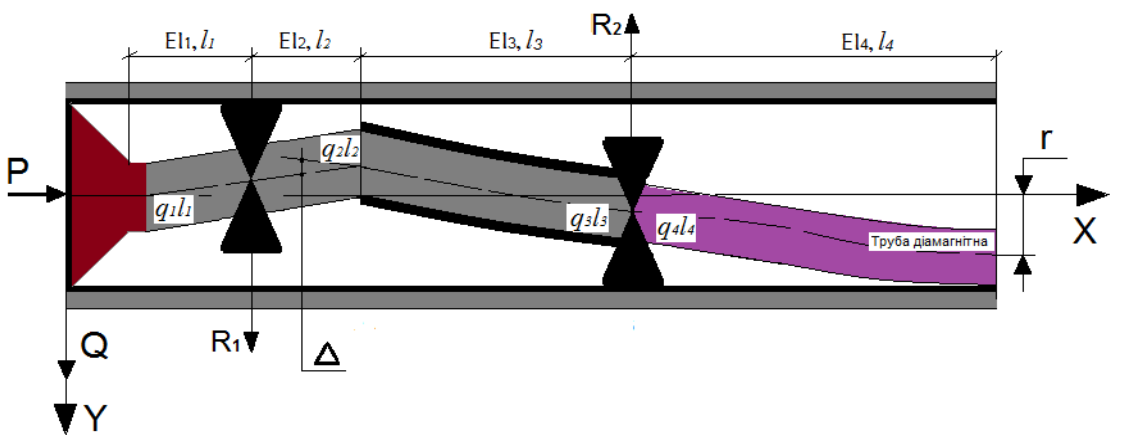


Рисунок 4 – Розрахункова схема орієнтованої двоопорної КНБК із верхнім положенням корпусу ВД

$$\left. \begin{aligned}
 &y_1(0) = 0 \\
 &y_1'(l_1) - y_2'(0) = 0 \\
 &y_2'(l_2) - y_3'(0) = \pm\Delta \\
 &y_2(l_2) = y_3(0) \\
 &y_1(l_1) = y_2(0) \\
 &y_1(l_1) = \pm r_{ОЦЕ1} \\
 &y_3(l_3) = y_4(0) \\
 &y_3(l_3) = r_{ОЦЕ2} \\
 &y_3'(l_3) = y_4'(0) \\
 &y_4'(l_4) = 0 \\
 &y_4(l_4) = r \\
 &y_4''(l_4) = 0
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} Q \\ R_i \\ l_i \\ A_i \\ E_i \\ F_i \\ C_i \end{cases} \quad (21)$$

Примітка:

«+» - орієнтовна КНБК із нижнім положенням корпусу ВД (рис. 3);

«-» - орієнтовна КНБК із верхнім положенням корпусу ВД (рис. 4).

За результатами аналітичних досліджень за вихідними даними (рис. 5) отримано графічні залежності зміни відхиляючого зусилля на долоті $Q(P)$, кута повороту долота $\delta(P)$, (рис. 6) і (рис. 7).

Як видно з графічних залежностей, наведених на рис. 6, для одноопорної КНБК із крайніми верхнім і нижніми розміщенням корпусу ВД, збільшення діаметра ОЦЕ призводить до монотонного зростання відхиляючого зусилля на долоті Q та кута його повороту, що δ . При вивченні характеру зміни цих величин при обертанні КНБК з ОЦЕ $\varnothing 212,7$ мм отримано кругові діаграми $\delta(\Delta)$ і $Q(\Delta)$ в полярних координатах, які зображено на рис. 7.

Що стосується особливостей взаємодії елементів одноопорної орієнтованої КНБК із вибоєм та стінками свердловини, то слід зазначити деякі особливості. По-перше, у випадку використання ОЦЕ в її наддолотній частині на віддалі 0,66 м від вибою внаслідок появи додаткової опори та масивного довгомірного плеча (верхня частина ВД) при зенітних кутах $70^\circ - 90^\circ$ проявляється суттєве відхиляюче зусилля на долоті. По-друге, кут повороту долота

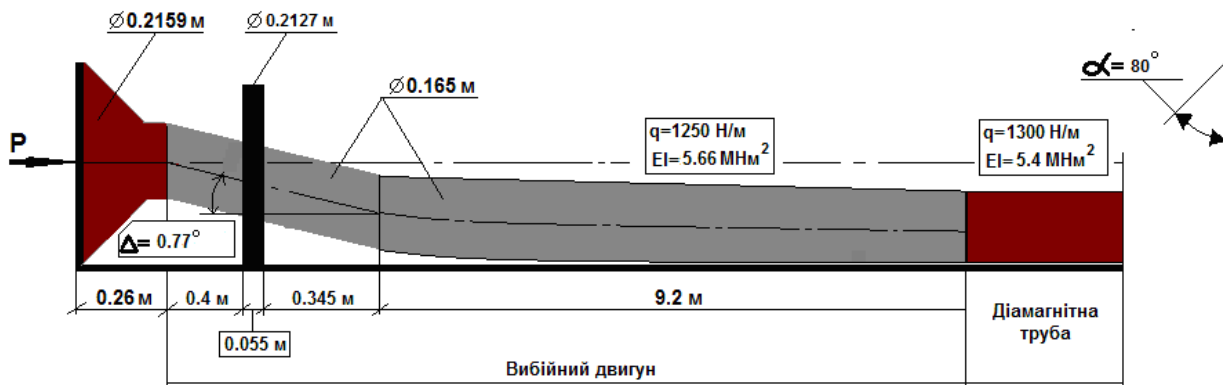
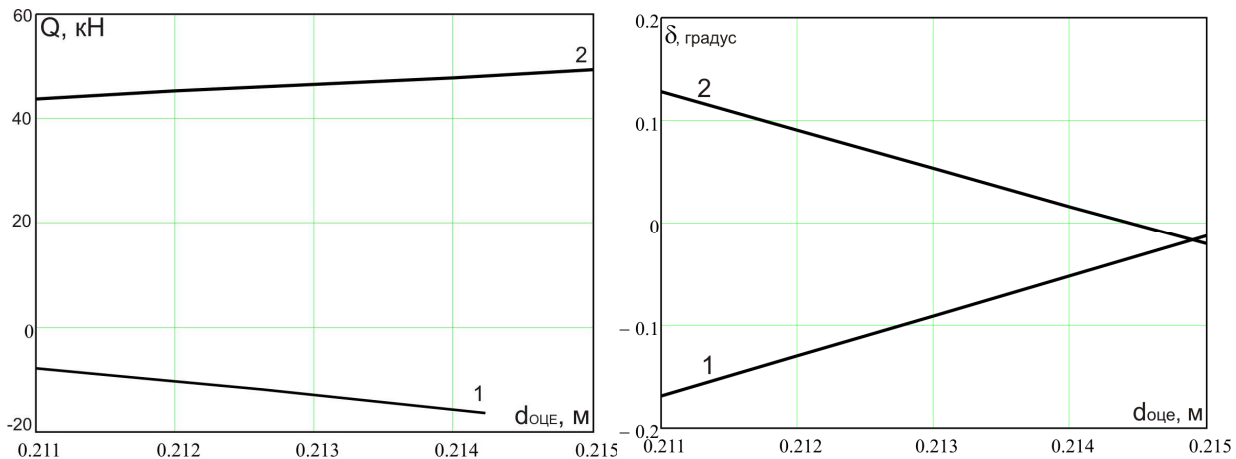


Рисунок 5 – Розрахункові параметри одноопорної орієнтованої КНБК, P=8 т



1 – КНБК з верхнім положенням корпусу ВД; 2 – КНБК з нижнім положенням корпусу ВД

Рисунок 6 – Статичні характеристики взаємодії одноопорної орієнтованої КНБК з вибоєм та стінками свердловини при зміні $d_{ОЦЕ}$

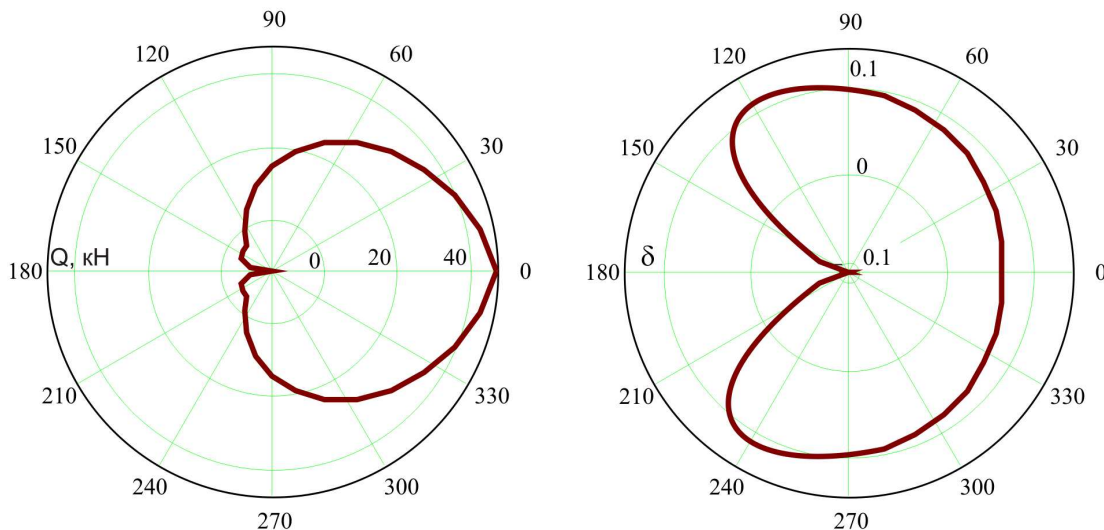


Рисунок 7 – Статичні характеристики взаємодії одноопорної орієнтованої КНБК з вибоєм та стінками свердловини за один оберт, P=8 т

δ змінюється від $\{-0.11^{\circ}\}$ до $\{0.14^{\circ}\}$. Це має визначальне значення для стабілізації зенітного кута стовбура свердловини в процесі її буріння суміщеним способом, оскільки за один оберт долото двічі знаходиться відносно осі свердловини під кутом $\delta \approx 0^{\circ}$.

Третьою особливістю роботи одноопорної компоновки при суміщеному способі буріння є поява суттєвого заклинюючого для неї ефекту, який характеризується високими силами притискування ОЦЕ і долота до стінок свердловини (>100 кН), рис. 8. Це значною мірою пере-

шкоджає осьовому переміщенню і обертанню КНБК у стовбурі свердловини й сприяє надмірним втратам корисної енергії на подолання опору тертя, [6].

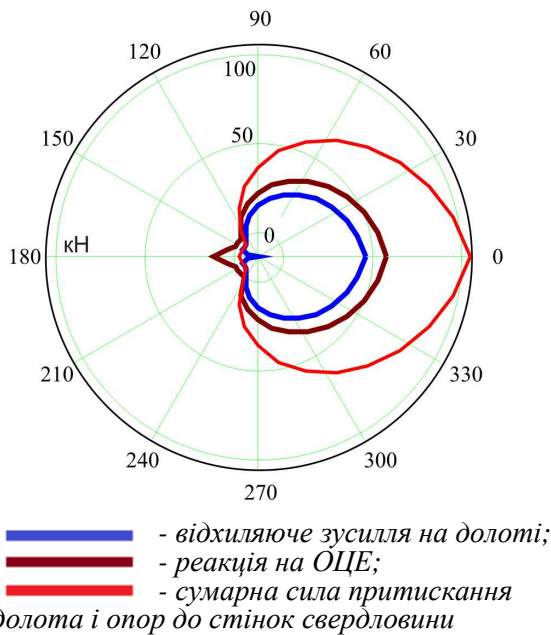


Рисунок 8 – Силкові характеристики взаємодії одноопорної орієнтованої КНБК з вибоєм та стінками свердловини за один оберт, $P=8$ т

З практики буріння свердловин відомо, що класичні двоопорні КНБК є більш стабільними в роботі (в порівнянні з одно- і безопорними їх конструкціями) [2, 7]. Тому для встановлення технологічних можливостей орієнтованих двоопорних КНБК при роботі в скерованій свердловині проведено розрахунки з врахуванням певних їх конструктивних і режимно-технологічних параметрів відповідно до рис. 9.

За результатами аналітичних досліджень статичних характеристик взаємодії двоопорних орієнтованих КНБК з вибоєм та стінками свердловини отримано графічні залежності зміни відхиляючого зусилля на долоті $Q(\Delta)$ та кута повороту долота $\delta(\Delta)$ (рис. 11) за параметрами, наведених на рис. 9.

Для вивчення і співставлення характеру зміни величин $Q(\Delta)$ і $\delta(\Delta)$ для обертання одно- і двоопорних конструкцій орієнтованих КНБК, отримано кругові діаграми в полярних координатах, які зображено на рис. 10. При цьому встановлено, що двоопорні КНБК порівняно з одноопорними, характеризуються меншим на 23-65 % відхиляючим зусиллям на долоті Q та більшим кутом повороту долота δ .

Особливістю силової взаємодії двоопорної орієнтованої КНБК з вибоєм та стінками свердловини є те, що сумарно реакції на ОЦЕ суттєво перевищують відхиляюче зусилля на долоті. Цим, порівняно з одноопорною КНБК, створюється перешкода для забезпечення необхідного осьового навантаження і коефіцієнта корисної дії на долоті (рис. 11). Порівняно з використанням орієнтованої КНБК з одним ОЦЕ, другим недоліком компоновок з двома опорами (відповідно до рис. 9) є в даному випадку забезпечення нею кута повороту долота в межах $0.08 < \delta < 0.12$, що, на відміну від одноопорної компоновки, обмежує її використання при стабілізації зенітного кута. Даний тип КНБК ефективніше застосовувати при наборах зенітного кута в стійких (несхильних до ерозійного руйнування ОЦЕ) гірських породах.

Для реалізації процесу буріння стабілізаційних ділянок свердловин суміщеним способом буріння більш ефективними є одноопорні орієнтовані КНБК (з кутом перекосу корпусу ВД). Вони характеризуються «нульовими значеннями» кута перекосу долота та найнижчим показником опору осьового переміщення в стовбурі свердловини менше схильні до зависання і защемлення КНБК).

Висновки

1. Для забезпечення проектних параметрів стовбура скерованої свердловини під час буріння суміщеним способом запропоновано використання орієнтованих КНБК на базі ВД (кут перекосу шпинделя від 0.77° до 1.22°). При цьому розглянуто можливість використання КНБК такого типу з одним та двома ОЦЕ. При цьому розглянуто встановлення першого ОЦЕ ($\varnothing 212,7$ мм) на віддалі 0,4 м від долота ($\varnothing 215,9$ мм), а другого ОЦЕ $\varnothing 210$ мм – після корпусу ВД.

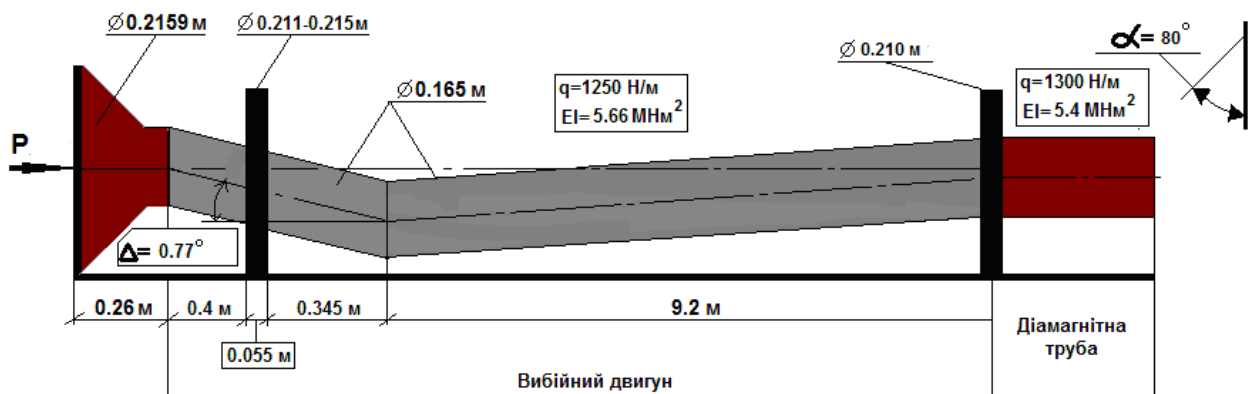


Рисунок 9 – Розрахункові параметри двоопорної орієнтованої КНБК

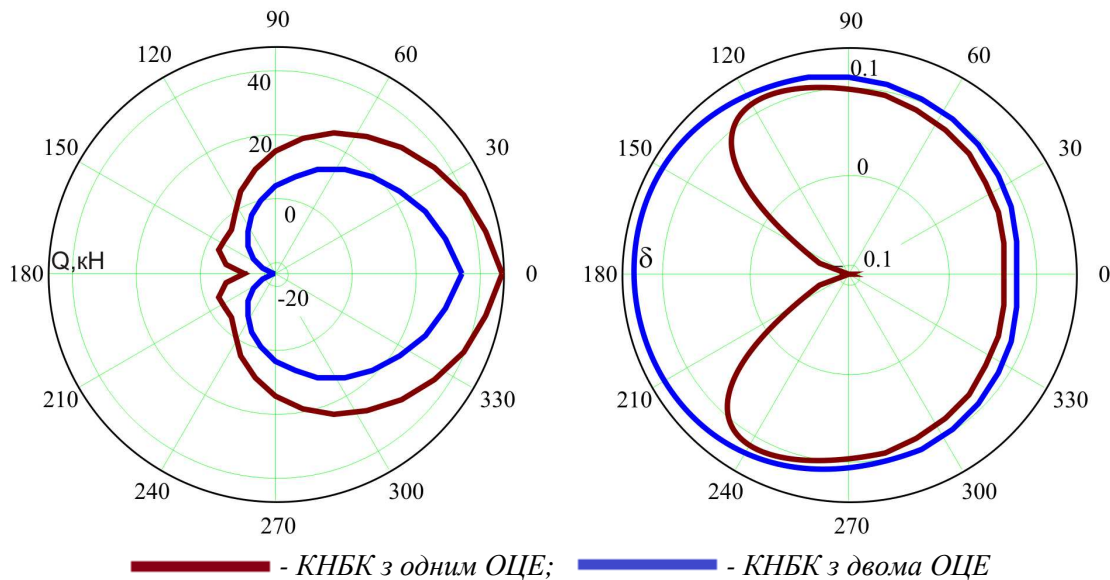


Рисунок 10 – Статичні характеристики взаємодії двоопорної орієнтованих КНБК з вибоєм та стінками свердловини за один оберт, P=8 т

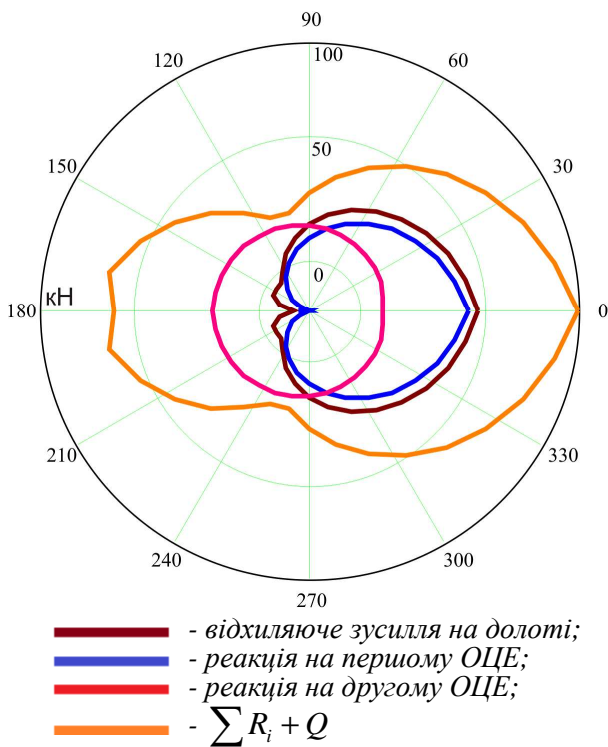


Рисунок 11 – Силві характеристики взаємодії одноопорної орієнтованої КНБК з вибоєм та стінками свердловини за один оберт, P=8 т

2. Для визначення статичних характеристик взаємодії елементів орієнтованих одно- та двоопорних конструкцій КНБК із вибоєм і стінками спрямованої свердловини побудовано їх відповідні математичні моделі та розроблено методику розрахунку, які реалізуються методом диференційних рівнянь пружної осі. Розрахунок КНБК при цьому здійснюється за допомогою пакету програм у середовищі *MathCad Profeschenal*.

3. За результатами аналітичних досліджень статичних характеристик взаємодії елементів орієнтованих КНБК з різною кількістю ОЦЕ при суміщеному способі буріння з конкретизованими конструктивними і режимно-технологічними параметрами встановлено, що:

- зміна радіального зазору в місці перекошу частин корпусу ВД сприяє зростанню відхиляючого зусилля на долоті Q і кута його повороту δ незалежно від кількості ОЦЕ;
- «нульове значення» кута повороту долота є характерним для одноопорних орієнтованих компонок при їх обертанні навколо осі свердловини;
- орієнтовані КНБК з одним і двома ОЦЕ характеризуються (в порівнянні з одноопорними конструкціями) високими значеннями відхиляючого зусилля на долоті і реакцій на ОЦЕ, що посилює опір їх осьовому переміщенню і призводять до защемлення в стовбурі свердловини;
- двоопорні орієнтовані КНБК є відхиляючими системами для забезпечення набору зенітного кута і характеризуються високими значеннями сил опору осьового переміщення БК, що обмежує її практичне використання як високомоментної, енергозатратної системи, особливо при суміщеному способі буріння.

Література

1 Гилязов Р.М. Бурение нефтяных и газовых скважин с боковыми стволами. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 253 с.
 2 Калинин А.Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Справочник / А.Г. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодкий, Б.З. Султанов. – М.: Недра, 1997. – 640 с.

3 Гречин Е. Г. Разработка и исследование методов проектирования и работы неориентируемых компоновок низа бурильной колонны: автореф. дис. на соиск. науч. ст. д-ра технических наук: спец. 25.00.15. "Технология бурения и освоения скважин" / Е. Г. Гречин, Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2009. – 47 с.

4 Григулецкий В. Г. Проектирование компоновок нижней части бурильной колонны [Текст] / В. Г. Григулецкий, В. Т. Лукьянов. – М.: Недра, 1990. – 304 с.

5 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.

6 Чудик І. І. Узагальнена методика розрахунку енергетичних витрат при роботі неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для роторного способу буріння / І. І. Чудик. Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2013. – № 2(35). – С. 121-128.

7 Султанов Б. З. Работа бурильной колонны в скважине / Б. З. Султанов, Е. И. Ишемгузин, М. Х. Шаммасов, В. Н. Сорокин. – М.: Недра, 1973. – 217 с.

8 Івасів В. М. Розрахунок компоновок низу бурильної колони (КНБК) з двома центраторами / [В. М. Івасів, І. І. Чудик, А. В. Козлов, В. Г. Глушич] // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2002. – № 2(3). – С. 15 – 16.

Стаття надійшла до редакційної колегії

04.09.17

*Рекомендована до друку професором **Кондратом О.Р.***

(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)

*д-ром техн. наук **Куцяком Я.В.***

(ПрАТ «НДІ КБ бурового інструменту», м. Київ)