

УДК 622.243.272

## Підвищення технологічних можливостей неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для буріння в ускладнених умовах

Чудик І. І., Пітулей Л. Д., Підберезький І. В., Буй Ю. В., Коваль М. В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

Поступила в редакцію 01.03.11, принята к печати 18.03.11

### Анотація

Для забезпечення параметрів проектного профілю під час буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин в умовах нестійких або абразивних гірських порід запропоновано конструкцію спеціального центратора та математичну модель неорієнтованих компоновок низу бурильної колони на базі його використання. На основі аналітичних досліджень встановлено, що дане технологічне рішення дозволить зменшити каверно- і жолобоутворення, зменшити знос центраторів компоновок і забезпечити необхідну траєкторію буріння.

Ключові слова: центратор, математична модель, траєкторія буріння.

Буріння скерованих свердловин в Україні на сьогодні має особливу актуальність. Це пов'язано з освоєнням газових покладів вугільних і сланцевих пластів та розробкою родовищ вуглеводнів у акваторіях Чорного і Азовського морів. Буріння таких свердловин тісно пов'язане із використанням неорієнтованих компоновок низу бурильної колони (КНБК), [1, 3 та ін.]. Для їх проектування розроблено і використовується багато математичних моделей, методів розрахунку та проведено низку аналітичних й експериментальних досліджень, [1-6 і ін.]. Незважаючи на їх різноплановість, питання вдосконалення неорієнтованих КНБК для умов буріння скерованих свердловин у нестійких або абразивних гірських породах (ГП) є актуальним.

На рис. 1 зображена класична розрахункова схема неорієнтованої КНБК у стовбурі свердловини, в якій контактування ОЦЕ з ГП відбувається по всій площі поверхні контактної частини (вздовж лопаті ОЦЕ), а моделюється як точка. Проте така взаємодія опори зі стінкою свердловини може бути тільки у тому випадку, коли кут повороту осі КНБК по відношенню до осі свердловини справа і зліва від неї буде однаковий, як за величиною так і за знаком, що є можливим лише в окремих випадках.

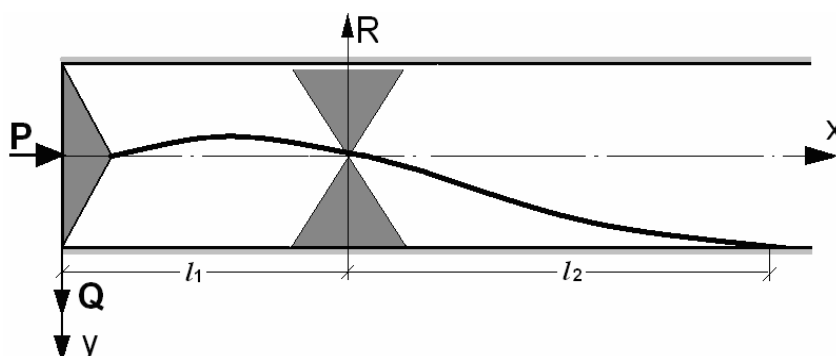


Рис. 1. Класична розрахункова схема неорієнтованої КНБК

Проте з практики буріння свердловин із застосуванням неорієнтованих КНБК відомими є моменти, які доводять, що запропонований у математичній моделі характер контактування ОЦЕ зі стінкою свердловини не відповідає дійсності. На це, в першу чергу, вказує візуальний знос

відпрацьованих ОЦЕ, як результат взаємодії опори з ГП. На практиці знос ОЦЕ у переважній більшості випадків є двосторонній, що надає опорі бочкоподібної форми. Це може бути при умові защемлення (контактування діагонально протилежних крайок робочої частини ОЦЕ з верхньою і нижньою стінками свердловини) ОЦЕ в свердловині, рис. 2. У випадку защемлення ОЦЕ відбувається наступне:

- відсікання впливу вищерозташованої від опори частини компоновки на  $Q$ ;
- погіршення передачі осьового навантаження на долото  $P$  і перміщення КНБК у свердловині, рис. 2, а);
- інтенсивне руйнування поверхонь тертя ОЦЕ і ГП, рис. 2, б).

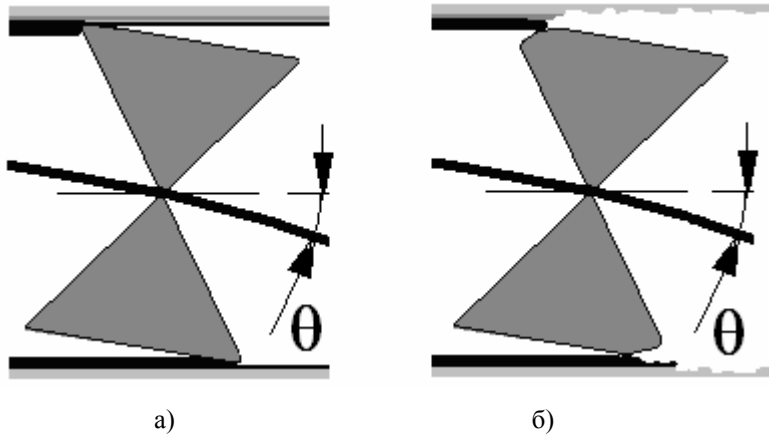


Рис. 2. Можливі варіанти защемлення ОЦЕ в стовбурі свердловини

Така взаємодія ОЦЕ із стінками свердловини є можливою при умові використання їх повнорозмірних конструкцій, або при певному куті повороту по відношенню до осі свердловини, рис. 2. Якщо врахувати це в математичній моделі, то розрахункова схема КНБК набуває наступного вигляду, рис. 3.

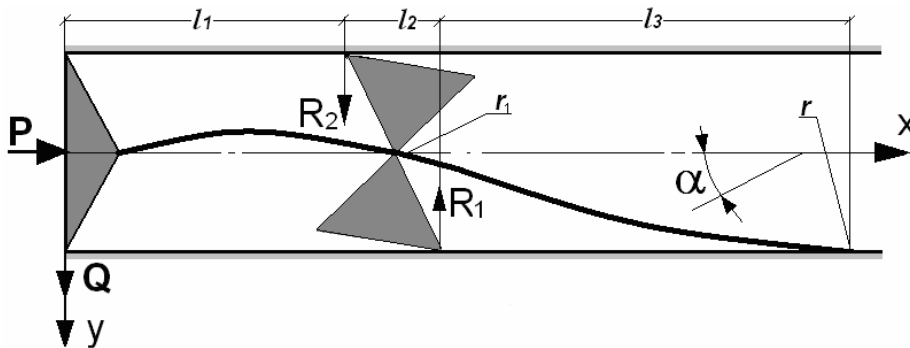


Рис. 3. Розрахункова схема неорієнтованої КНБК із защемленим ОЦЕ в стовбурі свердловини

Для реалізації математичної моделі неорієнтованої КНБК із защемленим ОЦЕ в прямолинійному стовбурі свердловини пропонується метод диференціальних рівнянь. Пружна вісь КНБК на ділянці між долотом і ОЦЕ описується диференціальним рівнянням, [1, 2 і ін.]:

$$EI_1 y_1''(x_1) = -P y_1(x_1) + Q x_1 + q_1 x_1^2 \sin(\alpha) / 2, \quad (1)$$

де  $EI_1$ ,  $q_1$  - жорсткість на згин і вага погонного метра елемента неорієнтованої КНБК;

$P$ ,  $Q$  - осьове навантаження і відхиляюче зусилля на долоті;

$\alpha$  - zenітний кут свердловини.

Після інтегрування рівняння (1), отримуємо:

- функцію зміни прогинів осі КНБК з її довжиною:

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

- функцію зміни кутів повороту осі КНБК з її довжиною:

$$y_1'(x_1) = k_1 [A_1 \cos(k_1 x_1) - A_2 \sin(k_1 x_1) + [Q + q_1 x_1 \sin(\alpha)] / P k_1], \quad (3)$$

- функцію зміни згинаючого моменту по довжині КНБК з її довжиною:

$$M_1(x_1) = k_1^2 EI_1 [-A_1 \sin(k_1 x_1) - A_2 \cos(k_1 x_1) + (q_1 / P k_1^2) \sin(\alpha)], \quad (4)$$

де  $A_i$  – невідомі сталі інтегрування;

$k_i$  – коефіцієнти жорсткості КНБК на згин [1]:

$$k_i = \sqrt{\left( P - \sum_{i=1}^n q_i l_i \cos(\alpha) \right) / EI_i} \quad (5)$$

Для ділянки КНБК, довжиною  $l_2$ , яка відповідає ОЦЕ, згідно рис. 2, характерним буде наступне диференційне рівняння:

$$EI_2 y_2''(x_2) = -[P - q_1 l_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) + Q(l_1 + x_2) - R_2 x_2 + \left( (q_1 l_1^2 / 2) + q_1 l_1 x_2 + (q_2 x_2^2 / 2) \right) \sin(\alpha) \quad (6)$$

У результаті його інтегрування отримуємо:

$$y_2(x) = B_1 \sin(k_2 x_2) + B_2 \cos(k_2 x_2) + (Q(x_2 + l_1) - R_2 x_2) / (P - q_1 l_1 \cos(\alpha)) + \left[ (q_2 x_2^2 / 2) + (q_1 l_1^2 / 2) + q_1 l_1 x_2 - (q_2 / k_2^2) \right] \sin(\alpha) / (P - q_1 l_1 \cos(\alpha)) \quad (7)$$

$$y_2'(x_2) = k_2 [B_1 \cos(k_2 x_2) - B_2 \sin(k_2 x_2)] + (Q - R_2 + (q_1 l_1 + q_2 x_2) \sin(\alpha)) / (P - q_1 l_1 \cos(\alpha)), \quad (8)$$

$$M_2(x_2) = k_2^2 EI_2 [-B_1 \sin(k_2 x_2) - B_2 \cos(k_2 x_2) + q_2 \sin(\alpha) / (P - q_1 l_1 \cos(\alpha)) k_2^2], \quad (9)$$

де  $B_i$  – сталі інтегрування.

Для ділянки КНБК вище ОЦЕ характерними є наступне диференційне рівняння:

$$EI_3 d^2 y_3 / dx_3^2 = - \left[ P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_3(x_3) + Q \left( \sum_{i=1}^2 l_i + x_3 \right) - R_2 (x_3 + l_2) - R_1 x_3 + \left( \sum_{i=1}^2 (q_i l_i^2 / 2) + x_3 \sum_{i=1}^2 q_i l_i + q_1 l_1 l_2 + q_3 x_3^2 / 2 \right) \sin(\alpha) \quad (10)$$

У результаті його інтегрування отримуємо:

$$y_3(x) = C_1 \sin(k_3 x_3) + C_2 \cos(k_3 x_3) + \left( Q(x_3 + \sum_{i=1}^2 l_i) - R_2 (x_3 + l_2) - R_1 x_3 \right) / \left( P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right) + \left( \frac{q_3 x_3^2}{2} + \sum_{i=1}^2 \frac{q_i l_i^2}{2} + x_3 \sum_{i=1}^2 l_i + q_1 l_1 l_2 - \frac{q_3}{k_3^2} \right) \sin(\alpha) / \left( P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right) \quad (11)$$

$$y_3'(x_3) = k_3 [C_1 \cos(k_3 x_3) - C_2 \sin(k_3 x_3)] + \left[ Q - R_1 - R_2 + \left[ \sum_{i=1}^2 q_i l_i + q_3 x_3 \right] \sin(\alpha) \right] / \left[ P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right], \quad (12)$$

$$M_3(x_3) = k_3^2 EI_3 \left[ -C_1 \sin(k_3 x_3) - C_2 \cos(k_3 x_3) + \left[ q_3 \sin(\alpha) k_3^{-2} \right] / \left[ P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right] \right], \quad (13)$$

де  $C_i$  – сталі інтегрування.

Для розрахункової схеми КНБК, зображеної на рис. 3, характерними будуть наступні граничні умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0 \Rightarrow y_1(0) = 0 \\ x_1 = l_1 \\ x_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow y_1(l_1) = -r_1; y_2(0) = -r_1; y_1'(l_1) = y_2'(0) \quad , \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = l_2 \\ x_3 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow y_2(l_2) = r_1; y_3(0) = r_1; y_2'(l_2) = y_3'(0)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_3 = l_3 \Rightarrow y_3(l_3) = r; y_3'(l_3) = 0; M_3(l_3) = 0 \end{array} \right.$$

де  $r_1$  – радіальний зазор між ОЦЕ і стінками свердловини:

$$r_1 = (D_D - D_{ОЦЕ})/2, \quad (15)$$

де  $D_D, D_{ОЦЕ}$  – діаметри долота і ОЦЕ;

$r$  – радіальний зазор між елементом КНБК і стінкою свердловини в верхній точці їх контактування:

$$r = (D_D - D_{ОБТ})/2, \quad (16)$$

де  $D_{ОБТ}$  – діаметр долота і ОБТ (зовнішній).

З використанням наведених граничних умов складається система рівнянь, шляхом розв’язку якої обчислюються невідомі величини  $A_i, B_i, C_i, Q, R_i$ , і  $l_3$ .

Для визначення змін у показниках роботи неорієнтованої КНБК при умові защемлення ОЦЕ проведено аналітичні дослідження для КНБК такої конструкції: долото  $\varnothing 215,9$  мм; вибійний двигун ДГ172 з пересувними ОЦЕ на корпусі;  $\alpha = 60^\circ$ . У результаті досліджень було отримано низку графічних залежностей, (рис. 4–6).

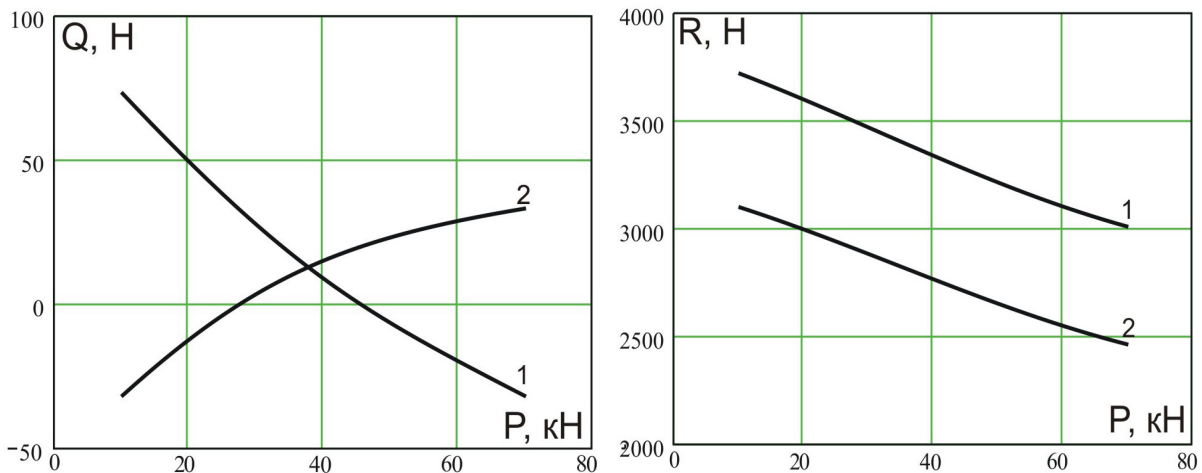


Рис. 4. Зменшення відхиляючого зусилля на долоті й реакції на ОЦЕ від осьового навантаження  $P$  ( $D_{ОЦЕ}=214$  мм):

- 1 – враховується защемлення ОЦЕ у стовбурі свердловини;
- 2 – защемлення ОЦЕ у стовбурі свердловини не враховано.

Встановлено, що защемлення ОЦЕ в стовбурі свердловини, незалежно від осьового навантаження на долоті й діаметра опори (у даному випадку 214 і 215,9 мм), стає причиною суттєвої зміни відхиляючого зусилля на долоті  $Q$  більше 30% (із її зменшенням і збільшенням) та збільшення реакції  $R$  – до 15%, рис. 4 – рис. 6.

Різниця в показниках Q і R яскраво доводить необхідність уточнення математичної моделі розрахунку неорієнтованих КНБК із врахуванням взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини по краях їх робочої поверхні, виділення моменту защемлення опори і його запобігання.

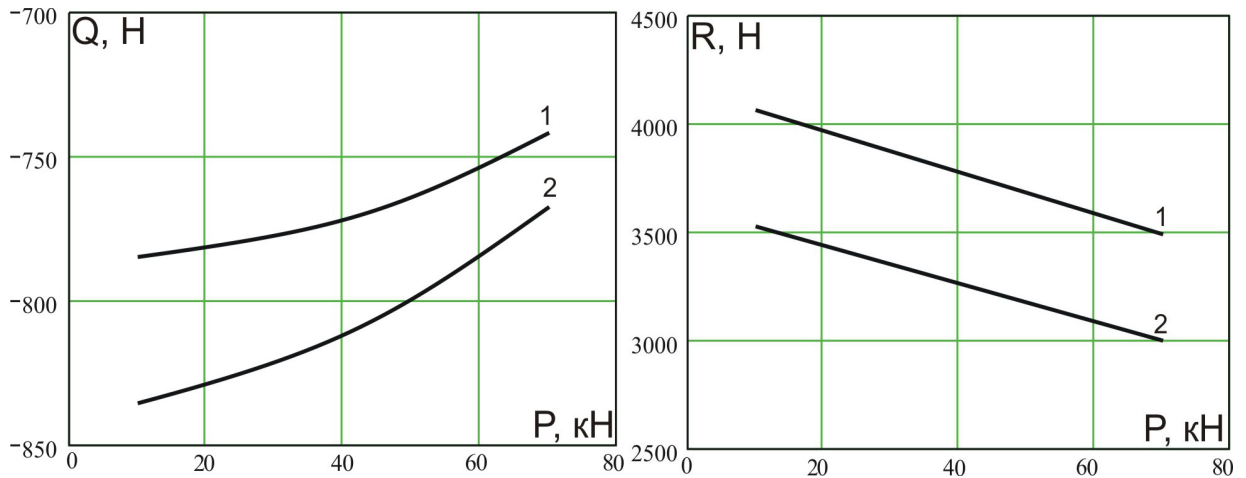


Рис. 5. Зменшення відхиляючого зусилля на долоті й реакції на ОЦЕ від осевого навантаження P ( $D_{\text{ОЦЕ}}=215,9$  мм)

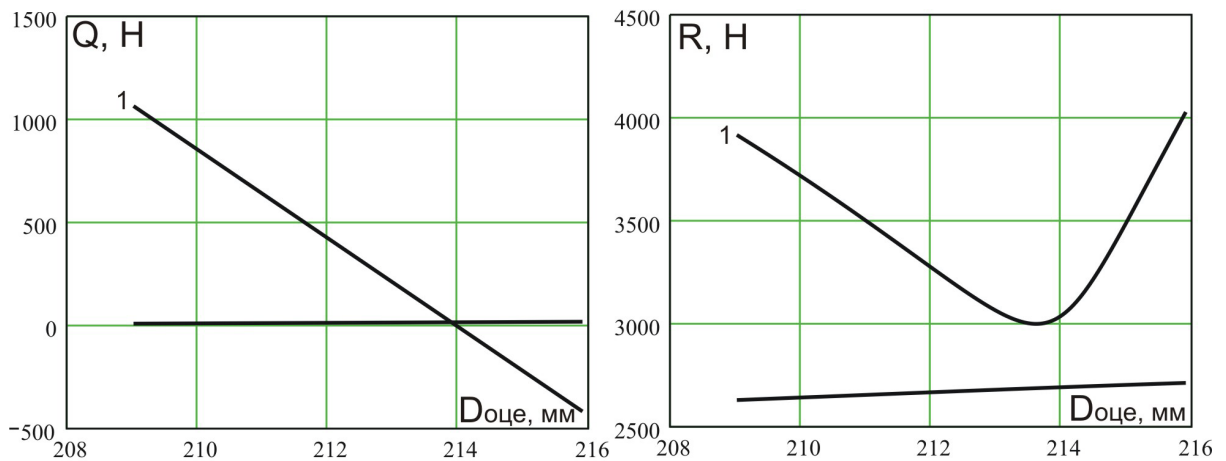


Рис. 6. Зменшення відхиляючого зусилля на долоті й реакції на ОЦЕ від діаметра ОЦЕ ( $L_{\text{ОЦЕ}}=1,3$  м;  $P=50$  кН)

Виходячи із отриманих результатів досліджень, впливає, що для підвищення ефективності роботи неорієнтованих КНБК є необхідним:

- врахування умов контактування ОЦЕ зі стінками свердловини;
- вдосконалення конструктивних параметрів ОЦЕ.

Перша умова реалізується в аналітичній моделі компоновки, а друга – розробкою ОЦЕ, конструкція якого обмежує його защемлення в свердловині й додатково відповідає таким вимогам:

- забезпечує оперативну заміну в КНБК силами бурових бригад безпосередньо на буровій без застосування спеціального обладнання;
- володіє високою зносостійкістю в ГП з різними фізико-механічними властивостями;
- мінімально впливає на ерозійне руйнування стінки свердловини;
- не створює бар'єру для затримання шламу в КП свердловини;
- є легкозмінною і швидкою в монтажі на ВД;
- має багаторазове використання.

Такими характеристиками володіє шарнірний пересувний ОЦЕ [7].

В основу його розробки поставлена задача підвищення якості центрування КНБК у свердловині шляхом надання центруючій муфті можливості нахилу в бік осі бурильної колони, що сприяє формуванню стовбура свердловини високої якості.

На рис. 7 показано принципову схему розробленого ОЦЕ в робочому положенні та його ступінчатий розріз А–А. Центратор складається з цанги 1, на циліндричній поверхні якої виготовлена різьба. Її конічна поверхня має повздовжні розрізи. Цанга 1 з'єднує пристрій з бурильною колоною 2 завдяки їх фрикційній взаємодії. Внутрішня поверхня кульового корпусу 3 має циліндричну ділянку, на якій виготовлена різьба і конусна поверхня. Муфта 4 має циліндричну форму з лопатями, в середині якої виконана кульова поверхня. Повздовжне переміщення муфти 4 відносно корпусу 3 обмежується фіксатором 5. Він кріпиться в муфті 4 за допомогою різьбового з'єднання. Циліндричні вставки 6, що знаходяться в повздовжніх пазах 7 корпусу 3, не дозволяють муфті 4 прокручуватися відносно нього. У проточках кульового корпусу 3 розташовані кільцеві синусоїдальні пружини 8, які контактують із внутрішніми поверхнями муфти 4 і фіксатора 5.

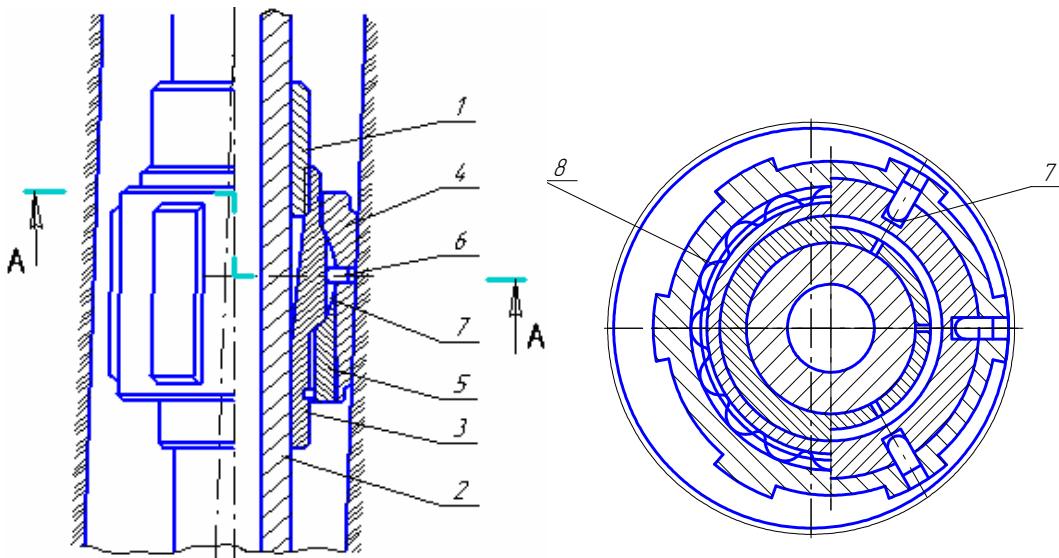


Рис. 7. Принципова схема конструкції пересувного шарнірного ОЦЕ

Розроблений ОЦЕ працює наступним чином. Перед спуском у свердловину він встановлюється на бурильній колоні в розрахунковому місці. Для цього його корпус згвинчується з цангою 1. Внутрішній її діаметр зменшується і за рахунок фрикційної взаємодії з бурильною колоною 2, закріплюють на ній ОЦЕ. Після спуску КНБК на вибій свердловини, створюється осьове навантаження на долото, і бурильна колона займає у свердловині неспіввісне положення. Однак муфта 4, маючи можливість обертатися відносно центра кульової поверхні корпусу 3, буде контактувати із стінкою свердловини на всій своїй опорній поверхні, і таким чином, займає співвісне положення з свердловиною. При обертанні бурильної колони муфта буде обертатися разом із нею, в той же час контактуючи всією поверхнею із стінкою свердловини. Після припинення буріння КНБК разом із бурильною колоною піднімається на поверхню і, при необхідності, пристрій знімається шляхом роз'єднання цанги 1 і кульового корпусу 3. У такому конструктивному виконанні пристрою підвищуються його опорно-центрувальні можливості, що, в свою чергу, покращує умови центрації КНБК. Це сприяє формуванню стовбура свердловини високої якості, попереджає виникненню ускладнень у процесі буріння, спуску обсадних колон і забезпечення параметрів проектного профілю.

### Библиографический список

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

2. Беляев В. Расчет компоновки нижней части буровой колонны [Текст] / В. М. Беляев, А. Г. Калинин, К. М. Солодкий, А. Ф. Федоров. – М.: Недра, 1977. – 189 с.
3. Григулецкий В. Проектирование компоновок нижней части буровой колонны [Текст] / В. Г. Григулецкий, В. Т. Лукьянов. – М.: Недра, 1990. – 304 с.
4. Сушон Т. Управление искривлением наклонном скважин в Западной Сибири [Текст] / Л. Я. Сушон, Г. М. Зельматович, Р. Т. Малагалиев. – М.: Недра, 1988 – 124 с.
5. Гречин Е. Г. Разработка и исследование методов проектирования и работы неориентируемых компоновок низа буровой колонны: автореф. дис. на соиск. д-ра наук. спец. 25.00.15. “Технология бурения и освоения скважин”./ Е. Г. Гречин; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2009. – 47 с.
6. Повалихин А. С. Управление проводкой наклонных и горизонтальных скважин в сложных горно-геологических условиях бурения: автореферат дис. на соиск. уч. ст. доктора технических наук. спец. 25.00.14. “Технология и техника геологоразведочных работ” / А. С. Повалихин Российский государственный геологоразведочный университет. – Москва, 2006. – 42 с.
7. Пат. України 50920, МПК E21 B109/26. Опорно-центруючий пристрій [Текст] / Крижанівський Є. І., Воєвідко І. В., Шандровський Т. Р., Чудик І. І., заявники і патентовласник Івано-Франківський нац. техн. ун-тет нафти і газу. - № 2001053042; заявл. 04.05.2001; опубл. 15.11.2002. Бюл: № 11. – 4 с.: іл.

© Чудик І. І., Пітулей Л. Д., Підберезький І. В., Буй Ю. В., Коваль М. В., 2011.

#### **Аннотация**

Для обеспечения параметров проектного профиля во время бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин в условиях неустойчивых или абразивных горных пород предложено конструкцию специального центратора и математическую модель неориентированных компоновок низа буровой колонны на базе его использования. На основе аналитических исследований установлено, что данное технологическое решение разрешит уменьшить каверно- и жолобообразование, уменьшить износ центраторов компоновок и обеспечить необходимую траекторию бурения.

Ключевые слова: центратор, математическая модель, траектория бурения.

#### **Abstract**

To ensure design profile parameters during drilling controlled directional and horizontal wells in condition of unsteady or abrasive rock construction of special centralizer have been offered. It also have been offered the mathematic model of nonoriented bottom drilling string assemblies on its base. In base of analytical research have been specified that this technological solution allows to reduce cavernosity, coulisses and wearing of centralizer for providing required drilling direction.

Keywords: centralizer, mathematic model, drilling direction.