

ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОДНООПОРНИХ НЕОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

І.І. Чудик

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

Розглядаються важливі питання підвищення техніко-економічних показників буріння нафтових і газових свердловин за рахунок вдосконалення технічних засобів і науково-методичних основ їх проектування і вибору. Охарактеризовано вплив конструктивних параметрів неорієнтованих компоновок низу бурильної колони на статичні характеристики її взаємодії з вибоєм та стінками свердловини. Проаналізовано світовий досвід вирішення питань проектування, вибору і експлуатації неорієнтованих компоновок низу бурильної колони з одним опорно-центрувальним елементом. Окрім того, визначено основні підходи і методики, які використовуються при проектуванні неорієнтованих компоновок низу бурильної колони з одним центратором, і критерії, що є визначальними при їх виборі для різних задач спрямованого буріння. Досліджено процес впливу на статичні характеристики взаємодії елементів неорієнтованої компоновки низу бурильної колони вала шпинделя вибійного двигуна. За результатами аналітичних досліджень на прикладі одноопорних конструкцій компоновок встановлено, що врахування в аналітичній схемі взаємодії нижньої частини бурильної колони з вибоєм і стінками свердловини різних за розмірами елементів компоновки, незалежно від їх довжини, ваги і жорсткості на згин, впливає на статичні характеристики їх взаємодії із стінками свердловини, а саме: на відхиляючу силу на долоті, кут його повороту і сили притискування центральної частини до стінок свердловини.

Ключові слова: бурильна колона, проектування, сила, вісь, опір, свердловина

Рассматриваются важные вопросы повышения технико-экономических показателей бурения скважин за счет совершенствования технических средств и научно-методических основ их проектирования и выбора. Охарактеризованы влияние конструктивных параметров неориентированных компоновок низа бурильной колонны на статические характеристики ее взаимодействия с забоем и стенками скважины. Проанализированы мировой опыт решения вопросов проектирования, выбора и эксплуатации неориентированных компоновок низа бурильной колонны с одним опорно-центрирующим элементом. Кроме того, определены основные подходы и методики, используемые при проектировании неориентированных компоновок низа бурильной колонны с одним центратором и критерии, которые являются определяющими при их выборе для различных задач направленного бурения. Исследован процесс влияния на статические характеристики взаимодействия элементов неориентированной компоновки низа бурильной колонны вала шпинделя забойного двигателя. По результатам аналитических исследований на примере одноопорных конструкций компоновок установлено, что учет в аналитической схеме взаимодействия нижней части бурильной колонны с забоем и стенками скважины различных по размерам элементов компоновки, независимо от их длины, веса и жесткости на изгиб, влияет на статические характеристики их взаимодействия с стенками скважины, а именно: на отклоняющую силу на долоте, угол его поворота и силы прижима центрирующих элементов к стенкам скважины.

Ключевые слова: бурильная колонна, проектирование, сила, ось, сопротивление, скважина

The article deals with the important issues of increasing technical and economical parameters of oil and gas wells drilling by improving facilities and scientific and methodological bases of their design and choice. The influence of structural parameters of non-directional bottom-hole assemblies on the static characteristics of its interaction with the well bottom hole and walls has been characterized. International experience in solving different issues concerning design, selection, and operation of the non-directional bottom-hole assemblies with one supporting and centering element has been analyzed. In addition, the main approaches and techniques, used for designing of non-directional bottom-hole assemblies with one centralizer, and criteria that are essential when choosing them for different tasks of directional drilling have been determined. The process of impact on the static characteristics of interaction of such non-directional bottom-hole assembly elements as spindle shaft and bottom-hole engine has been studied. The results of the analytical studies on the example of single-support constructions of the assemblies have shown that taking into account in the analytical scheme the interaction of the bottom-hole assembly with the well bottom hole and walls, its different-in-size elements, notwithstanding their length, weight, and bending stiffness, influence the static characteristics of their interaction with the borehole walls, in particular deflecting force on the bit, its deflection angle and pressing force of the centering elements to the walls of the well.

Keywords: drill string, designing, force, axis, resistance, well

Вступ. На сьогодні частка споживання нафти і газу в Україні становить близько 35% від загальної кількості всіх існуючих енергетичних ресурсів проти 20% середньоевропейських показників. Така тенденція збережеться і в найближчому майбутньому через відсутність альтернативних газу джерел енергії та непристосованості промисловості і комунального госпо-

дарства до ефективної роботи в умовах енергозбереження. Існуючих на сьогодні розвіданих запасів нафти і газу з відносно нескладними умовами видобування і транспортування вуглеводневої сировини вистачить ще на 22-25 років. У зв'язку з цим стратегічним напрямком підвищення енергетичної незалежності держави є нарощування об'ємів бурових робіт на площах,

де зосереджені поклади нафти і газу, але в силу гірничо-геологічних і техніко-технологічних причин вважаються важкодоступними. Для розробки таких покладів необхідно, в першу чергу, провести комплекс бурових робіт з використанням техніки і технологій похило-скерованого та горизонтального буріння, що є енерговитратним процесом, швидкість виконання якого значною мірою залежить від осьового навантаження на долото. Із збільшенням зенітного кута стовбура свердловини і довжини його ділянок, через зростання сил тертя між бурильною колоною (БК) і стінкою свердловини ускладнюється осьове її переміщення. Це стає основною причиною, що перешкоджає забезпеченню необхідних режимно-технологічних параметрів буріння на долоті і, відповідно, зменшення енергії, спрямованої на руйнування гірської породи (ГП) на вибої.

Аналіз стану проблеми. Збільшення видобутку нафти і газу вимагає підвищення техніко-економічних показників буріння свердловин та зменшення затрат при розробці родовищ. За кордоном цю проблему вирішують шляхом спорудження похило-спрямованих (ПСС) та горизонтальних (ГС) свердловин. На сьогодні вони буряться в Україні, але в невеликих обсягах через складність у будівництві та недостатність відповідних технічних засобів. Одним із напрямків покращення якості їх спорудження є використання ефективних компоновок низу бурильної колони (КНБК), в тому числі й неорієнтованих. У процесі буріння свердловин застосовують різні конструкції неорієнтованих компоновок, та бажаного результату досягнути вдається не завжди через їх недосконалість, яка зумовлена недостатнім вивченням умов їх роботи у стовбурі свердловини та великим об'ємом теоретичних припущень при проектуванні.

До складу неорієнтованих КНБК входять ОЦЕ, розташовані в певних місцях, що забезпечує центрування бурильної колони у свердловині. Існуючі методики їх проектування забезпечують вибір компоновок будь-яких конструкцій, враховуючи вплив природних закономірностей на викривлення, особливості будови КНБК і параметрів проектного профілю спрямованих свердловин різного діаметра.

Дослідженням неорієнтованих КНБК займалося багато вітчизняних і закордонних вчених [1–5 і ін.]. Аналіз наукових підходів до їх розрахунку і вибору показав, що існують певні особливості конструкції компоновок (геометричні розміри деяких їх складових) та умови взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини, які не враховуються через мотивацію складності врахування в математичній моделі КНБК і ін. Тому проблема вдосконалення методів проектування неорієнтованих КНБК є актуальною і потребує подальшого розвитку.

Мета роботи: підвищення ефективності буріння свердловин шляхом вдосконалення методики проектування одноопорних неорієнтованих КНБК.

Об'єкт дослідження: неорієнтована одноопорна КНБК.

Предмет дослідження: статичні характеристики взаємодії елементів неорієнтованих КНБК з вибоєм та стінками свердловини.

Методи дослідження: теорія пружності, математичне моделювання і програмування.

Реалізація поставленої мети. В практиці буріння похило-спрямованих свердловин широкого розповсюдження набули неорієнтовані КНБК з одним ОЦЕ (одноопорні), [3, 4]. Їх проектують з використанням різних методів, в яких не враховують елементи конструкції малої довжини (вал шпинделя вибійного двигуна, перехідник тощо), [1-7].

Для їх врахування пропонується розрахункова схема неорієнтованої одноопорної КНБК, розташованої в похило-спрямованому стовбурі свердловини, (рис. 1). Особливістю її є те, що вона складається із чотирьох ділянок різної ваги погонного метра та жорсткості на згин, на межі контакту другої і третьої яких установлено ОЦЕ.

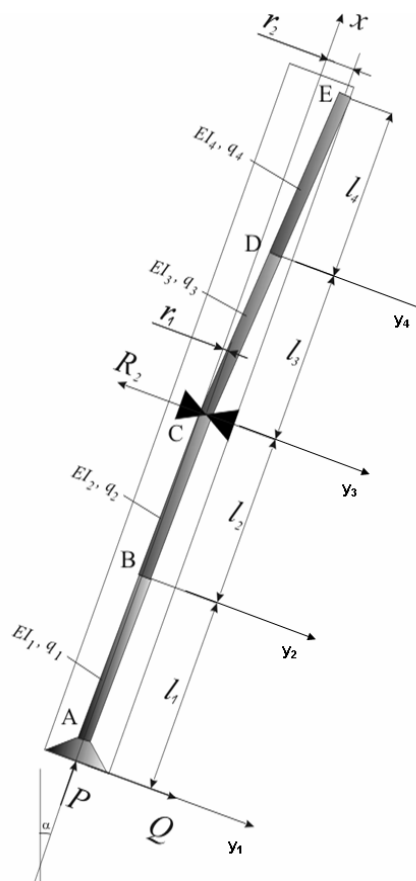


Рисунок 1 – Розрахункова схема одноопорної КНБК

Пружну вісь КНБК можна подати як криву, де точка *A* відповідає долоту, *B* і *D* – точкам спряження ділянок різної жорсткості, *C* – місцю встановлення центратора і *E* – верхній точці дотику КНБК зі стінкою свердловини.

Окрім того, вважається, що:

- стінки свердловини не деформуються і є прямолінійними;

• центр долота і стовбура свердловини знаходяться в одній точці;

• відцентрові сили відсутні за рахунок невеликих швидкостей обертання бурильної колони при роторному способі буріння, їх відсутність спостерігається при використанні вибійних двигунів;

• згин колони відбувається в одній площині (за рахунок невертикальності свердловини); у місцях контактування елементів КНБК зі стінкою свердловини відсутні сили тертя;

ОЦЕ не зношуються і розглядаються як точкові опори.

Згідно з рис. 1:

$l_1 \dots l_4$ – довжини ділянок КНБК;

q_i, EI_i – вага погонного метра і жорсткість на згин ділянок КНБК;

P, Q – осьова і відхиляюча сила на долоті;

R_i – реакція на ОЦЕ;

r_1 – радіальний зазор між ОЦЕ і стінками свердловини;

r_2 – радіальний зазор між елементом КНБК і стінками свердловини в верхній точці їх контактування зі стовбуром свердловини.

$$r_1 = \frac{D_D - D_{OP}}{2}, \quad (1)$$

$$r_2 = \frac{D_D - D_E}{2}, \quad (2)$$

де D_D – діаметр долота;

D_{OP} – діаметр ОЦЕ;

D_E – зовнішній діаметр елемента КНБК у точці E ;

α – зенітний кут нахилу осі свердловини.

Аналітичне дослідження ступінчастих одноопорних КНБК зводиться до розрахунку плоскої задачі на основі розв'язку системи диференціальних рівнянь їх пружної осі КНБК при відповідних граничних умовах.

Згідно розрахункової схеми, характерними є такі диференціальні рівняння.

Для ділянки АВ:

$$EI_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -P y_1(x_1) + Q x_1 + \frac{q_1 x_1^2 \sin(\alpha)}{2}. \quad (3)$$

Для ділянки ВС:

$$EI_2 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -[P - q_1 l_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) + Q(l_1 + x_2) + \left(\frac{q_1 l_1^2}{2} + q_1 l_1 x_2 + \frac{q_2 x_2^2}{2} \right) \sin(\alpha). \quad (4)$$

Для ділянки CD:

$$EI_3 \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_3(x_3) + Q \left(\sum_{i=1}^2 l_i + x_3 \right) - R_2 x_3 + \quad (5)$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^2 \frac{q_i l_i^2}{2} + x_3 \sum_{i=1}^2 q_i l_i + q_1 l_1 l_2 + \frac{q_3 x_3^2}{2} \right) \sin(\alpha).$$

Для ділянки DE:

$$EI_4 \frac{d^2 y_4}{dx_4^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_4(x_4) + Q \left(\sum_{i=1}^3 l_i + x_4 \right) - R_2(l_3 + x_4) + \quad (6)$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^3 \frac{q_i l_i^2}{2} + x_4 \sum_{i=1}^3 q_i l_i + q_1 l_1 \sum_{i=2}^3 l_i + q_2 l_2 l_3 + \frac{q_4 x_4^2}{2} \right) \sin(\alpha).$$

Двічі проінтегрувавши диференціальні рівняння (3)–(6), отримуємо функції, які описують зміну величин прогинів осі КНБК по відношенню до осі свердловини на чотирьох ділянках відповідно:

$$y_1(x) = A_1 \cdot \sin(k_1 x_1) + A_2 \cos(k_1 x_1) + \frac{Q x_1}{P} + \left[\frac{q_1 x_1^2}{2P} - \frac{q_1}{k_1^2 P} \right] \sin(\alpha); \quad (7)$$

$$y_2(x) = B_1 \sin(k_2 x_2) + B_2 \cos(k_2 x_2) + \frac{Q(x_2 + l_1)}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)} + \frac{\frac{q_2 x_2^2}{2} + \frac{q_1 l_1^2}{2} + q_1 l_1 x_2 - \frac{q_2}{k_2^2}}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)} \sin(\alpha); \quad (8)$$

$$y_3(x_3) = C_1 \sin(k_3 x_3) + C_2 \cos(k_3 x_3) + \left\{ Q(x_3 + \sum_{i=1}^2 l_i) - R_2 x_3 + \left[\sum_{i=1}^2 \frac{q_i l_i^2}{2} + x_3 \sum_{i=1}^2 q_i l_i + \frac{q_3 x_3^2}{2} + q_1 l_1 l_2 - \frac{q_3}{k_3^2} \right] \sin(\alpha) \right\} \times \left\{ P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right\}^{-1}; \quad (9)$$

$$y_4(x_4) = D_1 \sin(k_4 x_4) + D_2 \cos(k_4 x_4) + \frac{Q(x_4 + \sum_{i=1}^3 l_i) - R_2(x_4 + l_3)}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)} + \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{q_i l_i^2}{2} + q_1 l_1 \sum_{i=2}^3 l_i + x_4 \sum_{i=1}^3 q_i l_i + q_2 l_2 l_3 + \frac{q_4 x_4^2}{2} - \frac{q_4}{k_4^2}}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)} \sin(\alpha).$$

Функції, що описують зміну величин кутів повороту осі КНБК відносно до осі свердловини для кожної з її ділянок, записуються відповідно:

$$y_1'(x_1) = A_1 k_1 \cos(k_1 x_1) - A_2 k_1 \sin(k_1 x_1) + \frac{Q}{P} + \frac{q_1 x_1}{P} \sin(\alpha); \quad (11)$$

$$y_2'(x_2) = B_1 k_2 \cos(k_2 x_2) - B_2 k_2 \sin(k_2 x_2) + \frac{Q + (q_1 l_1 + q_2 x_2) \sin(\alpha)}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)}; \quad (12)$$

$$y_3'(x_3) = C_1 k_3 \cos(k_3 x_3) - C_2 k_3 \sin(k_3 x_3) + \frac{Q - R_2 + \left(\sum_{i=1}^2 q_i l_i + q_3 x_3\right) \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha)}; \quad (13)$$

$$y_4'(x_4) = D_1 k_4 \cos(k_4 x_4) - D_2 k_4 \sin(k_4 x_4) + \frac{Q - R_2 + \left(\sum_{i=1}^3 q_i l_i + q_4 x_4\right) \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)}. \quad (14)$$

Функції, що описують зміну величин згинальних моментів вздовж осі КНБК, для кожної з її ділянок записуються:

$$M_1(x_1) = \quad (15)$$

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

$$M_2(x_2) = \quad (16)$$

$$= \left[-B_1 k_2^2 \sin(k_2 x_2) - B_2 k_2^2 \cos(k_2 x_2) + \frac{q_2 \sin(\alpha)}{P - q_1 l_1 \cos(\alpha)} \right] EI_2;$$

$$M_3(x_3) = \quad (17)$$

$$= \left[-C_1 k_3^2 \sin(k_3 x_3) - C_2 k_3^2 \cos(k_3 x_3) + \frac{q_3 \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha)} \right] EI_3;$$

$$M_4(x_4) = \quad (18)$$

$$= \left[-D_1 k_4^2 \sin(k_4 x_4) - D_2 k_4^2 \cos(k_4 x_4) + \frac{q_4 \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha)} \right] EI_4,$$

де $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D_1, D_2$ – сталі інтегрування;

k_i – коефіцієнти, які залежать від осьової сили на долоті та жорсткості на згин елементів КНБК [5].

Взаємодія неорієнтованих одноопорних конструкцій КНБК зі стінками свердловини характеризується наступними граничними умовами:

$$\text{при } x_l = 0 \quad y_l(0) = 0;$$

$$\text{при } x_l = l_l \text{ і } x_2 = 0 \quad y_l(l_l) = y_2(0) \text{ та } y_l'(l_l) = y_2'(0);$$

$$\text{при } x_2 = l_2 \text{ і } x_3 = 0 \quad y_2(l_2) = r_1, \quad y_3(0) = r_1 \text{ та } y_2'(l_2) = y_3'(0);$$

$$\text{при } x_3 = l_1 \text{ і } x_4 = 0 \quad y_3(l_3) = y_4(0) \text{ та } y_3'(l_3) = y_4'(0);$$

$$\text{при } x_4 = l_4 \quad y_4(l_4) = r_2, \quad y_4'(l_4) = 0, \quad y_4(l_4) = 0.$$

Вихідними даними для розв'язку системи рівнянь є:

- діаметри долота та ОЦЕ;
- зенітний кут нахилу осі свердловини;
- осьова сила на долоті (осьове навантаження);
- довжини, вага погонного метра і жорсткості на згин кожної з ділянок КНБК.

У результаті розв'язку даної задачі отримуємо значення невідомих величин, основними з яких є: Q, R_2, L_4 та постійні інтегрування $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D_1, D_2$. За цими значеннями можна обчислити також величини прогинів (7)–(10) та кутів повороту (11)–(14) пружної осі КНБК по відношенню до осі свердловини.

За розробленим підходом було проведено розрахунок двох турбінних компоновок (діаметр долота 215.9 мм). З графічної залежності (рис. 2) видно, що збільшення діаметра ОЦЕ з 208 до 212 мм, при відстанях між центратором і долотом (1,3–2 м), призводить до зростання відхиляючої сили Q на 21%. Подальше збільшення відстані між долотом і цими центраторами від 2 до 5 м зумовлює зменшення різниці в значеннях Q з 21% до 2%. А вже при встановленні ОЦЕ на віддалі, більшій 5 м, вплив зміни його діаметра (наприклад, на 4 мм) на величину Q є несуттєвим.

При встановленні ОЦЕ в діапазоні 1,3–5 м від долота відхиляюча сила на долоті має додатне значення. У цьому випадку долото буде взаємодіяти з верхньою стінкою свердловини, що може спричинити набір кривизни. При цьому значення Q суттєво залежить від діаметра ОЦЕ: на малих віддальх його встановлення від долота з збільшенням $D_{ол}$ відхиляюча сила зростає. А для компоновок, в яких долото взаємодіє з нижньою стінкою свердловини, вплив діаметра центратора є дуже малим і становить 1–2%.

При спрацюванні ОЦЕ на 2–3 мм не рекомендується їх подальше використання. За умови суттєвого впливу на процес буріння свердловини в заданому напрямі, їх відбраковують або застосовують з іншою метою. Тому й існує велика кількість різних за діаметром ОЦЕ під один типорозмір долота. Рівномірно спрацьовані на декілька міліметрів, повно розмірні, вони підлягають реставрації шляхом розточування їх до циліндричної форми меншого діаметру, ніж долото, після чого вони стають неповнорозмірними. КНБК з такими ОЦЕ можна також отримувати необхідні параметри проектного профілю свердловини при відповідній їх розстановці.

Для проектування неорієнтованих КНБК в існуючих нормативних документах (методиках проектування неорієнтованих КНБК) [1-4 і ін.] чітко вказуються діаметри ОЦЕ та місця їх розташування для різних задач буріння, нехтуючи при цьому детальним врахуванням конструкції компоновок. Оскільки КНБК є складною стри-

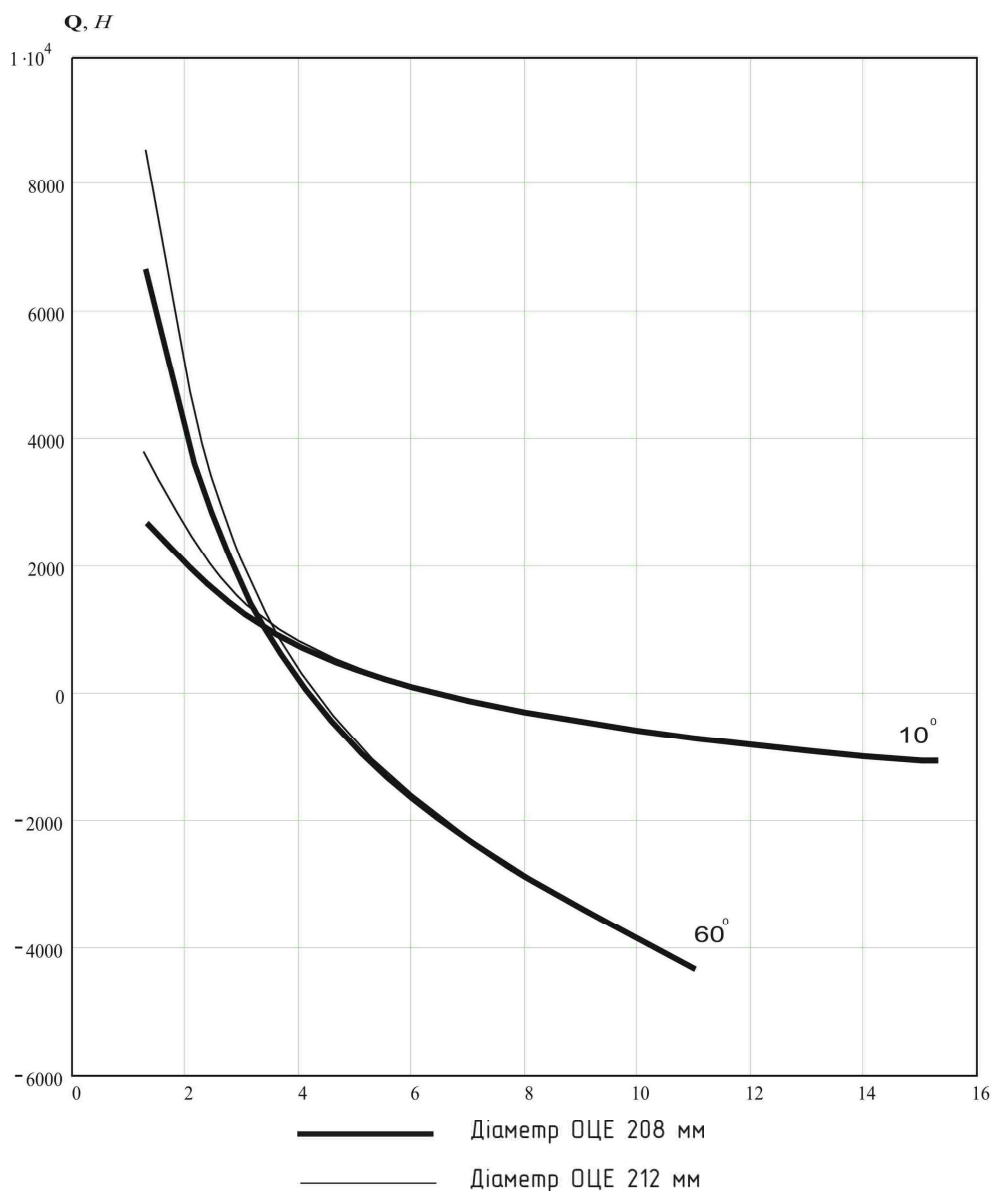


Рисунок 2 – Зміна відхиляючої сили на долоті за різних діаметрів ОЦЕ

жневою системою з різними за геометричними розмірами елементами, врахування впливу наявності в математичній моделі розрахунку ділянки невеликої довжини (на прикладі вала шпинделя вибійного двигуна) на роботу долота і компоновки в цілому має обґрунтовану необхідність.

На основі результатів аналітичних досліджень взаємодії неорієнтованих одно- та двоопорних КНБК із стінками свердловини було проведено визначення впливу детального врахування конструкції компоновки (на прикладі вала шпинделя вибійного двигуна) на відхиляючу силу на долоті.

Для наглядності приведено графічні залежності зміни відхиляючої сили на долоті від місця встановлення ОЦЕ, $Q=f(l)$ (рис. 3) при зенітному куті нахилу осі свердловини 30° .

При порівнянні отриманих результатів аналітичних досліджень виявлено, що при встановленні ОЦЕ діаметром 208 мм на віддалі

від долота до 2–2,5 м, вплив вала шпинделя вибійного двигуна спричиняє зменшення величини Q на 15 %, а при 2,5–5 м він збільшує відхиляючу силу на 8 %.

У таблиці 1 наведено значення різниці між експериментальними [6] та розрахунковими величинами відхиляючої сили на долоті для різних конструкцій одноопорних КНБК.

Наведена в таблиці 1 інформація свідчать про те, що розрахована величина відхиляючої сили для математичної моделі з врахуванням вала шпинделя двигуна краще узгоджується з експериментальними результатами, ніж для спрощеної аналітичної схеми КНБК. А це підтверджує необхідність врахування вала вибійного двигуна в неорієнтованих одноопорних конструкціях КНБК як окремої ділянки під час їх проектування.

При дослідженні зміни відхиляючої сили на долоті за вдосконаленою аналітичною моделлю неорієнтованої КНБК було встановлено,

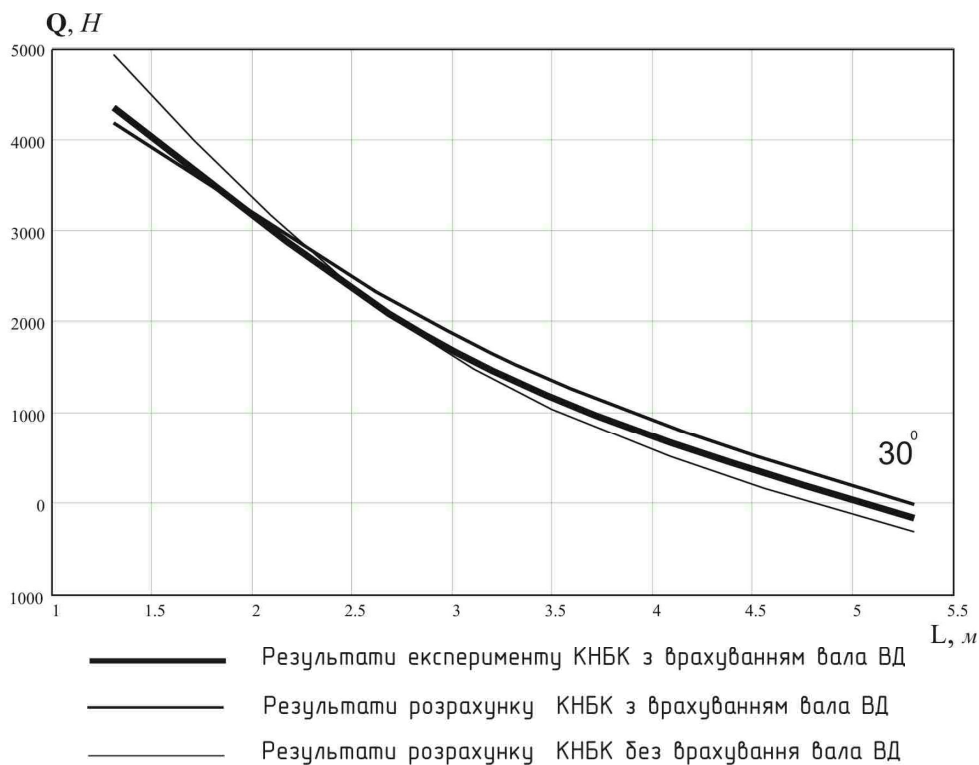


Рисунок 3 – Залежності зміни відхиляючої сили на долоті від відстані між долотом і ОЦЕ для одноопорної КНБК

Таблиця 1 – Розбіжність аналітичних та експериментальних значень Q для КНБК різних конструкцій

Діаметр ОЦЕ, Мм	Вал шпинделя ВД враховується				Вал шпинделя ВД не враховується			
	Зенітний кут нахилу осі свердловини, град							
	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°
Різниця між значеннями Q, %								
208	–	7.2	7.4	7.9	–	16	16.5	18
212	6	9	11	–	7	11	16	–

що існує суттєвий вплив особливостей їх конструкції (наявність ділянок невеликої довжини) на величину Q . При взаємодії ОЦЕ із стовбуром свердловини часто виникає зношування робочої поверхні, що викликає певні труднощі при дотриманні параметрів проектного профілю. Зношування суттєво залежить від реакцій на ОЦЕ до стінок свердловини R (рис. 4).

Для проведення досліджень цих сил за вдосконаленими теоретичним та експериментальним методами [6] використовували різні конструкції неорієнтованих КНБК з одним і з двома ОЦЕ. Для одноопорної конструкції КНБК, при розташуванні центратора на віддалі від долота 1,5–2 м, зменшення його діаметра на 4 мм зумовлює спад реакції на ОЦЕ на 18 % (рис. 4).

При подальшому збільшенні цієї віддалі, в діапазоні 2 – 10 м, різниця в значеннях сил змінюється з 18 до 3 %. При встановленні центратора від долота більше 10 м, зміна діаметра ОЦЕ з 208 або 212 мм вже не впливає на величину R . Вплив особливостей конструкції (врахування ділянок невеликої довжини в аналітичній

схемі) одноопорних КНБК на реакцію R досліджувався експериментальним [6] та аналітичним методами. При цьому було встановлено, що наявність вала шпинделя вибійного двигуна в розрахунковій схемі суттєво впливає на реакцію на ОЦЕ. З графічної залежності (рис. 5) видно, що результати експерименту підтверджують необхідність врахування в аналітичній схемі дослідження КНБК ділянок малої довжини, тому що різниця між теоретичними та базовими значеннями R в три рази менша для компоновок за наявності вала шпинделя вибійного двигуна й без нього. При встановленні ОЦЕ на корпусі ВД наявність вала спричинює суттєве зменшення реакції на опорі і тим самим призводить до збільшення ресурсу її роботи.

Величина відхиляючої сили на долоті не є єдиним і основним критерієм оцінки тенденції викривлення стовбура свердловини у процесі буріння її неорієнтованою КНБК. Значною мірою на викривлення стовбура впливає кут повороту осі КНБК в місці встановлення долота. Для оцінки ефективності впливу наявності вала шпинделя вибійного двигуна в аналітичній

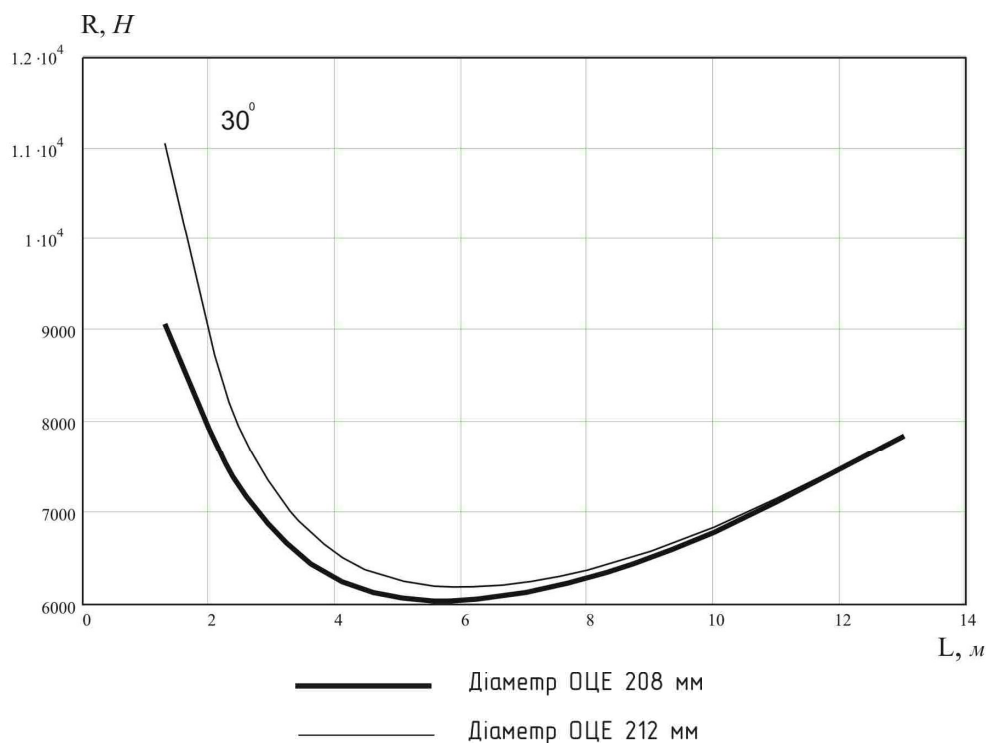


Рисунок 4 – Зміна реакції на ОЦЕ за різних діаметрів опор

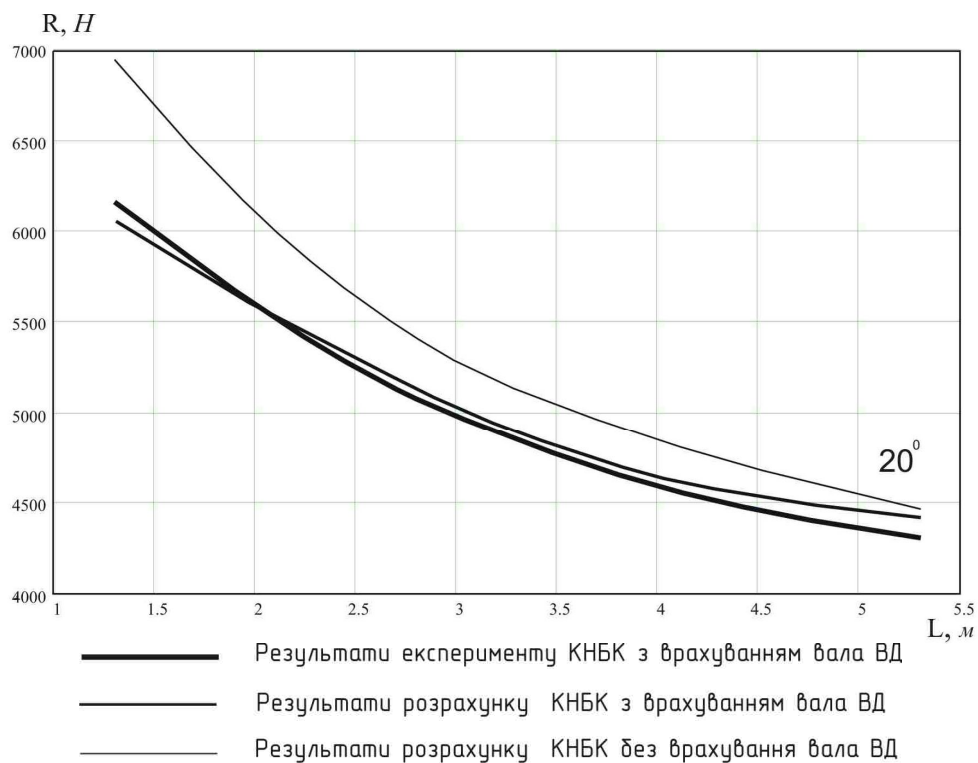


Рисунок 5 – Зміна реакції на ОЦЕ для одноопорної КНБК

схемі КНБК на кут повороту долота проведено теоретичні дослідження його зміни в залежності від довжини компоновки її конструктивних особливостей, діаметра та кількості ОЦЕ.

На рис. 6 і 7 зображено залежності зміни кутів повороту долота для одноопорних КНБК різних конструкцій від відстані до ОЦЕ за наявності в компоновці вала шпинделя вибійного

двигуна і без нього. Як видно із графічної залежності (рис. 6), наявність в КНБК з ОЦЕ діаметром 208 мм вала шпинделя вибійного двигуна зумовлює суттєву зміну кута повороту долота саме при встановленні опори на корпусі ВД. При малих відстанях між долотом та ОЦЕ 1,5 – 3 м різниця між значеннями кутів повороту θ на діапазоні його зміни, для конструкцій

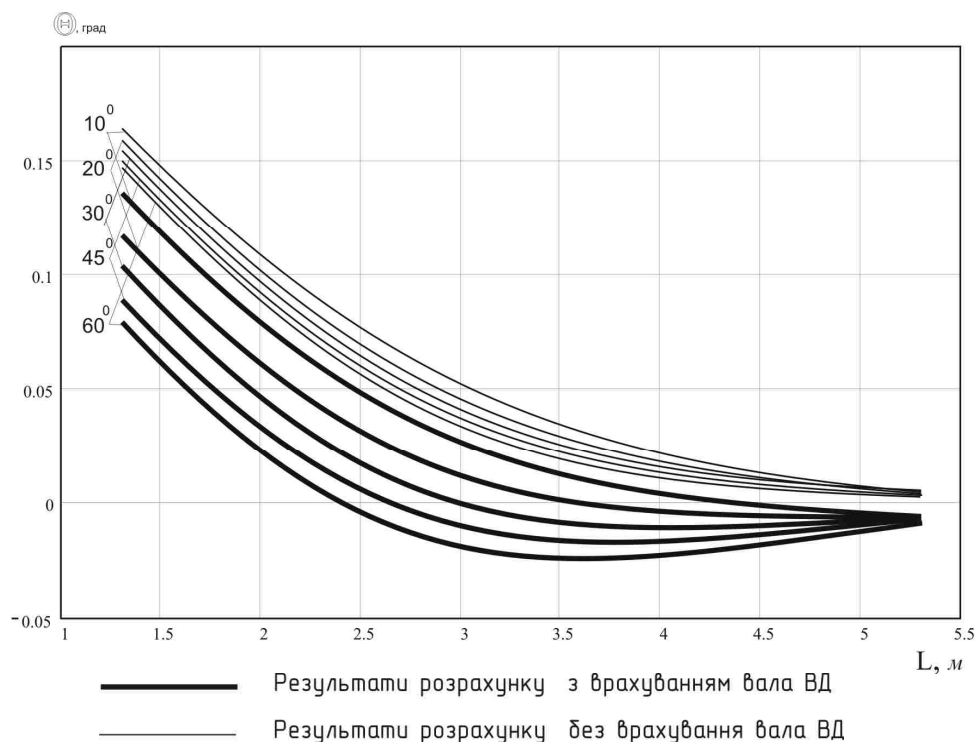


Рисунок 6 – Залежність зміни кута повороту долота від місця встановлення ОЦЕ діаметром 208 мм

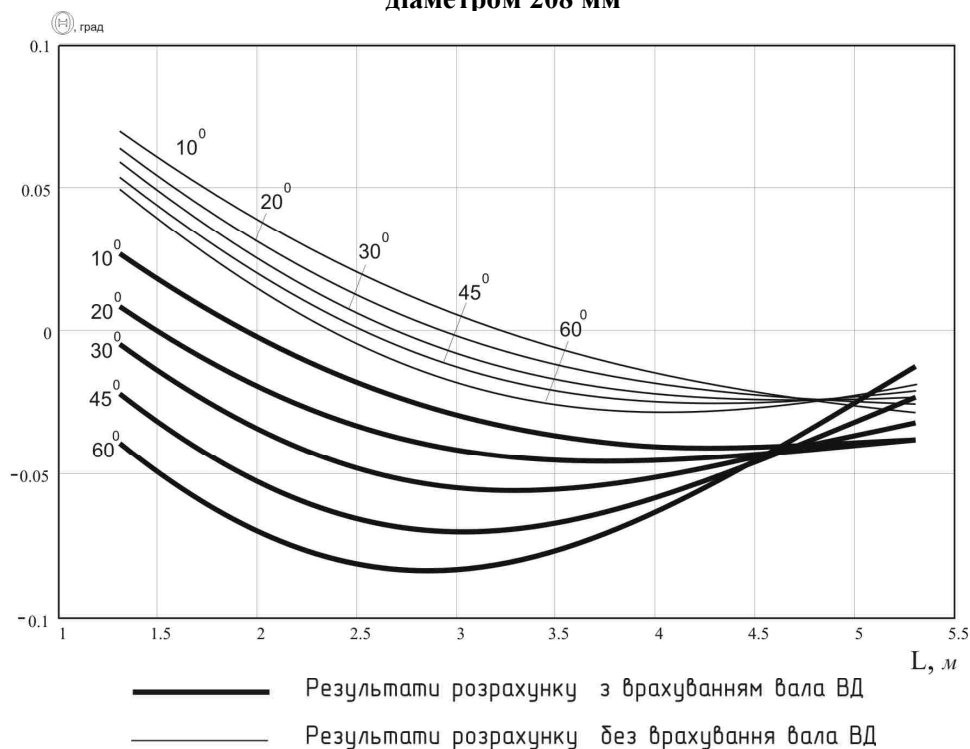


Рисунок 7 – Залежність зміни кута повороту долота від місця встановлення ОЦЕ діаметром 212 мм

КНБК за наявності вала ВД і без нього становить в середньому при 10° – 20%, при 20° – 31.6 %, при 30° – 40 %, при 45° – 56 %, при 60° – 68 %. Подальша зміна віддалі від долота до ОЦЕ 3 – 5 м дещо зменшує вплив наявності вала на зміну θ і становить для 10° – 12 %, для 20° – 16 %, для 30° – 21 %, для 45° – 22 %, для 60° – 25 %.

Отримані значення свідчать про те, що за збільшенням віддалі від долота до ОЦЕ вплив вала шпинделя вибійного двигуна на кут повороту дещо зменшується, але все ж залишається суттєвим. Окрім того, збільшення zenітного кута нахилу осі свердловини також спричиняє зростання впливу вала шпинделя двигуна на значення θ за рахунок зростання поперечної

складової ваги вище розташованої від ОЦЕ частини КНБК. Вона призводить до збільшення її ваги і, відповідно, відхиляючої сили на долоті й кута повороту долота.

Збільшення діаметра ОЦЕ з 208 до 212 мм викликає більш суттєву зміну кута повороту осі КНБК у місці встановлення долота (рис. 7) за рахунок збільшення довжини вище розташованої від ОЦЕ частини КНБК.

При більшій її довжині зростає вага, яка спричинює на долоті більший поворот кута. У середньому різниця між значеннями кута повороту долота для КНБК, де враховується вал шпинделя вибірного двигуна і без нього, при знаходженні ОЦЕ до 4 м від вибою становить 44 – 75 %. З наведених результатів випливає, що для одноопорних неорієнтованих КНБК вплив вала шпинделя вибірного двигуна на кут повороту долота є суттєвішим для тих конструкцій, де діаметр ОЦЕ більший.

Висновки

За результатами аналітичних досліджень (на прикладі одноопорних конструкцій неорієнтованих компонок) отримано вдосконалену методіку проектування неорієнтованих КНБК з одним ОЦЕ, в аналітичній схемі якого можуть враховуватися елементи малої довжини (вал шпинделя вибірного двигуна, перехідники та ін.), яка дозволяє з більшою точністю визначити такі параметри, як відхиляюча сила на долоті, кут його повороту і сили притискування центральних елементів до стінок свердловини.

За результатами розрахунків по вдосконаленій методиці встановлено, що:

1) для одноопорних конструкцій неорієнтованих КНБК, в яких долото взаємодіє з верхньою стінкою свердловини, (що може спричинити набір кривизни), значення Q суттєво залежить від діаметра ОЦЕ: при малих відстанях його встановлення від долота з збільшенням $D_{оп}$ відхиляюча сила зростає. А для компонок, в яких долото взаємодіє з нижньою стінкою свердловини, вплив діаметра центратора є дуже малий (становить 1 – 2%);

2) наявність вала шпинделя вибірного двигуна в її аналітичній схемі одноопорної неорієнтованої КНБК при малих відстанях встановлення ОЦЕ від долота (1 – 2,5 м) зумовлює зменшення відхиляючої сили на долоті (на 15 %). При подальшій зміні віддалі від долота до опори величина Q зростає (на 8 %) в порівнянні з тією конструкцією, де вал не враховується;

3) при розташуванні центратора в одноопорній конструкції неорієнтованої КНБК на невеликій віддалі від долота (1.5 – 2 м), зменшення його діаметра (на 4 мм) зумовлює спад реакції на ОЦЕ (на 18 %). Подальше збільшення цієї віддалі (від 2 до 10 м) при зменшенні діаметра ОЦЕ (з 212 до 208 мм) зумовлює суттєвий спад розбіжності величини R з 18 до 3 %. При встановленні центратора на великій віддалі від долота (більше 10 м, при діаметрах ОЦЕ 208 і 212 мм) величини R є рівними;

4) наявність вала шпинделя вибірного двигуна, при малих відстанях між долотом та ОЦЕ (1,5 – 3 м), зумовлює суттєву зміну кута повороту долота, яка крім того зростає ще і за збільшенням zenітного кута (при $10^0 - 20\%$, $20^0 - 31.6\%$, $30^0 - 40\%$, $45^0 - 56\%$, $60^0 - 68\%$). Подальша зміна віддалі від долота до ОЦЕ 3 – 5 м дещо зменшує вплив наявності вала шпинделя на зміну θ . ($10^0 - 12\%$, $20^0 - 16\%$, $30^0 - 21\%$, $45^0 - 22\%$, $60^0 - 25\%$);

5) збільшення діаметра опори (з 208 до 212 мм) викликає суттєву зміну кута повороту долота (44 – 75 %) для одноопорної КНБК, де враховується вал шпинделя вибірного двигуна при знаходженні ОЦЕ до 4 м від вибою свердловини. Вплив вала шпинделя вибірного двигуна на кут повороту долота є суттєвішим для тих конструкцій, де діаметр ОЦЕ більший.

Література

1 Гречин Е. Г. Разработка и исследование методов проектирования и работы неориентированных компонок низа буровой 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.

2 Григулецкий В. Г. Проектирование компонок нижней части буровой колонны [Текст] / В. Г. Григулецкий, В. Т. Лукьянов. – М.: Недра, 1990. – 304 с.

3 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.

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

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

6 Івасів В. М. Розрахунок компонок низу бурової 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.

7 Крижанівський Є. І. Експериментальні дослідження на моделях компонок низу бурової колони / Є.І. Крижанівський, І.І. Чудик, М.М. Яворський, В.М. Івасів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 4(9). – С. 121 – 123.

Стаття надійшла до редакційної колегії
02.10.13

Рекомендована до друку
професором Коцкучичем Я.С.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Бондаренком М.О.
(Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М.Бакуля НАН України, м. Київ)