

характеризує фільтраційні параметри розкритих свердловиною пластів, то другий відрізок виражає збільшені у два рази фільтраційні опори внаслідок зменшення площі фільтрації наявним тектонічним екраном.

Варіант 4.2 — у зоні впливу свердловини є два екранувальні тектонічні порушення, розміщені на різних відстанях від вибою. Характерними ознаками графіка відновлення тиску для даного підваріанта залягання пластів у зоні впливу свердловини (рис. 5) є наявність трьох прямолінійних відрізків, перший з яких характеризує фільтраційний опір розкритих пластів (i_1), другий і третій відрізки відображають фільтраційні опори (i_2 , i_3), збільшені внаслідок обмеження площі фільтрації екрануючими порушеннями у співвідношенні $i_3=2i_2$; $i_2=2i_1$.

Відмінність графіка відновлення тиску для цього випадку від графіка у третьому випадку (кругової зони фільтрації за наявності підзон з різною величиною гідропровідності пластів) полягає у тому, що співвідношення між коефіцієнтами фільтраційного опору для наступного і попереднього прямолінійних відрізків є по-

стійним на рівні дворазового збільшення, тоді як для третього варіанта це відношення може бути змінним, фільтраційний опір може і збільшуватись, і зменшуватися.

Із розглянутих вище моделей залягання пластів у зоні дренування свердловини авторами складено комп'ютерний банк моделей. До кожної з моделей підібрано алгоритми розрахунку фільтраційних параметрів пластів і складено програмні модулі для реалізації цих алгоритмів.

Література

1 Лозинський О.Є., Жученко Г.О., Лозинський В.О., Жученко Н.О. Фактори формування об'єму припливу продукції при випробуванні та освоєнні розкритих свердловиною нафтонасичених пластів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2006. — №4(21). — С.62-66.

2 Яремійчук Р., Возний В. Освоєння та дослідження свердловин. — Львів: Оріяна-Нова, 1994. — 440 с.

УДК 622.243.272

МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З ОПОРНО-ЦЕНТРУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ (ОЦЕ) В ПОХИЛО-СКЕРОВАНОМУ СТОВБУРІ СВЕРДЛОВИНИ

А.Р.Юрич, І.І.Чудик, В.В.Гриців, Р.В.Рачкевич, А.А.Козлов

*ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42480,
e-mail: nding@nung.edu.ua*

Описан подход к расчету и моделированию положения неориентированных КНБК с ОЦЭ в наклонно-направленном стволе скважины для обеспечения ее проектного профиля. Подход реализуется на ЭВМ и обеспечивает высокую точность результатов.

The approach to calculation and simulation of undirected bottom drill columns with bearing centering element in directional well to providing its designed profile is described. The approach is realised on PC and provides high accuracy of results

Одним із основних завдань, яке ставиться при спрямованому бурінні є дотримання параметрів проектного профілю. Тому виникає завдання розроблення науково-обґрунтованих технологічних рекомендацій та технічних засобів для оптимального керування компоновкою низу бурильної колони КНБК. Актуальність проблеми керування рухом долота в процесі поглиблення свердловини обумовлено тим, що у випадку відхилення профілю від проектного, часто виникають ускладнення та аварії, ліквідація яких призводить до непрогнозованих затрат часу та матеріальних ресурсів. Основними причинами відхилення від проектного профілю свердловини є неправильно вибрані конструктивні параметри нижньої частини бурильної колони для конкретних умов буріння. Тому дослідження напружено-деформованого стану (НДС) КНБК і вдосконалення методології її

проектуювання є завданням, яке потребує вирішення. Існуючі методи дослідження НДС [1-5] опираються на аналітичні спрощення та припущення, пов'язані з складністю отримання розв'язку диференціальних рівнянь. На даний час наявність комп'ютерного забезпечення дає змогу розв'язувати такі задачі з високою точністю. У поєднанні з відомостями про умови роботи КНБК це дасть можливість ефективніше оцінити їх НДС і забезпечити провідку свердловини згідно проектного профілю.

Як засвідчила практика ведення бурових робіт, найчастіше використовуються безопорні компоновки [6-7]. У зв'язку з цим, було розроблено підхід до розрахунку саме таких неорієнтованих КНБК у похило-спрямованому стовбурі свердловини [8].

В даній статті висвітлено можливість використання розробленого підходу до компоно-

вок з ОЦЕ. Розглянемо одноопорну КНБК в якій на певній відстані від долота (l_1) встановлений центратор (рис. 1).

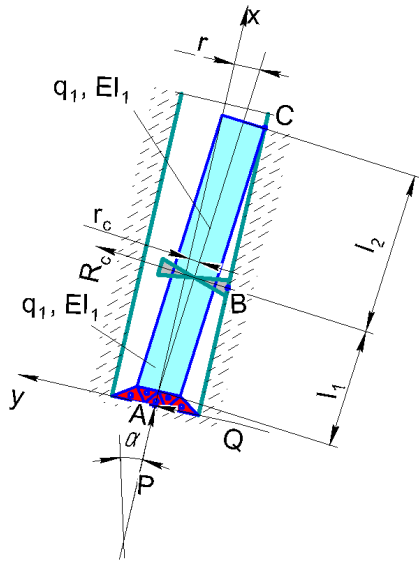


Рисунок 1 – Розрахункова схема взаємодії одноопорної КНБК з стінками свердловини

Як базову залежність використовуємо диференціальне рівняння IV порядку, що описує НДС КНБК у похило-скерованій свердловині.

Для ділянки 1:

$$EI_1 \cdot \frac{d^4 y_1}{dx^4} + P \cdot \frac{d^2 y_1}{dx^2} = -q_1 \cdot \sin(\alpha); \quad (1)$$

для ділянки 2:

$$EI_2 \cdot \frac{d^4 y_2}{dx^4} + P_1 \cdot \frac{d^2 y_2}{dx^2} = -q_2 \cdot \sin(\alpha), \quad (2)$$

де: q_i – вага погонного метра елементів КНБК; EI_i – жорсткість елементів КНБК на згин; P – осьове навантаження на долоті;

$P_1 = P - q_1 \cdot l_1 \cdot \sin(\alpha)$ – осьова стискаюча сила на другій ділянці КНБК;

α – зенітний кут нахилу осі свердловини;

$y_i(x)$ – функції прогинів пружної осі КНБК.

Розв'язки рівнянь (1) та (2) описуються такими граничними умовами:

$$\begin{aligned} y_1(0) &= 0, \\ y_1''(0) &= 0, \\ y_1(l_1) &= r_c, \\ y_2(0) &= r_c, \\ y_1'(l_1) &= y_2'(0), \\ y_1''(l_1) &= y_2''(0), \\ y_2'''(0) + y_1'''(l_1) &= R_c, \\ y_2(l_2) &= r, \\ y_2'(l_2) &= 0, \\ y_2''(l_2) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

r_c – радіальний проміжок між центратором і стінкою свердловини.

r – радіальний проміжок між ОБТ і стінкою свердловини, на віддалі $l_1 + l_2$ від долота.

Окрім того припускаємо, що:

- стінки свердловини не деформуються;
- згин колони труб відбувається в одній площині;
- динамічні процеси не враховується.

У ході розв'язування рівняння (1) та (2), з врахуванням граничних умов (3), отримуємо систему рівнянь (4).

$$\left. \begin{aligned} \frac{-C_1}{k_1^2} + C_4 &= 0 & C_1 - \frac{q_1 \cdot A_p}{l_1} &= 0 \\ -C_2 \cdot A_s - C_1 \cdot A_c - \frac{q_1 \cdot l_1}{2} \cdot A_p + C_3 \cdot l_1 + C_4 &= r_c \\ \frac{-B_1}{k_2^2} + B_4 &= r_c \\ -C_2 \cdot A_c \cdot k_1 - C_1 \cdot A_s \cdot k_1 - q_1 \cdot A_p + C_3 &= \frac{-B_2}{k_2} \\ \left[C_2 \cdot A_s \cdot k_1^2 + C_1 \cdot A_c \cdot k_1^2 - \frac{q_1 \cdot A_p}{l_1} \right] \cdot EI_1 &= \\ &= \left[B_1 - \frac{q_2 \cdot Z_p}{l_2} \right] \cdot EI_2 \\ [B_2 \cdot k_2] \cdot EI_2 + [C_2 \cdot k_1^3 \cdot A_c - C_1 \cdot k_1^3 \cdot A_s] \cdot EI_1 &= R_c \\ -B_2 \cdot Z_s - B_1 \cdot Z_c - \frac{q_2 \cdot l_2}{2} \cdot Z_p + B_3 \cdot l_2 + B_4 &= r \\ -B_2 \cdot Z_c \cdot k_2 - B_1 \cdot Z_s \cdot k_2 - q_2 \cdot Z_p + B_3 &= 0 \\ B_2 \cdot Z_s \cdot k_2^2 + B_1 \cdot Z_c \cdot k_2^2 - \frac{q_2 \cdot Z_p}{l_2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де: $k_1 = \sqrt{\frac{P}{EI_1}}, \quad k_2 = \sqrt{\frac{P_1}{EI_2}},$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\sin(k_1 \cdot l_1)}{k_1^2}, \quad A_c = \frac{\cos(k_1 \cdot l_1)}{k_1^2}, \quad A_p = \frac{\sin(\alpha) \cdot l_1}{P}, \\ Z_s &= \frac{\sin(k_2 \cdot l_2)}{k_2^2}, \quad Z_c = \frac{\cos(k_2 \cdot l_2)}{k_2^2}, \quad Z_p = \frac{\sin(\alpha) \cdot l_2}{P_1} \end{aligned}$$

– коефіцієнти, які залежать від осьової сили на долоті та жорсткості на згин елементів КНБК;

C_i, B_i – сталі інтегрування;

l_2 – відстань від центратора до точки контакту КНБК зі стінкою свердловини.

R_c – реакція на центраторі.

Для визначення відхиляючої сили на долоті використаємо рівняння статки $\sum M_C = 0$.

$$\begin{aligned} Q \cdot (l_1 + l_2) + R_c \cdot l_2 + P \cdot r - \\ - \left(q_1 \cdot l_1 \cdot \left(\frac{l_1^2}{2} + l_2 \right) + q_2 \cdot \frac{l_2^2}{2} \right) \cdot \sin(\alpha) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримуємо функцію прогину осі КНБК (6), відстань від долота до точки контакту КНБК зі стінкою свердловини та відхиляюче зусилля на долоті.

$$y_1(x_1) = -\frac{C_2 \cdot \sin(k_1 \cdot x_1)}{k_1^2} - \frac{C_1 \cdot \cos(k_1 \cdot x_1)}{k_1^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{q_1 \cdot \sin(\alpha) \cdot x_1^2}{P} + C_3 \cdot x_1 + C_4, \quad 0 \leq x_1 \leq l_1;$$

$$y_2(x_2) = -\frac{B_2 \cdot \sin(k_2 \cdot x_2)}{k_2^2} - \frac{B_1 \cdot \cos(k_2 \cdot x_2)}{k_2^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{q_2 \cdot \sin(\alpha) \cdot x_2^2}{P_1} + B_3 \cdot x_2 + B_4, \quad l_1 \leq x_2 \leq l_1 + l_2.$$

НДС двоопорної КНБК (рис. 2) описується рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} EI_1 \cdot \frac{d^4 y_1}{dx^4} + P \cdot \frac{d^2 y_1}{dx^2} &= -q_1 \cdot \sin(\alpha) \\ EI_2 \cdot \frac{d^4 y_2}{dx^4} + P_1 \cdot \frac{d^2 y_2}{dx^2} &= -q_2 \cdot \sin(\alpha) \\ EI_3 \cdot \frac{d^4 y_3}{dx^4} + P_2 \cdot \frac{d^2 y_3}{dx^2} &= -q_3 \cdot \sin(\alpha) \end{aligned} \right\} (7)$$

де $P_2 = P - (q_1 \cdot l_1 + q_2 \cdot l_2) \cdot \sin(\alpha)$ – осьова стискаюча сила на третій ділянці КНБК;

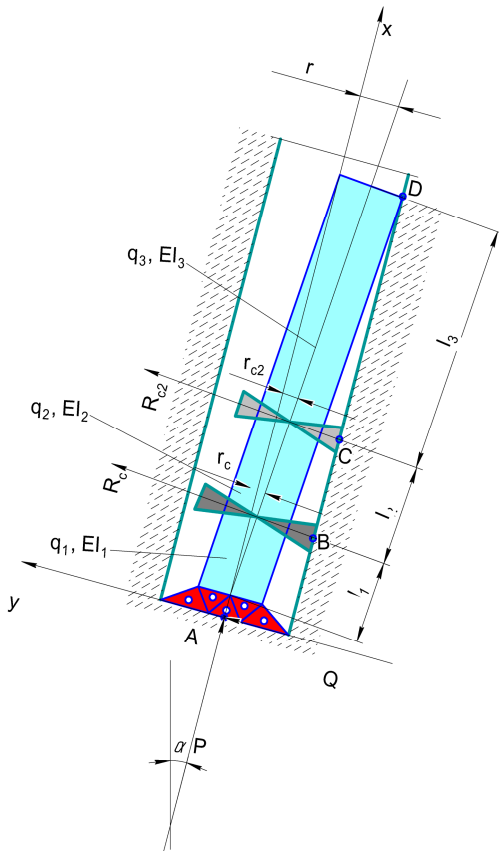


Рисунок 2 – Розрахункова схема взаємодії двоопорної КНБК з стінками свердловини

Розв'язки (7) повинні задовольняти таким граничним умовам:

$$\begin{aligned} y_1(0) &= 0, \quad y_1''(0) = 0, \\ y_1(l_1) &= r_c, \quad y_2(0) = r_c, \\ y_1'(l_1) &= y_2'(0), \quad y_1''(l_1) = y_2''(0), \\ y_2'''(0) + y_1'''(l_1) &= R_c, \\ y_2(l_2) &= r_{2c}, \quad y_3(0) = r_{2c}, \\ y_2'(l_2) &= y_3'(0), \quad y_2''(l_2) = y_3''(0), \\ y_3'''(0) + y_2'''(l_2) &= R_{2c}, \\ y_3(l_3) &= r, \quad y_3'(l_3) = 0, \quad y_3''(l_3) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

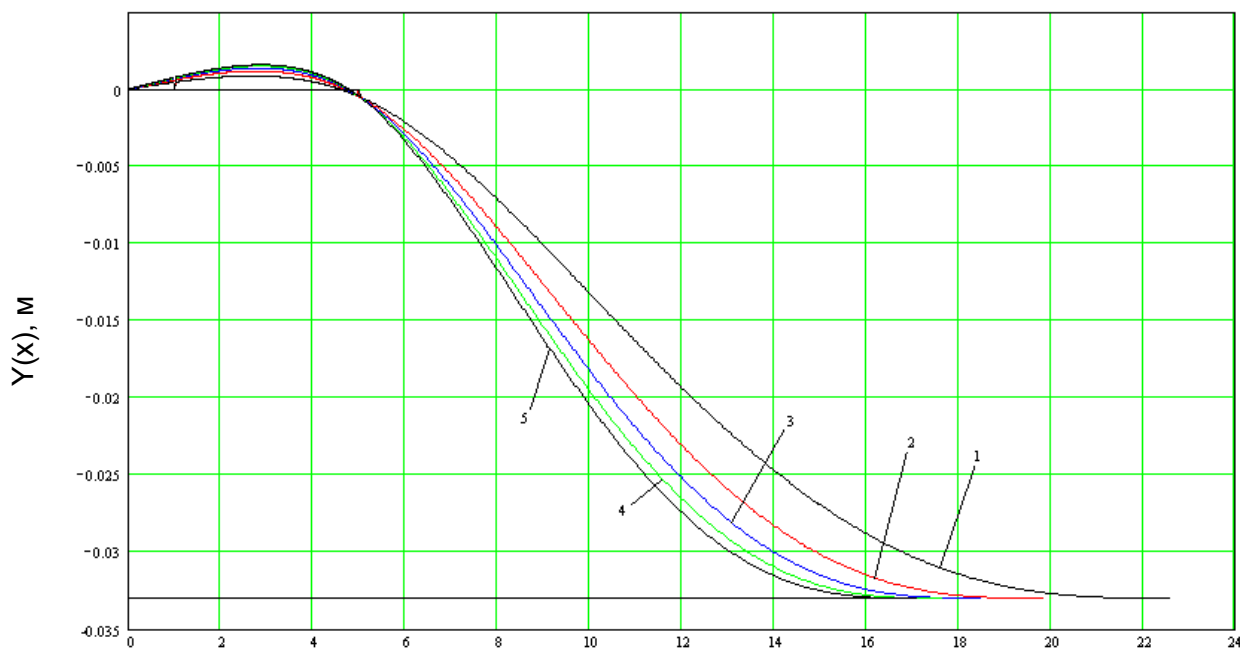
r_c, r_{2c} – радіальний проміжок між центрами і стінкою свердловини.

r – радіальний проміжок між ОБТ і стінкою

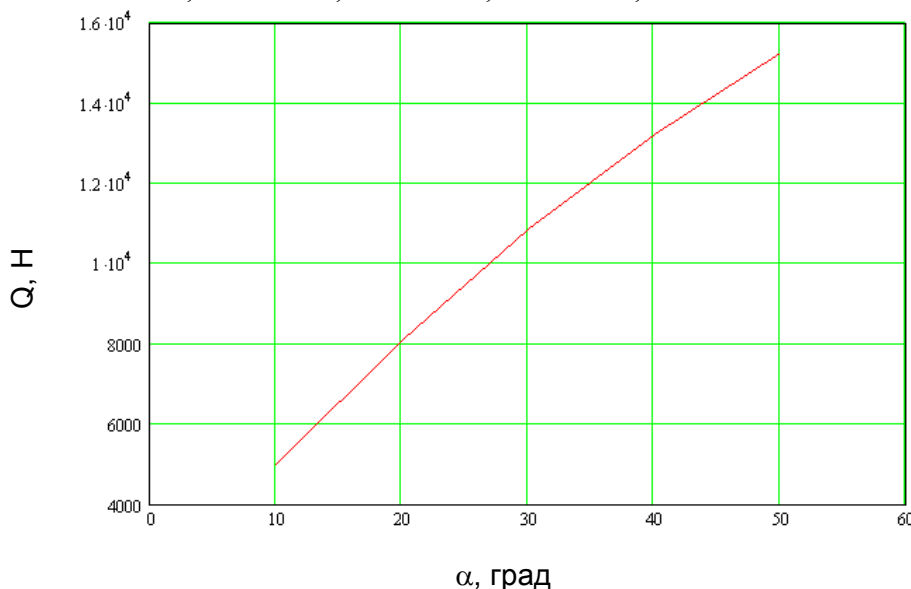
свердловини на віддалі $\sum_{i=1}^3 l_i$.

При розв'язуванні рівняння (7) з урахуванням граничних умов (8) отримуємо систему (9).

$$\left. \begin{aligned} -\frac{C_1}{k_1^2} + C_4 &= 0 & C_1 - \frac{q_1 \cdot A_p}{l_1} &= 0 \\ -C_2 \cdot A_s - C_1 \cdot A_c - \frac{q_1 \cdot l_1}{2} \cdot A_p + C_3 \cdot l_1 + C &= r_{1c} \\ -\frac{B_1}{k_2^2} + B_4 &= r_{1c} \\ -C_2 \cdot A_c \cdot k_1 - C_1 \cdot A_s \cdot k_1 - q_1 \cdot A_p + C_3 &= \frac{-B_2}{k_2} \\ \left[C_2 \cdot A_s \cdot k_1^2 + C_1 \cdot A_c \cdot k_1^2 - \frac{q_1 \cdot A_p}{l_1} \right] \cdot EI_1 &= \left[B_1 - \frac{q_2 \cdot Z_p}{l_2} \right] \cdot EI_2 \\ [B_2 \cdot k_2] \cdot EI_2 + \left[C_2 \cdot k_1^3 \cdot A_c - C_1 \cdot k_1^3 \cdot A_s \right] \cdot EI &= R_{1c} \\ -B_2 \cdot Z_s - B_1 \cdot Z_c - \frac{q_2 \cdot l_2}{2} \cdot Z_p + B_3 \cdot l_2 + B_4 &= r_{2c} \\ -\frac{D_1}{k_3^2} + D_4 &= r_{2c} \\ -B_2 \cdot Z_c - B_1 \cdot Z_s - q_2 \cdot Z_p + B_3 &= \frac{-D_2}{k_3} \\ \left[B_2 \cdot Z_s \cdot k_2^2 + B_1 \cdot Z_c \cdot k_2^2 - \frac{q_2 \cdot Z_p}{l_2} \right] \cdot EI_2 &= \left[D_1 - \frac{q_3 \cdot F_p}{l_3} \right] \cdot EI_3 \\ [D_2 \cdot k_3] \cdot EI_3 + \left[B_2 \cdot k_2^3 \cdot Z_c - B_1 \cdot k_2^3 \cdot Z_s \right] \cdot EI_2 &= R_{2c} \\ -D_2 \cdot F_s - D_1 \cdot F_c - \frac{q_3 \cdot l_3}{2} \cdot F_p + D_3 \cdot l_3 + D_4 &= r \\ -D_2 \cdot F_c \cdot k_3 - D_1 \cdot F_s \cdot k_3 - q_3 \cdot F_p + D_3 &= 0 \\ B_2 \cdot F_s \cdot k_3^2 + B_1 \cdot F_c \cdot k_3^2 - \frac{q_3 \cdot F_p}{l_3} &= 0 \end{aligned} \right\} (9)$$



1 – $\alpha=10^\circ$, 2 – $\alpha=20^\circ$, 3 – $\alpha=30^\circ$, 4 – $\alpha=40^\circ$, 5 – $\alpha=50^\circ$



де $k_3 = \sqrt{\frac{P_2}{EI_3}}$, $F_s = \frac{\sin(k_3 \cdot l_3)}{k_3^2}$,
 $F_c = \frac{\cos(k_3 \cdot l_3)}{k_3^2}$, $F_p = \frac{\sin(\alpha) \cdot l_3}{P_2}$ –

коефіцієнти, які залежать від осьової сили на долоті та жорсткості на згин елементів КНБК;

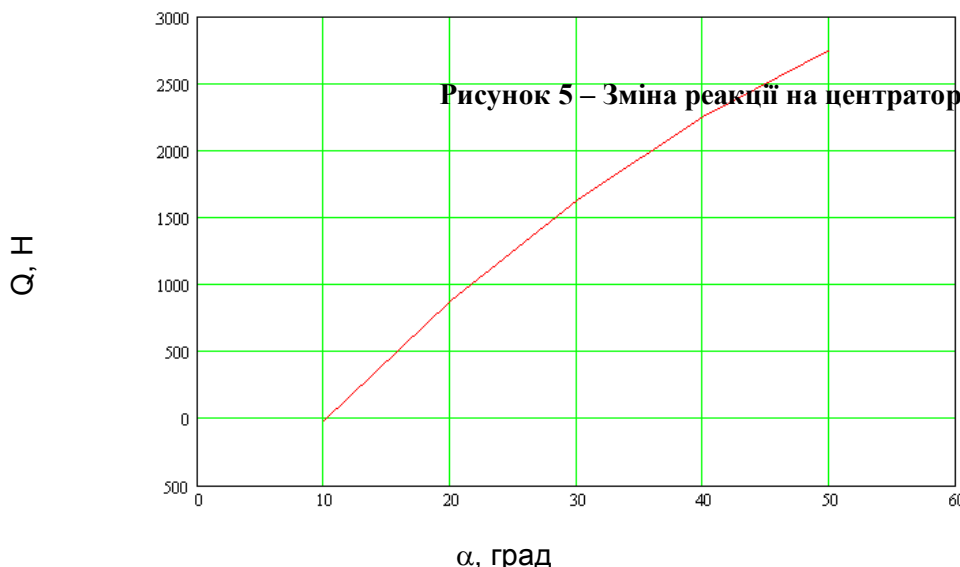
D_i – сталі інтегрування;

l_3 – відстань від центратора до точки контакту КНБК зі стінкою свердловини.

Аналогічно, як і в попередньому випадку для знаходження відхиляючої сили на долоті використаємо рівняння статки $\sum M_B = 0$.

$$Q \cdot \sum_{i=1}^3 l_i + R_{1c} \cdot (l_2 + l_3) + R_{2c} \cdot l_2 + P \cdot r - \left(q_1 \cdot l_1 \cdot \left(\frac{l_1^2}{2} + l_2 + l_3 \right) + q_2 \cdot l_2 \cdot \left(\frac{l_2^2}{2} + l_3 \right) + q_3 \cdot \frac{l_3^2}{2} \right) \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (10)$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримуємо функції прогину ділянок осі КНБК (11), відстань до точки контакту КНБК зі стінкою свердловини та відхиляюче зусилля на долоті.



$$y_1(x_1) = -\frac{C_2 \cdot \sin(k_1 \cdot x_1)}{k_1^2} - \frac{C_1 \cdot \cos(k_1 \cdot x_1)}{k_1^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{q_1 \cdot \sin(\alpha) \cdot x_1^2}{P} + C_3 \cdot x_1 + C_4 \quad (0 \leq x_1 \leq l_1);$$

$$y_2(x_2) = -\frac{B_2 \cdot \sin(k_2 \cdot x_2)}{k_2^2} - \frac{B_1 \cdot \cos(k_2 \cdot x_2)}{k_2^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{q_2 \cdot \sin(\alpha) \cdot x_2^2}{P_1} + B_3 \cdot x_2 + B_4 \quad (l_1 \leq x_2 \leq l_1 + l_2); \quad (11)$$

$$y_3(x_3) = -\frac{D_2 \cdot \sin(k_3 \cdot x_3)}{k_3^2} - \frac{D_1 \cdot \cos(k_3 \cdot x_3)}{k_3^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{q_3 \cdot \sin(\alpha) \cdot x_3^2}{P_2} + D_3 \cdot x_3 + D_4 \quad (l_1 + l_2 \leq x_3 \leq l_1 + l_2 + l_3).$$

Для прикладу проведемо розрахунок компоновки, що складається з ОБТ-229 вагою погонного метра $q_1=2,682$ кН і жорсткістю на згин $EI_1=27,658$ МНм², радіальним проміжком в верхній точці її догику із стовбуром свердловини $r=0,033$ м, а на центраторі з проміжком $r_u=5 \cdot 10^{-4}$ м. Осьове навантаження на долото становить $P=100$ кН за кута нахилу осі свердловини $10-50^\circ$.

На основі отриманих результатів побудовано графічні залежності зміни пружної осі КНБК відносно осі свердловини (рис. 3), відхиляючого зусилля на долоті (рис. 4) та реакції на центраторі (рис. 5) від зенітного кута.

Як видно з графічних залежностей, зі зростанням зенітного кута відстань від долота до точки контакту КНБК зі стінкою свердловини зменшується, а відхиляюча сила на долоті і реакція на центраторі зростають. Отримані результати не суперечать результатам що отримані за іншими методиками і свідчать про пра-

вильність розробленого підходу. Підхід дає можливість проводити оцінку НДС КНБК. Всі аналітичні перетворення та розрахунки можна проводити на ЕОМ з використанням математичного пакету Maple або MathCad, що забезпечує високу точність. Тому даний метод можна використовувати для вибору КНБК, як на етапі проектування, так і безпосередньо в процесі буріння з метою забезпечення проектного профілю свердловини.

Література

- 1 Вудс Г., Лубинский А. Искривление скважин при бурении. / Пер. с англ. – М.: Гос-топтехиздат, 1960. – 161 с.
- 2 Работа бурильной колонны в скважине / Султанов Б.З., Ишемгузин Е.И., Шаммасов М.Х., Сорокин В.Н. – М.: Недра. 1973. – 217 с.
- 3 Сесюнин Н. А. Об изгибе весомого стержня в наклонной цилиндрической полости // Изв. ВУЗов „Нефть и газ”. – 1983. – № 9. – С. 22–25.
- 4 Методика расчета интенсивности искривления ствола наклонной скважины / М.П.Гулизаде, Л.Я.Кауфман, Л.Я.Сушон. – Тюмень: Типография ГипроТюменнефтегаза, 1975. – 60 с.
- 5 Григулецкий В. Г. Расчет компоновок бурильной колонны для борьбы с искривлением скважин при роторном и турбинном бурении // Обз. инф. ВНИИОЭНГ; сер. Бурение скважин, вып.11. – М., 1983. – 56 с.
- 6 Беляев В. М. Компоновки нижней части бурильной колонны // ТНТО ВНИИОЭНГ; сер. Бурение. – М., 1972. – 140 с.
- 7 Булатов А. И., Аветисян А. Г. Справочник инженера по бурению: В 4-х кн. – М.: Недра, 1993. – Кн. 1. – 320 с.
- 8 Юрич А.Р. Математичне моделювання положення безопорних компоновок низу бурильної колони (КНБК) в похило-скерованому стовбурі свердловини // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ – 2008. – №1(26). – С. 40-43.