

# БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622.243.272

## РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ НЕОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

<sup>1</sup>І.І.Чудик, <sup>1</sup>В.Р.Осадця, <sup>2</sup>К.С.Дзядик

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 717967,  
e-mail: chudoman@ukr.net

<sup>2</sup> ДК “Укргазвидобування”, УкрНДГаз, Львівський комплексний науково-дослідний центр,  
79026, м. Львів, вул. Стрийська 144, тел. (0322) 420971

*Для забезпечення параметрів проектного профілю у процесі буріння прямолінійних ділянок похило-скерованих і горизонтальних свердловини в умовах втрати циліндричності стовбура виробки запропоновано нову і просту конструкцію спеціального технічного засобу та математичну модель неорієнтованих компоновок низу бурильної колони на базі його використання. На основі аналітичних досліджень встановлено, що дане технологічне рішення дасть змогу в умовах каверно- і жолобоутворення забезпечити необхідну траєкторію і техніко-економічні показники буріння свердловин із використанням компоновок з найменшою кількістю опорно-центрувальних елементів*

Ключові слова: енергозатрати, компоновка низу бурильної колони, опорно-центрувальний елемент

*Для обеспечения параметров проектного профиля при бурении прямолинейных участков наклонно-направленных и горизонтальных скважин в условиях искажения цилиндричности ствола выработки предложена новая и простая конструкция специального технического средства, а также математическая модель неориентированных компоновок низа бурильной колонны на базе его использования. На основе аналитических исследований установлено, что данное технологическое решение позволит в условиях каверно- и жолобообразования обеспечить необходимую траекторию и технико-экономические показатели бурения скважин при использовании компоновок с наименьшим количеством опорно-центрирующих элементов*

Ключевые слова: энергетические потери, компоновка низа бурильной колонны, опорно-центрирующий элемент

*New and simple construction of special technical tool and mathematical model of nonoriented bottom drilling string assemblies on its base have been offered. This construction use to ensure design profile parameters during drilling slant portion of the deviated and horizontal well in condition of hole roundness loss. In base of analytical research have been specified that this technological solution allows to ensure required path and technical – economic performances well drilling with using assemblies with least number of support - centering elements in condition of caving.*

Keywords: energy consumption, bottom drilling string assemblies, support - centering element

На сьогодні в Україні гостро постала проблема нафтогазовилучення із покладів, зосереджених на глибинах понад 5000 м, у зонах континентального шельфу і гірській місцевості. Важкодоступність родовищ викликає, насамперед, складними гірничо-геологічними умовами буріння та відсутністю адаптованого до них техніко-технологічного забезпечення. Незважаючи на це, єдиним способом реалізації таких проектів залишається спорудження свердловин складних просторових профілів (похило-скерованих і горизонтальних). У процесі їх буріння важливу роль відіграє стійкість стінок стовбура

свердловини, яка залежить від режимів прокачування і якості промивальних рідин, конструкції бурильної колони (БК), інтенсивності виконання спуско-підіймальних операцій. Форма поперечного перерізу стовбура свердловини, локальні його викривлення, жолобні виробки і каверни на стінках [1, 2] часто стають причинами заклинювань, зтяжок та прихоплень БК, передчасного її зношування та втрати проектно-ї траєкторії буріння через неспроможність компоновок низу бурильної колони (КНБК) забезпечити необхідну траєкторію руху долота.

Конструкції компоновок для буріння свердловин проектують за методиками [3-5], що розглядають стовбур свердловини як об'єкт циліндричної форми з довільною кривизною, не враховуючи при цьому її кавернозності. Незалежно від діаметра долота, кількості опорно-центруючих елементів (ОЦЕ) та зенітного кута осі свердловини, зменшення на кілька міліметрів радіального зазору в місцях встановлення опор призводить до зміни форми пружної осі КНБК, відхиляючого зусилля на долоті, спричинюючи цим викривлення гірничої виробки. Основною причиною цього можуть бути зношування по діаметру ОЦЕ та розфрезювання ним стінки свердловини із збільшенням діаметра поперечного перерізу стовбура. Для підвищення ефективності роботи компоновок за таких умов експлуатації використовуються безопорні КНБК або такі їх конструкції, що здатні компенсувати втрату циліндричності стінки свердловини за рахунок особливих технологічних можливостей.

У процесі буріння стабілізаційних ділянок похило-скерованих і горизонтальних свердловин до складу компоновок включають, здебільшого, наддолотні ОЦЕ, які встановлюють на ніпелі вибійного двигуна [3]. Шляхом вибору місця встановлення центратора певного діаметра добиваються нуля відхиляючої сили на долоті, і тим самим стабілізації зенітного кута стовбура свердловини. Однак це здійснюють за умови, якщо стінка свердловини не деформується, не руйнується, а ОЦЕ не зношується. Але в реальних умовах встановлених на ніпелі вибійного двигуна ОЦЕ, окрім вищенаведених умов, може ще і не контактувати із стінкою свердловини. У цьому випадку відхиляюча одноопорна компоновка перетворюється на випрямляючу; відбувається фрезювання стінки свердловини і зменшення зенітного кута.

В ідею розробки та використання пристрою [6] покладено процес управління відхиляючим зусиллям на долоті за рахунок збільшення радіального зазору між осями компоновки і ОЦЕ. Так, для центруючих пристроїв діаметром  $D_{ОЦЕ} \leq D_{Дол}$  радіальний зазор  $r_1 \geq 0$ , (рис. 1).

У запропонованій конструкції пристрою при  $D_{ОЦЕ} \leq D_{Дол}$  отримуємо  $r_1 \leq 0$ . Така особливість його технологічних можливостей дає змогу збільшити довжину плеча компоновки  $L_2$  за рахунок зміщення її осі вище осі свердловини і забезпечити необхідне відхиляюче зусилля на долоті та високу ефективність даної КНБК у процесі буріння свердловини.

Пристрій (рис. 2) складається з корпусу 1 з прохідним отвором для вала вибійного двигуна. П'ять його лопатей 2 знаходяться в фігурних пазах 3, розташованих рівномірно по колу через  $72^\circ$ . Корпус 1 пристрою встановлюється з допомогою різьбового з'єднання через перехідник 4 на ніпелі турбобура. Торець різьби перехідника виконує роль обмежувача руху лопатей 2. У внутрішній частині корпусу 1 розташована

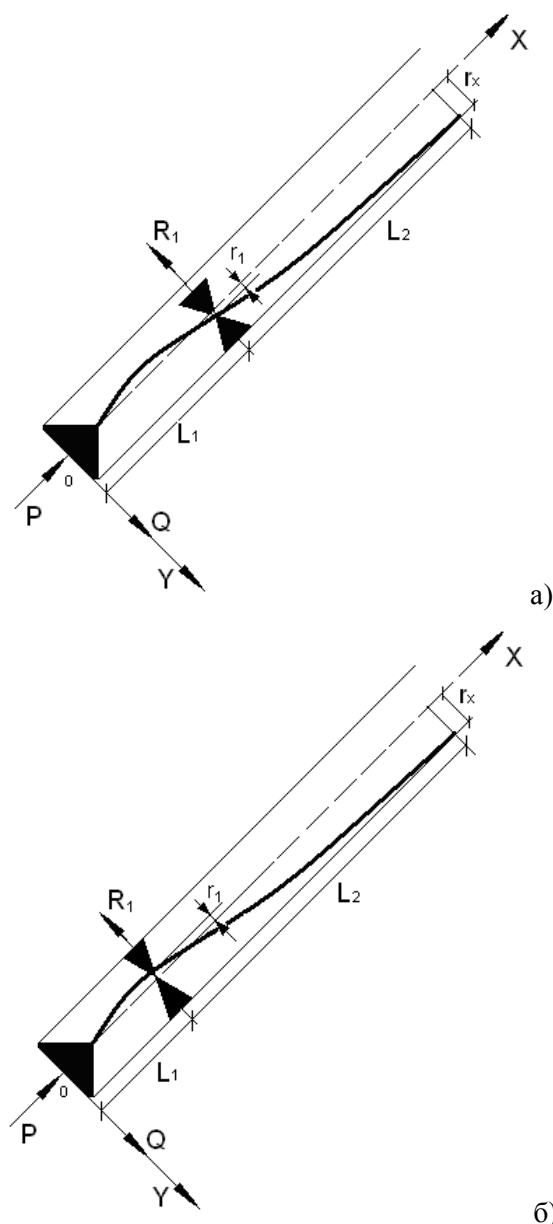
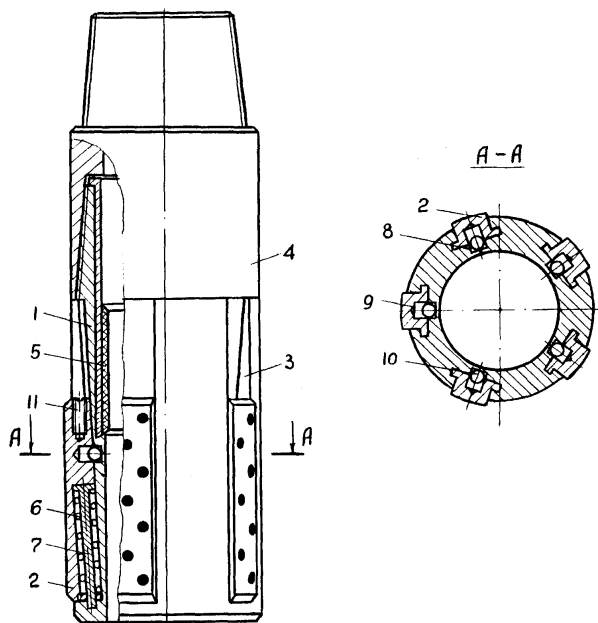


Рисунок 1 – Розрахункові схеми пружної осі неорієнтованих КНБК в ПСС із звичайним ОЦЕ (а) і новим пристроєм [6] (б)

радіальна гумометалева опора 5, що фіксується перехідником 4 і дає можливість реалізувати пристроєм ексцентриситет між його віссю і віссю стовбура свердловини шляхом відхилення низу бурильної колони. В лопатях 2 виконані отвори для розміщення пружин 6, які через опорні штоки 7, що з'єднані з корпусом пристрою, притискають лопаті до нижніх торців пазів. У пазах корпусу виконані циліндричні отвори 8, а в лопатях - отвори 9 такого ж діаметра. Осі отворів співпадають при розташуванні лопатей в крайньому нижньому положенні і під кутом  $4^\circ$  до площини поперечного перерізу пристрою. В кожній парі отворів розміщена куля 10, яка вільно в них переміщується. При цьому глибини виконаних в корпусі і лопатях отворів відповідно менша і більша діаметра кулі. Пара отворів з розташованою в них кулею утворюють вузол блокування лопатей, який запобігає одночасному



1 – корпус; 2 – лопаті; 3 – пази; 4 – перехідник;  
 5 – радіальна гумовометалева опора;  
 6 – пружини; 7 – штики; 8 – отвори в корпусі;  
 9 – отвори в лопатях; 10 – кулі;  
 11 – регулюючі гвинти

**Рисунок 2 – Принципова схема конструкції пристрою для буріння похило скерованих свердловин**

переміщенню всіх лопатей пристрою та збільшенню його діаметра і, як результат, заклинюванню в свердловині. У разі розташування пристрою у вертикальному стовбурі виробки всі його лопаті заблоковані, оскільки кулі знаходяться в отворах корпуса (отвори нахилені до поперечного перерізу пристрою під кутом 4°) і частково виступають за їх межі, що перешкоджає рухові лопатей вздовж пазів.

Під час опускання лопатей інструменту переміщенні КНБК разом з пристроєм у стовбурі свердловини із zenітним кутом, що перевищує 4°, кулі перекочуються в отвори нижніх лопатей, які звільняються, а верхні лопаті й надалі перебувають в заблокованому стані. У верхній частині лопатей на різьбі встановлені регулюючі гвинти 11, з допомогою яких можливо коригувати довжину ходу лопатей і, зрештою, величину ексцентриситету пристрою та відхиляючу силу на долоті.

Пристрій працює так. У складі компоновки низу бурильної колони його опускають у свердловину. Під час входження в ділянку стовбура свердловини, де zenітний кут перевищує кут нахилу осей отворів, кулі скочуються в отвори 9 нижніх лопатей, які, в свою чергу, розблоковуються. При створенні осьового навантаження і під дією сил гравітації низ бурильної колони прогинається, а після запуску турбобура під дією його реактивного моменту, повертається протилежно до напрямку обертання долота. В цей момент нижні лопаті пристрою вступають в контакт зі стінкою стовбура свердловини. Відтак, лопаті, які знаходяться у фрикційній взаємодії з стінкою стовбура, гальмуються нею, а кор-

пус пристрою 1 рухається разом з КНБК вздовж осі свердловини. Нижні лопаті в пазах переміщуються вгору вздовж корпуса до упору в торець верхнього перехідника. При цьому збільшується відстань між опорними поверхнями нижніх лопатей та віссю пристрою, і турбобур займає в стовбурі свердловини ексцентричне положення, що сприяє виникненню відхиляючої сили в апсидальній площині. В даному випадку зазначений кут задається конструктивно, а довжина ходу лопатей змінюється шляхом закручування або відкручування регулюючих гвинтів 11. Після припинення буріння КНБК відривається від вибою свердловини і піднімається угору, а нижні лопаті пристрою з допомогою пружин 6 повертаються у вихідне положення.

Використання описаного пристрою забезпечує низку переваг компоновок порівняно з іншими їх конструкціями:

- 1) кількаразове збільшення бокового зусилля на долоті;
- 2) можливість використання лише однопорних компоновок (на відміну від КНБК із більшою кількістю ОЦЕ, що ускладнюють винесення шламу по КП, зумовлюють великі гідравлічні опори при СПО і промиванні, інтенсифікацію розфрезювання стінок свердловини та втрати енергії на обертання БК);
- 3) високу антиприхоплювальну здатність КНБК на базі даного пристрою;
- 4) можливість використання неорієнтованих КНБК як відхилювача для набору zenітного кута;
- 5) можливість використання у процесі буріння свердловин з імовірністю каверноутворення.

Для визначення конструктивних параметрів КНБК на базі пристрою [6] розроблено її математичну модель методом диференціальних рівнянь.

Згідно з рисунком 3:

$L_1$  – відстань від долота до встановленого пристрою на ВД;

$L_2$  – залишкова довжина ВД;

$L_{OBT}$  – довжина ділянки ОБТ між вибійним двигуном і точкою його контакту із стінками свердловини;

$r_1$  – радіальний зазор між віссю ВД і нижньою стінкою свердловини в місці встановлення пристрою:

$$r_x = \frac{D_D - D_{OBT}}{2} \quad (1)$$

Для ділянки КНБК довжиною  $L_1$  характерним будуть:

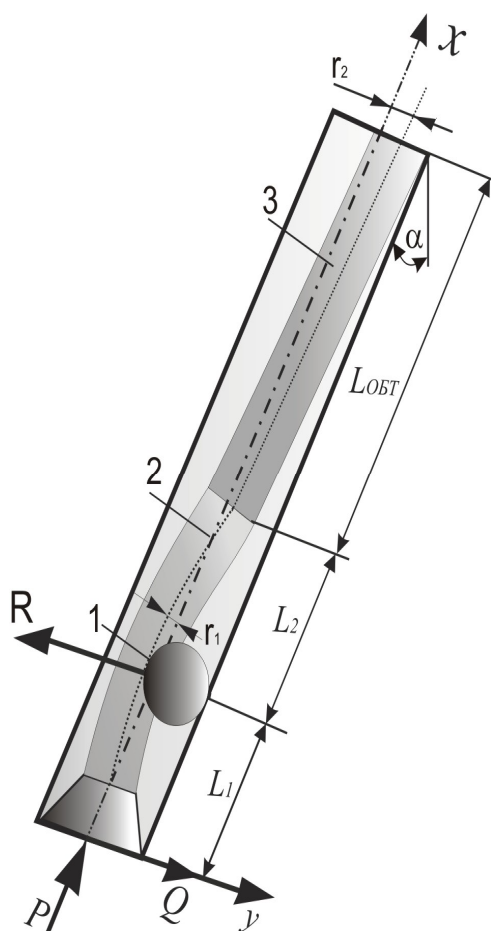
- диференціальні рівняння осі ВД:

$$EI_{ВД} y_1''(x_1) = -Py_1(x_1) + Qx_1 + \frac{q_{ВД} x_1^2 \sin(\alpha)}{2} \quad (2)$$

де:  $EI_{ВД}$ ,  $q_{ВД}$  – жорсткість на згин і вага погонного метра вибійного двигуна;

$\alpha$  – zenітний кут стовбура свердловини;

$P$ ,  $Q$  – осьова і відхиляюча сили на долоті.



1 – пристрій [6]; 2 – ВД; 3 – ОБТ

**Рисунок 3 – Розрахункова схема одноопорної КНБК**

• функція зміни прогину осі ВД по його довжині:

$$y_1(x) = A_1 \sin(k_1 x_1) + A_2 \cos(k_1 x_1) + Q x_1 + \left[ \frac{q_{ВД} x_1^2}{2P} - \frac{q_{ВД}}{k_1^2 P} \right] \sin(\alpha), \quad (3)$$

де:  $k_1$  – розрахунковий коефіцієнт [1, 2];

$A_i$  – стала інтегрування.

• функція зміни кутів повороту осі ВД по його довжині:

$$y_1'(x_1) = k_1 \left[ A_1 \cos(k_1 x_1) - A_2 \sin(k_1 x_1) + \frac{[Q + q_{ВД} x_1 \sin(\alpha)]}{P k_1} \right]. \quad (4)$$

• функція зміни величини згинаючого моменту по довжині ВД:

$$y_1''(x_1) = k_1^2 \left[ -A_1 \sin(k_1 x_1) - A_2 \cos(k_1 x_1) + \frac{q_{ВД}}{P k_1^2} \sin(\alpha) \right]. \quad (5)$$

Для ділянки КНБК довжиною  $L_2$  характерним будуть такі рівняння:

$$EI_{ВД} y_2''(x_2) = -[P - q_{ВД} L_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) + Q(L_1 + x_2) - R x_2 + q_{ВД} \left( \frac{L_1^2 + x_2^2}{2} + L_1 x_2 \right) \sin(\alpha), \quad (6)$$

де  $R$  – реакція на ОЦЕ.

$$y_2(x) = B_1 \sin(k_2 x_2) + B_2 \cos(k_2 x_2) + \frac{Q(x_2 + L_1) - R x_2}{P - q_{ВД} L_1 \cos(\alpha)} + \frac{q_{ВД} \left[ x_2^2 + L_1^2 + 2 L_1 x_2 - \frac{2}{k_2^2} \right]}{2 [P - q_{ВД} L_1 \cos(\alpha)]} \sin(\alpha), \quad (7)$$

де  $B_i$  – сталі інтегрування.

$$y_2^I(x_2) = k_2 [B_1 \cos(k_2 x_2) - B_2 \sin(k_2 x_2)] + \frac{Q - R + q_{ВД} (L_1 + x_2) \sin(\alpha)}{P - q_{ВД} L_1 \cos(\alpha)}; \quad (8)$$

$$y_2^{II}(x_2) = k_2^2 \left[ -B_1 \sin(k_2 x_2) - B_2 \cos(k_2 x_2) + \frac{q_{ВД} \sin(\alpha) k_2^{-2}}{P - q_{ВД} L_1 \cos(\alpha)} \right]. \quad (9)$$

Для ділянки КНБК довжиною  $L_{ОБТ}$  за аналогією

$$EI_{ОБТ} \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = -[P - q_{ВД} L_{ВД} \cos(\alpha)] y_3(x_3) + Q(L_{ВД} + x_3) - R(x_3 + L_2) + \left( q_{ВД} \left[ \sum_{i=1}^2 \frac{L_i^2}{2} + x_3 L_{ВД} + L_1 L_2 \right] + \frac{q_{ОБТ} x_3^2}{2} \right) \sin(\alpha), \quad (10)$$

де:  $L_{ВД}$  – довжина ВД;

$E_{ОБТ}$ ,  $q_{ОБТ}$  – жорсткість на згин і вага погонного метра ОБТ.

$$y_3(x) = C_1 \sin(k_3 x_3) + C_2 \cos(k_3 x_3) + \frac{Q(x_3 + L_{ВД}) - R(x_3 + L_2)}{P - q_{ВД} L_{ВД} \cos(\alpha)} + \frac{q_{ВД} [L_1^2 + L_2^2 + 2 L_{ВД} x_3 + 2 L_1 L_2] + \frac{q_{ОБТ} x_3^2}{2} - \frac{q_{ОБТ}}{k_3^2}}{P - q_{ВД} L_{ВД} \cos(\alpha)} \sin(\alpha) \quad (11)$$

$$y_3^I(x_3) = k_3 [C_1 \cos(k_3 x_3) - C_2 \sin(k_3 x_3)] + \frac{Q - R + (q_{ВД} L_{ВД} + q_{ОБТ} x_3) \sin(\alpha)}{P - q_{ВД} L_{ВД} \cos(\alpha)}; \quad (12)$$

де  $C_i$  – сталі інтегрування.

$$y_3^{II}(x_3) = k_3^2 \left[ -C_1 \sin(k_3 x_3) - C_2 \cos(k_3 x_3) + \frac{q_{OBT} \sin(\alpha) k_3^{-2}}{P - q_{ВД} L_{ВД} \cos(\alpha)} \right]. \quad (13)$$

Аналітичну модель КНБК за таких умов описують такі граничні умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0 \Rightarrow y_1(0) = 0 \\ x_1 = L_1 \\ x_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_1(L_1) = r_1 \\ y_2(0) = r_1 \\ y_1^I(L_1) = y_2^I(0) \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = L_2 \\ x_3 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_2(L_2) = y_3(0) \\ y_2^I(L_2) = y_3^I(0) \end{array} \right.$$

$$x_3 = L_{OBT} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_3(L_{OBT}) = r_x \\ y_3^I(L_{OBT}) = 0 \\ y_3^{II}(L_{OBT}) = 0 \end{array} \right.$$

За відповідними граничними умовами і рівняннями для них: (3)-(5), (7)-(9), (11)-(13) складаються системи рівнянь в результаті розв'язку яких визначаються:  $A_i, B_i, C_i, L_{OBT}, Q, R$ .

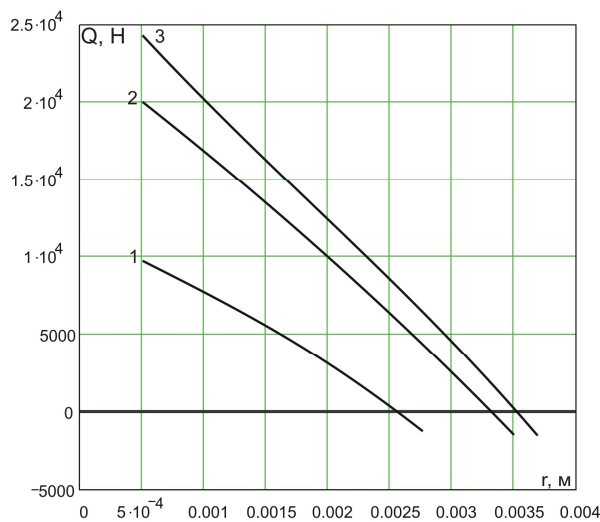
Для визначення ефективності використання даного пристрою в складі неорієнтованої одноопорної КНБК на базі турбобура ЗТСШ-172 було проведено аналітичні дослідження (табл. 1). В результаті розрахунків було встановлено низку графічних залежностей (рис. 4 і 5), за якими зроблено висновки.

**Висновки**

Згідно з графічною залежністю  $Q(r_1, \alpha)$  (рис. 4) встановлено, що зміщення осі  $r_1$  для запропонованої у вихідних даних КНБК  $r_1$  у місці встановлення наддолотного ОЦЕ до 3.5 мм у всьому діапазоні зміни зенітного кута від  $10^0$  до  $75^0$  перетворює відхиляючу компоновку на випрямляючу. В процесі буріння свердловини така зміна радіального зазору на ОЦЕ є звичайним явищем, тому управління траєкторією буріння свердловини ускладнюється і спричиняє неконтрольований процес. Для усунення впливу таких чинників на буріння свердловин в заданому напрямі пропонується вищенаведений пристрій [6].

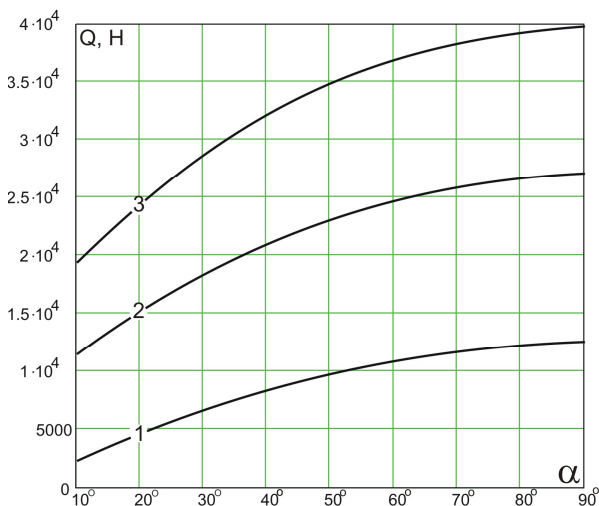
**Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку КНБК**

Кількість ОЦЕ, шт	Діаметр, мм		ЗТСШ-172	$L_1$ м	$P, \times 10^4$ Н	$\alpha$
	долото	ОЦЕ				
1	215,9	215	$EI=6650 \text{ кНм}^2$ $q=1300 \text{ Н/м}$	0.65	6	$10^0-90^0$



1 -  $\alpha = 10^0$ ; 2 -  $\alpha = 45^0$ ; 3 -  $\alpha = 75^0$

**Рисунок 4 – Залежність відхиляючого зусилля на долоті від радіального зазору на ОЦЕ при зміні  $\alpha$**



1 -  $r_1 = 0 \text{ мм}$ ; 2 -  $r_1 = -2 \text{ мм}$ ; 3 -  $r_1 = -5 \text{ мм}$

**Рисунок 5 – Залежність відхиляючого зусилля на долоті від величини  $\alpha$  при зміні радіального зазору на ОЦЕ**

Використання пристрою в турбінній компоновці (рис. 4) забезпечує у всьому діапазоні зміни зенітного кута від  $10^0$  до  $90^0$  при  $0 \leq r_1 \leq (-5 \text{ мм})$  суттєве збільшення відхиляючого зусилля на долоті (до 60%), що значно перевищує характеристики звичайного центратора.

За рахунок здатності забезпечувати параметри проектного профілю скерованих свердловин із використанням одноопорних неорієнтованих КНБК (з пристроєм) зменшується дов-

жина компоновок, кількість центраторів в них, імовірність прихоплення, величина гідравлічних опорів в наддолотоній частині та енергетичні затрати процесу буріння.

*Література.*

1 Белов В. П. Образование каверн при бурении скважин / В. П. Белов. – М.: Недра, 1970. – 150 с.

2 Пейсиков Ю. В. Кавернообразование при бурении скважин / Ю. В. Пейсиков // Геология нефти и газа. – 1992. – № 6. – С. 25 – 30.

3 Калинин А. Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин / [А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий и др.]. – М.: Недра, 1997. – 651 с.

4 Султанов Б. З. Работа бурильной колонны в скважине / [Б. З. Султанов, Е. И. Ишемгужин, М. Х. Шаммасов и др.]. – М.: Недра, 1973. – 217 с.

5 Чудик І. І. Врахування каверно- і жолобоутворення при проектуванні неорієнтованих КНБК / І. І. Чудик, А. Р. Юрич, А. А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – № 2 (23). – 2007. – С. 45-49.

6 Пат. 50920 А України, МПК<sup>7</sup> E21 В4/02. № 2001021348, Крижанівський Є.І., Воевідко І.В., Чудик І.І. Пристрій для похило спрямованого буріння. – Опубл. 15. 11. 2002. – Бюл. № 11.

*Стаття поступила в редакційну колегію*

*30.03.10*

*Рекомендована до друку професором*

*Я. С. Коцкуличем*