

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ СИЛ ПРИТИСКАННЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ДО СТІНОК СВЕРДЛОВИНИ ДОВІЛЬНОЇ КРИВИЗНИ

І.І. Чудик

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 717967  
e-mail: chudoman@ukr.net

*Наведено методику розрахунку сил притискання бурильної колони до стінок свердловини, що дає змогу враховувати під час розрахунку втрату осевої сили на тертя, викривлення стовбура свердловини та контактування з ним бурильної колони по тілу труб.*

Ключові слова: бурильний замок, бурильна колона, сили притискання

*Приведена методика расчета сил прижатия бурильной колонны к стенкам буровой скважины, которая позволяет учитывать при расчете потерю осевой силы на трение, искривление ствола скважины и контактирование с ней бурильной колонны по телу труб.*

Ключевые слова: бурильный замок, бурильная колонна, силы прижатия

*In this article a new method of calculating drilling column pressing power to a wellbore wall has been given. It permits to undertake lose during the calculations of zenithal friction force during and the drilling string contact with the wellbore bend and the drilling contact with the wellbore wall.*

Keywords: the curvate of the drilling pipe, the low part of drill column, the deflecting force on the chisel

На сьогодні річне споживання світової енергії становить близько 11 млрд. тон умовного палива в нафтовому еквіваленті, що перевищило об'єм її використання за весь період розвитку людства. При цьому домінуючими джерелами енергії стали нафта і газ, в силу того, що більшість промислових технологій на сьогодні спроектовано під них.

Україна входить до перелік у найбільш енерговитратних держав світу через використання практично у всіх галузях промисловості та народного господарства морально застарілого і енергоємного обладнання. Така загальнодержавна проблема обумовлює потребу в модернізації промислової техніки та технологій і розробку альтернативних джерел енергії, таких як природний газ вугільних і сланцевих покладів. При їх розробці в світі ефективно використовуються похило-скеровані (ПСС) і горизонтальні свердловини (ГС), буріння яких значною мірою залежить від наявного бурового обладнання та інструменту.

Бурильна колона (БК) є одним з елементів бурового інструменту, що входить до ланки передачі енергії від бурової установки до долота при роторному способі буріння. Аналітичними та експериментальними дослідженнями [1-5] встановлено, що під час експлуатації БК під дією сил розтягу і стискання, крутного і згинного моментів, гідравлічного навантаження бурового розчину (БР), коливання відбувається деформація колони труб. Саме вона обумовлює зростання сил тертя між БК і стінкою свердловини.

Існуючі дослідження за даним напрямком [1, 3, 5, 6 і ін.] описують взаємодію однорозмірної моделі БК зі стінками прямолінійного стовбура свердловини. В розрахунках за даними методами простежується багато спрощень на предмет взаємодії БК зі стінками свердловини, і не враховуються сили тертя та їх вплив на осьове навантаження на долото. На основі вищенаведеного встановлено, що метою дослідження в даному напрямі є розроблення методу для розрахунку сил притискання БК до стінок свердловини довільної кривизни з врахуванням в математичній моделі тертя замків бурильної колони до стінки та його впливу на деформацію пружної осі трубної системи.

У процесі буріння ПСС і ГС великий вплив на роботу БК мають сили гравітації, тертя, адгезійного прилипання і деформації згину від викривлення стовбура свердловини. Саме для врахування даних чинників і визначення їх впливу на сили тертя від притискання БК до стінок ПСС і ГС запропоновано вдосконалену математичну модель [5, 6] (рис. 1). Окрім того вважається, що:

- згин БК відбувається у апсидальній площині;
- відцентрові сили відсутні;
- в контакт з стінкою свердловини знаходяться бурильні замки (БЗ) і тіло труб;
- стінка свердловини при контакт з БЗ не зазнає фрезування.

Згідно з наведеною схемою (рис. 1), характерними будуть диференційні рівняння, де для ділянки  $OO_1 - n = 1$ ; для  $O_1O_2 - n = 2$ ; для  $O_2O_3 - n = 3$ ; для  $O_3O_4 - n = 4$ ; для  $O_4O_5 - n = 5$ .

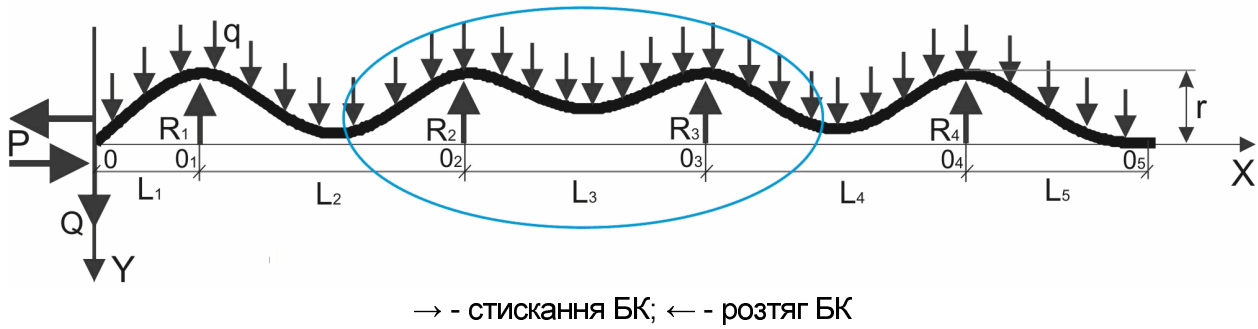


Рисунок 1 – Схема плоского згину БК у стовбурі свердловини

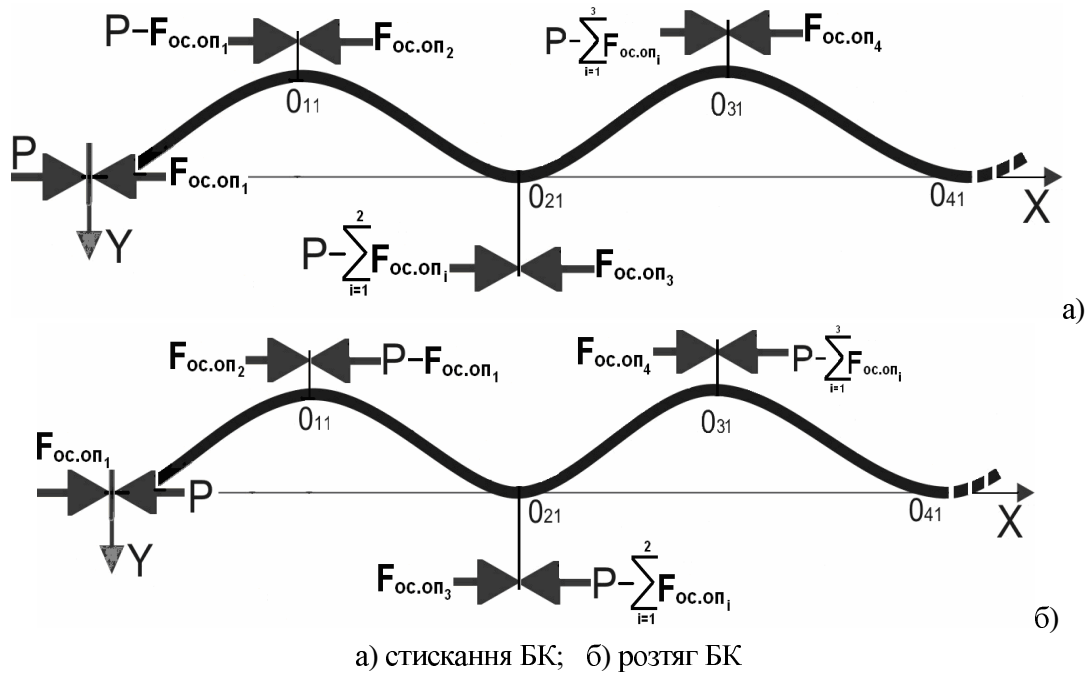


Рисунок 2 – Схема дії осевих сил на БК у стовбурі свердловини

$$EI_n \frac{d^2 y_n}{dx_n^2} = -[P - (n-1)qL \cos(\alpha) - F_{OC.OP_i}] y_n(x_n) + Q(x_n + \sum_{i=1}^{n-1} L_i) - R_1(x_n + \sum_{i=1}^{n-2} L_i) - R_2(x_n + \sum_{i=1}^{n-3} L_i) - R_3(x_n + \sum_{i=1}^{n-4} L_i) - R_4(x_n + \sum_{i=1}^{n-5} L_i) + q \left[ (n-1)L \left[ \frac{n-1}{2} L + x_n \right] + \frac{x_n^2}{2} \right] \sin(\alpha), \quad (1)$$

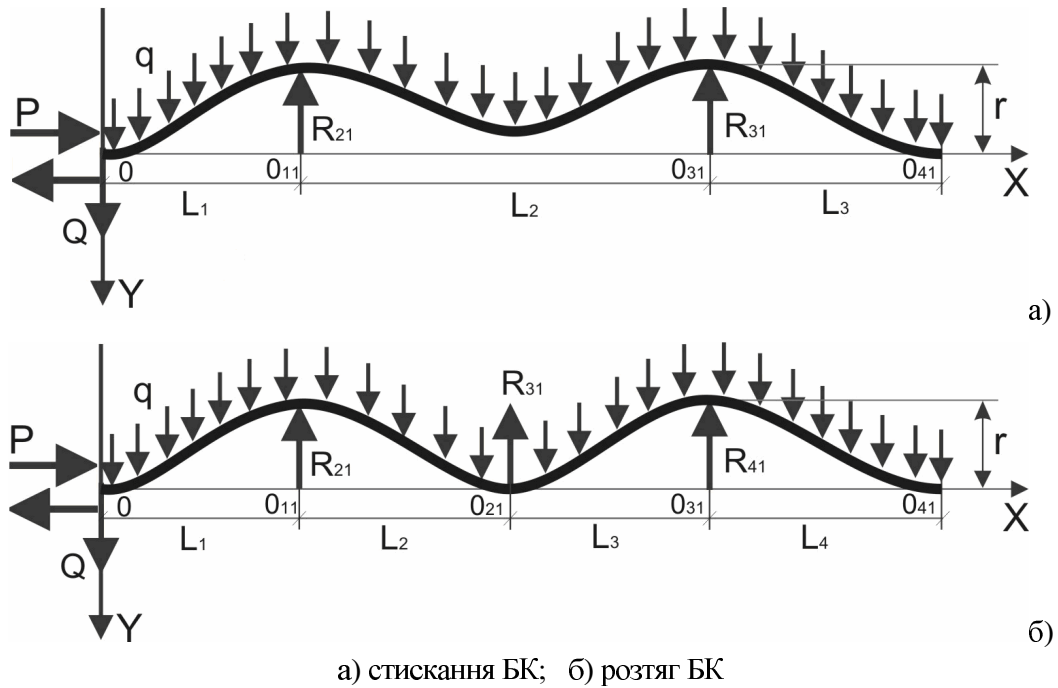
де:  $P$  – осьова сила (розтягу/стиску), прикладена до БК;  
 $n$  – кількість труб в розрахунковій схемі БК;  
 $q$  – погонна вага бурильної труби (БТ);  
 $L_i$  – довжина однієї БТ;  
 $\alpha$  – zenітний кут свердловини;  
 $EI_i$  – жорсткість на згин бурильних труб;  
 $F_{OC.OP_i}$  – сили опору осьовому переміщенню БК у стовбурі свердловини, [6];  
 $R_i$  – сили притискування БЗ до стінки свердловини.

В кожній з точок  $O_i$  внаслідок тертя і адгезійного прилипання контактуючих з ГП і фільтраційною кіркою елементів БТ в напрямі до долота поступово зменшуватиметься осьове навантаження  $P$ , яке потребує врахування в математичній моделі для уточнення величини сил  $R_i$ , (рис. 2).

Проінтегрувавши рівняння (1), отримуємо:

• функції прогинів осі по довжині БК:

$$y_n(x_n) = A_{1n} \sin(k_n x_n) + A_{2n} \cos(k_n x_n) + \left\{ Q(x_n + \sum_{i=1}^{n-1} L_i) - R_1(x_n + \sum_{i=1}^{n-2} L_i) - R_2(x_n + \sum_{i=1}^{n-3} L_i) - R_3(x_n + \sum_{i=1}^{n-4} L_i) - R_4(x_n + \sum_{i=1}^{n-5} L_i) + q \left[ (n-1)L \left[ \frac{n-1}{2} L + x_n \right] + \frac{x_n^2}{2} - \frac{1}{k_n^2} \right] \sin(\alpha) \right\} \times (2) \times \{P - (n-1)qL \cos(\alpha) - F_{OC.OP_i}\}^{-1};$$



а) стискання БК; б) розтяг БК

Рисунок 3 – Уточнена розрахункова схема БК у стовбурі свердловини

• функції зміни кутів повороту по довжині БК:

$$y_n^I(x_n) = k_n [A_{1n} \cos(k_n x_n) - A_{2n} \sin(k_n x_n)] + \frac{Q - \sum_{i=1}^{n-1} R_i + q((n-1)L + x_n) \sin(\alpha)}{P - (n-1)qL \cos(\alpha) - F_{OC.OPi}}; \quad (3)$$

• функції зміни згинаючих моментів по довжині БК:

$$M_n(x_n) = [k_n^2 [-A_{1n} \sin(k_n x_n) - A_{2n} \cos(k_n x_n)] + \frac{q \sin(\alpha)}{P - (n-1)qL \cos(\alpha) - F_{OC.OPi}}] EI_n. \quad (4)$$

Взаємодія БК із стінкою свердловини описується наступними такими умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0 \Rightarrow y_1(0) = 0 \\ \text{При } 1 \leq i \leq 4 \left\{ \begin{array}{l} y_i'(L_i) = y_{i+1}'(0) \\ x_{i+1} = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_i(L_i) = r \\ y_{i+1}(0) = r \end{array} \right. \\ x_i = L_i \end{array} \right. \\ x_n = L_i \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_n'(L_i) = 0 \\ y_n(L_i) = r \\ y_n''(L_i) = 0 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (5)$$

де  $r$  – максимальний радіальний зазор між осями БК і свердловини.

Формуванням системи рівнянь і її розв'язком визначаються сил  $R_i$  та постійних інтегрування  $A_i$ , будуються графічні залежності  $y(x)$  і визначається їх відповідність одній з розрахункових схем (рис. 3, а і б), які є частин-

ним випадком (рис. 1). Відтак проводиться уточнений розрахунок сил притискання БЗ до стінки свердловини:  $R_{21}$  і  $R_{31}$  для (рис. 3, а) і  $R_{21}$  і  $R_{41}$  для (рис. 3, б), з вибраною окремо частини схеми (виділено овалом на рис. 1), що, на відміну від досліджень [1-5], дає змогу врахувати вплив правої і лівої частин БК (від тієї, яка розглядається), не моделюючи їх граничними умовами.

Для врахування умов викривлення стовбура свердловини на сили притискання БК до стінок свердловини використовуються такі граничні умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_1(0) = 0 \\ y_1'(0) = \arccos \left[ \frac{L_i}{R_{CB}} \right] \end{array} \right. \\ \text{При } 1 \leq i \leq 4 \left\{ \begin{array}{l} y_i'(L_i) = y_{i+1}'(0) \\ x_{i+1} = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_i(L_i) = r \\ y_{i+1}(0) = r \end{array} \right. \\ x_i = L_i \end{array} \right. \\ x_5 = L \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} y_5'(L_i) = \arccos \left[ \frac{L_i}{R_{CB}} \right] \\ y_5(L_i) = r \\ y_5''(L_i) = 0 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (6)$$

де  $R_{CB}$  – радіус викривлення стовбура свердловини.

На викривлених ділянках свердловини (в інтервалах набору і спаду зенітного кута) стиснуту та розтягнуту БК задовольняють розраху-

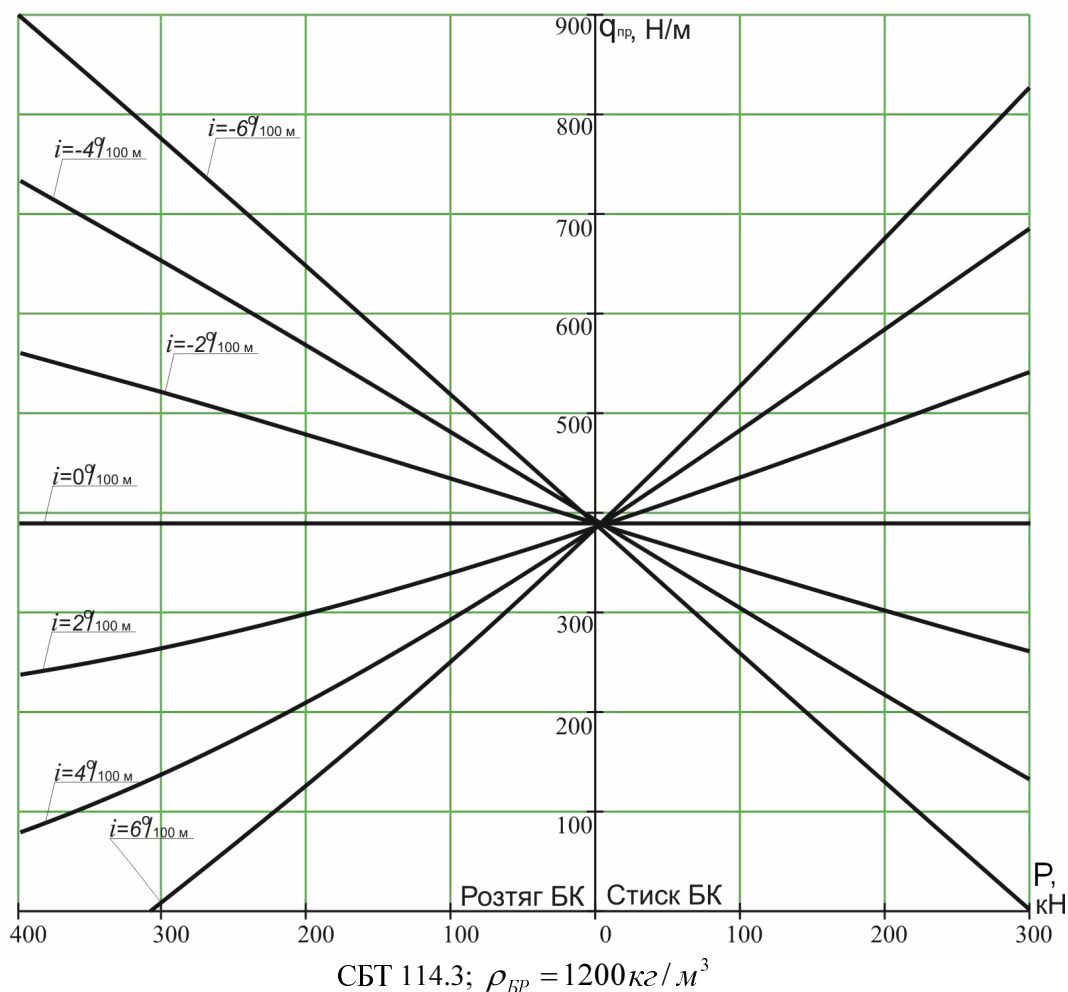


Рисунок 4 – Залежність погонної сили притискання СБТ 114.3 до стінок свердловини від інтенсивності їх викривлення і осевого навантаження Р

нкові схемами (рис. 3, а і б), при відповідних радіальних зазорах.

Точки  $O$  і  $O_{41}$ :

$$r = \frac{-(D_{БЗ} - d_{БТ})}{2}. \quad (7)$$

Точки  $O_{11}$  і  $O_{31}$ :

$$r = \frac{-(D_{БЗ} - d_{БТ})}{2} \pm R_{CB} \left( 1 - \cos \left[ \frac{L_i}{R_{CB}} \right] \right). \quad (8)$$

Точка  $O_{21}$ :

$$r = \frac{-(D_{БЗ} - d_{БТ})}{2} \pm R_{CB} \left( 1 - \cos \left[ \frac{2L_i}{R_{CB}} \right] \right), \quad (9)$$

де:  $D_{БЗ}$  – діаметр бурильного замка;

$d_{БТ}$  – діаметр бурильної труби.

Знак “+” приймається при наборі зенітного кута, а “-” для його зменшення.

За наведеними аналітичними розрахунками було проведено дослідження зміни погонної сили притискання  $q_{ПР} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{L_i}$  БК до стінок

свердловини на ділянках з різною інтенсивністю викривлення і отримано наступні графічні залежності (рис. 4 і 5).

В результаті було встановлено (рис. 4) залежність величини  $q_{ПР}$  від зміни зенітного кута та осевого навантаження на БК – Р. Встановлено, що зростання величини  $q_{ПР}$  спостерігається на ділянці набору зенітного кута в стиснутій частині БК та його зменшенні – для розтягнутої БК та збільшенні її типорозміру.

Найменш енергомісткою (удвічі) БК є її комплектація з ЛБТ (порівняно з СБТ 114 чи СБТ 101) (рис. 5). При цьому встановлено, що контактування тіла БТ між замками зі стінкою свердловини проявляється тільки на ділянці набору кривизни в стиснутій частині труб.

Опираючись на отримані результати встановлено переваги даного методу над відомими [1-5]:

Вища точність при визначенні сил притискання елементів БК (замків, тіла труб) до стінок свердловини довільної кривизни.

Можливість визначення моменту контактування тіла труб між замками зі стінкою свердловини і його врахування під час розрахунку.

Уточнення величини осевого навантаження на долото з врахуванням сил тертя між БК та стінками свердловини і визначення впливу на нього конструктивних параметрів колони труб та геометричних параметрів виробки.

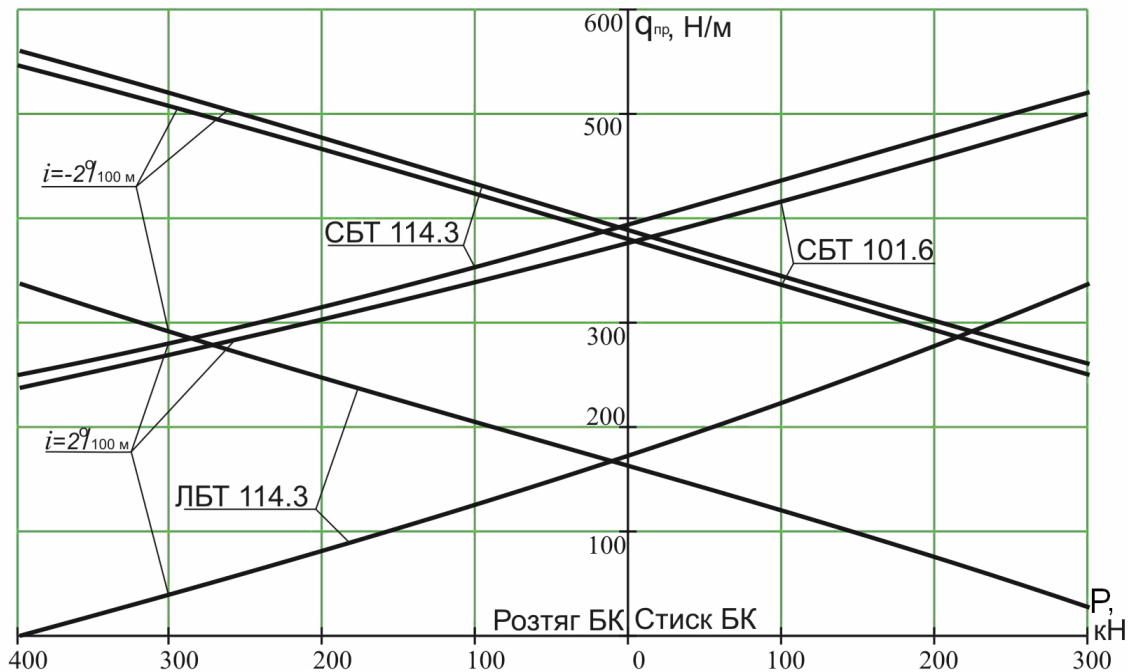


Рисунок 5 – Залежність погонної сили притискування БТ до стінок свердловини від інтенсивності їх викривлення і осьового навантаження Р

Наступним етапом дослідження за даним напрямом планується проведення лабораторного експерименту для визначення точності розробленого методу і його корегування.

#### Література

- 1 Александров М. Силы сопротивления при движении труб в скважине [Текст] / М.М. Александров. – М.: Недра, 1978. – 207 с.
- 2 Дейлі І. Измерение сил, действующих на колонну бурильных труб и ее элементов движения в процессе бурения [Текст] / Дейлі, Дейринг, Пафф, Орглофф, Линн // Тр. АОИМ. Конструирование и технология машиностроения. – 1968. – №2. – С. 24-34.
- 3 Янтурин А. Исследование деформации бурильной колонны в процессе бурения [Текст] / А. Ш. Янтурин: – автореф. дис. канд. техн. наук. – Тюмень, 1975. – 26 с.
- 4 Подавалов Ю. Исследование распределения крутящего момента по длине сжатой части бурильной колонны при роторном бурении [Текст] / Ю.А. Подавалов // Труды ВНИИТ-нефть. – 1978. – Вып. 10. – С. 57-62.

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

6 Чудик І. Математична модель розрахунку взаємодії бурильної колони із горизонтальним та викривленим стовбурами свердловини [Текст] / І. І. Чудик. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – № 1(30). – 2009. – С. 32-37.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
28.09.10  
Рекомендована до друку професором  
Я.С.Коцкуличем