
Науково-технічні проблеми нафтогазової інженерії

УДК 622.243.272

DOI: 10.31471/1993-9868-2019-1(31)-18-25

ОЦІНКА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ПРОХОДЖЕННЯ В СТОВБУРІ СКЕРОВАНОЇ СВЕРДЛОВИНИ

¹І. І. Чудик*, ²А. М. Лівінський, ¹А. Аль Танакчі, ¹А. М. Пастух, ¹Е. Нурузаде

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727137,
e-mail: chudoman@ukr.net

²ТОВ "Ендейвер"; 36011, м. Полтава, вул. Пушкіна, буд. 28, офіс 4,
e-mail: alivinskyi@endv.com.ua

Запропоновано новий метод оцінки впливу техніко-технологічних параметрів орієнтованих компоновок низу бурильної колони безопорної та одноопорних конструкцій на їх проходження в стовбурі похило-скерованої свердловини. Проведено аналіз можливих випадків контактування елементів орієнтованих компоновок зі стінками свердловини. За результатами даного аналізу розроблено ряд математичних моделей орієнтованих компоновок низу бурильної колони для розрахунку силових параметрів взаємодії їх елементів зі стінками свердловини під час спуску в свердловину з довільним зенітним кутом. З використанням розроблених математичних моделей проведено дослідження впливу конструктивних параметрів орієнтованих компоновок за їх осьового проходження у стовбурі свердловини із запобіганням їх заклинюванню.

В основу розрахункових математичних моделей компоновок покладено метод диференціальних рівнянь другого порядку. Дослідження зосереджені на отриманні величини умовного діаметра компоновки з врахуванням її деформації від дії поперечної складової ваги. На прикладі кількох конструкцій безопорної та одноопорної орієнтованих компоновок низу бурильної колони на базі вибійного двигуна проведено розрахунок величини умовного діаметра компоновок та діаметра опорно-центрувального елемента за умови дотримання оптимального діаметра компоновки.

За результатами аналітичних досліджень на прикладі безопорної, а також одноопорних конструкцій з використанням розробленого підходу встановлено: умови вільного їх проходження в стовбурі свердловини в усьому діапазоні зміни зенітного кута; необхідність контролю за проходженням і осьовим переміщенням орієнтованої компоновки при виконанні спуско-підіймальних операцій; залежність величини «умовного» діаметра орієнтованої безопорної компоновки від положення кута перекосу відхилювача відносно осі свердловини. Зокрема, у верхньому положенні кута перекосу відхилювача, умовний діаметр компоновки є меншим, ніж в нижньому положенні, а збільшення величини зенітного кута стовбура свердловини призводить до зменшення умовного діаметра орієнтованої компоновки за рахунок її виположування під дією поперечної складової ваги.

Ключові слова: компоновка низу бурильної колони, осьове переміщення компоновки, умовний діаметр компоновки, відхиляюча сила, кут перекосу, скерована свердловина, долото, положення відхилювача.

Предлагается новый метод к оценке влияния технико-технологических параметров ориентированных компоновок низа бурильной колонны безопорной и одноопорных конструкций на их прохождение в стволе наклонно-направленной скважины. Проведен анализ возможных случаев контактирования элементов ориентированных компоновок со стенками скважины. По результатам анализа разработан ряд математических моделей ориентированных компоновок низа бурильной колонны для расчета силовых параметров взаимодействия их элементов со стенками скважины при спуске в скважину под произвольным зенитным углом. С использованием разработанных математических моделей проведено исследование влияния конструктивных параметров ориентированных компоновок на их осевое прохождение в стволе скважины с предотвращением их заклинивания.

В основе расчетных математических моделей компоновок лежит метод дифференциальных уравнений второго порядка. Исследования сосредоточены на получении величины условного диаметра компоновки с учетом ее деформации от воздействия поперечной составляющей веса. На примере нескольких конструкций безопорной и одноопорной ориентированных компоновок низа бурильной колонны на базе забойного двигателя проведен расчет величины условного диаметра компоновок и диаметра опорно-центрирующего элемента при условии соблюдения оптимального диаметра компоновки.

По результатам аналитических исследований на примере безопорных и одноопорных конструкций с использованием разработанного подхода установлены условия свободного их прохождения в стволе скважины во всем диапазоне изменения зенитного угла; необходимость контроля за прохождением и осевым перемещением ориентированной компоновки при спуско-подъемных операциях; зависимость величины «условного» диаметра ориентированной безопорной компоновки от положения угла перекоса отклонителя относительно оси скважины. В частности, в верхнем положении угла перекоса отклонителя условный диаметр компоновки является меньшим, чем в нижнем положении, а увеличение величины зенитного угла ствола скважины приводит к уменьшению условного диаметра ориентированной компоновки за счет ее выпрямления под воздействием поперечной составляющей веса.

Ключевые слова: компоновка низа бурильной колонны, осевое перемещение компоновки, условный диаметр компоновки, отклоняющая сила, угол перекоса, направленная скважина, долото, положение отклонителя.

This scientific publication proposes a new method for assessing the impact of technical and technological parameters of oriented slick assemblies and assemblies with one stabilizer on their passage in the directional well. The analysis of possible cases of contact of elements of oriented assemblies with well walls is carried out. According to the results of this analysis a number of mathematical models of oriented bottom hole assemblies for calculating the power parameters of the interaction of their elements with the well walls during descent into a well with an arbitrary zenith angle are developed. Using the developed mathematical models, a study of the influence of the design parameters of the oriented assemblies on their axial passage in the wellbore to prevent of their jamming has been carried out.

The calculated mathematical models of the assemblies are based on the method of differential equations of second order. The research is focused on obtaining the value of the conditional diameter of the assembly, taking into account its deformation from the effect of the transverse component of the weight. On the example of oriented slick assemblies and those with one stabilizers on the basis of the mud motor, a calculation of the value of the conditional diameter of the assembly and the diameter of the stabilizer from the condition of observing the optimal diameter of the assembly has been performed.

According to the results of analytical studies on the example of slick assemblies and assemblies with one stabilizer, using the developed approach, the authors have established the following: conditions for their free passage in the wellbore along the entire range of the zenith angle change; the necessity to control the passage and axial displacement of the oriented assemblies in the performance of tripping operations; the dependency of the value of the "conditional" diameter of the oriented assembly on the position of the bent angle of the toolface to the well trajectory. In particular, in the upper position of the bent angle of the toolface, the "conditional" diameter of the assembly is smaller than in the lower position, and an increase of the zenith angle of the wellbore leads to a decrease in the "conditional" diameter of the oriented assembly due to its laying under the action of the transverse component of the weight.

Key words: bottom hole assembly, axial displacement of the assembly, conditional diameter of the assembly, deflection force, bent angle, directional well, bit, toolface.

Сучасне буріння похило-скерованих (ПСС) і горизонтальних свердловин (ГС) охоплює надзвичайно широке коло питань, всебічно вирішити які з урахуванням специфіки кожного геологічного регіону практично неможливо. Вивченню проблем буріння ПСС і ГС та їх вирішенню присвячено багато досліджень вітчиз-

няних та зарубіжних вчених. Ці дослідження лягли в основу розробок технологій та технічних засобів для забезпечення параметрів проектного профілю ПСС і ГС з використанням різноманітних систем управління їх траєкторією [1-4 та ін.].

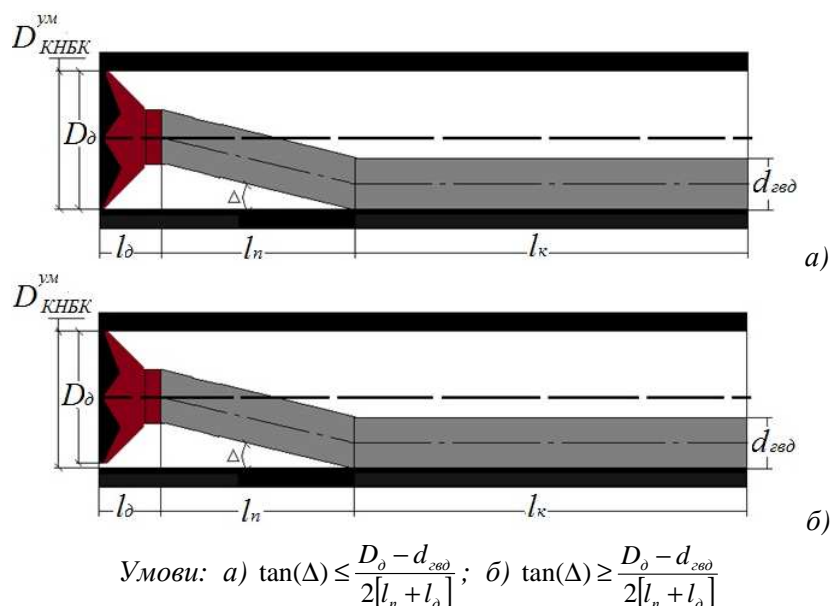


Рисунок 1 – Розрахункова схема орієнтованої безопорної КНБК в стовбурі свердловини

Проте, як показує практика, дані технології і технічні засоби часто не задовольняють проектних вимог процесу спорудження свердловин і потребують постійного вдосконалення і розроблення ефективних науково-обґрунтованих рішень для їх використання в конкретних гірничо-геологічних умовах. Саме до таких засобів відносять компоновки низу бурильної колони (КНБК).

Аналіз опублікованих праць за даним напрямком [1, 2, 4 та ін.] свідчить, що існуючі конструкції КНБК орієнтованого і неорієнтованого управління параметрами проектного профілю знаходять використання в умовах як роторного, так і турбінного способів буріння. Проте в умовах суміщеного способу буріння з їх застосуванням в ПСС чи ГС виникають технологічні проблеми. Вони закладені в підходах до проектування їх конструкцій і виборі відповідних параметрів для раціональної і безпечної експлуатації КНБК, що є актуальною проблемою, яка потребує вирішення.

Тому метою даної наукової публікації є встановлення оптимальних конструктивних параметрів орієнтованих одно- і безопорних КНБК з включенням гвинтового вибійного двигуна (ГВД) [3] для забезпечення умов їх проходження в стовбурі ПСС чи ГС, реалізація якої полягає у вирішенні наступних задач:

- розроблення математичних моделей орієнтованих одно- і безопорних КНБК на базі ГВД при заданих режимно-технологічних параметрах процесу буріння з проведенням оцінки технологічних можливостей орієнтованих одно- і безопорних КНБК на базі ГВД;

- вивчення впливу конструктивних параметрів орієнтованих одно- і безопорних КНБК на базі ГВД на їх проходження в стовбурі свердловини.

Використання безопорних орієнтованих КНБК для буріння ПСС чи ГС потребує забезпечення їх проходження в попередньо пробуреному стовбурі. Це потребує оцінки умовного діаметра компоновки з урахуванням кута перекосу Δ , як це зображено на рис 1, а) і б). Залежно від величини Δ можливим є два варіанти розташування КНБК в стовбурі свердловини, відображені на рис. 1, а) і б), де: l_0 , l_n , l_k – відповідно висота долота, верхнього плеча ГВД і його корпусу; D_0 , d_{zbo} – відповідно діаметр долота і ГВД.

На основі геометричних співвідношень, які відповідають рис. 1 без врахування деформації трубної системи внаслідок дії на неї поперечних і повздовжніх сил отримано спрощену аналітичну залежність (1), яка описує величину умовного діаметра одноопорної орієнтованої компоновки з кутом перекосу Δ :

$$D_{КНБК}^{ум} = \sqrt{\left[\frac{D_0 - d_{zbo}}{2} \right]^2 + (l_n + l_0)^2 \cdot \sin^2(\Delta)} + D_0 \cdot \cos(\Delta) \quad (1)$$

При $\Delta=(0-0.8^0)$ для $d_{zbo}=0,12\text{ м}$ і $D_0=0.155\text{ мм}$ та при $\Delta=(0-1.22^0)$ для $d_{zbo}=0,165\text{ мм}$ і $D_0=0.2159\text{ мм}$, величини умовних діаметрів безопорних орієнтованих КНБК без врахування сил взаємодії її елементів зі стінками свердловини наведені в табл. 1.

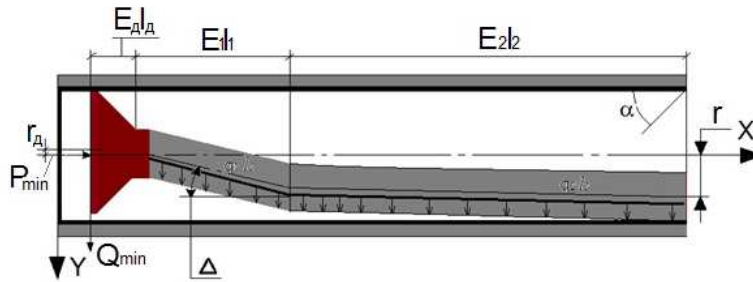


Рисунок 2 – Розрахункова схема орієнтованої безопорної КНБК з нижнім положенням корпусу ГВД

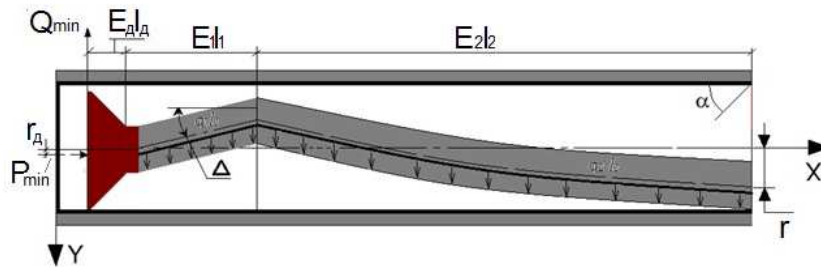


Рисунок 3 – Розрахункова схема орієнтованої безопорної КНБК з верхнім положенням корпусу ГВД

Таблиця 1 – Умовний діаметр орієнтованої безопорної КНБК

Кут перекосу на ГВД (Δ), град	$D_{КНБК}^{УМ}$, м (за умови, що $l_n + l_d = 1.06$ м)	
	ГВД 120	ГВД 165
0	0,155	0,2159
0,26		
0,52		
0,77		
1,0	0,157	0,217
1,22	0,165	
1,41	0,172	
1,59	0,179	
1,73	0,184	
1,85	0,188	
1,93	0,191	
1,98	0,193	
2,0	0,195	

Проте, в реальних умовах орієнтована КНБК в стовбурі свердловини під дією зовнішніх силових факторів (залежно від Zenітного кута стовбура свердловини) набуває складних форм рівноваги, які будуть визначальними для проведення спуско-підйомальних операцій (СПО). Для дослідження умов проходження орієнтованої КНБК (відхиляючої і випрямляючої) в прямолінійному стовбурі свердловини при виконанні СПО розглянемо два випадки її розташування з відповідними розрахунковими схемами конструкцій, які зображені на рис. 2 і 3. Відповідно до схем дослідження пропонуються

типів конструкцій компоновок, до складу яких входять дві ділянки, кожна з яких має власну вагу погонного метра та жорсткість на згин (перша від долота ділянка представляє собою шпindelь ГВД, друга – корпус ГВД).

Згідно з рис. 2 і 3: l_i – довжини ділянок орієнтованої КНБК; $E_{ДД}$ – жорсткість на згин долота; l_D – довжина долота; r_D, r – радіальний зазор між віссю долота і стінкою свердловини в нижній і верхній точках контактування КНБК зі стовбуром свердловини; P_{min} і Q_{min} – осьове навантаження і відхиляюче зусилля на долоті.

При цьому, в математичній моделі вважається, що: стінки свердловини є прямолінійними і не деформуються; відцентрові сили відсутні; згин КНБК відбувається в одній площині (плоский); у місцях контактування компоновки зі стінкою свердловини відсутні сили тертя [5-7]. Окрім того, для умов СПО приймається відсутність дії на долоті осьового навантаження і, відповідно, наявність мінімальної (близької до нуля) відхиляючої сили на долоті.

Встановлення для орієнтованої безопорної орієнтованої КНБК прохідного діаметра стовбура свердловини з умови безпечної взаємодії її елементів зі стінками свердловини (відкритий стовбур, обсадна колона) аналогічно [5-7] зводиться до розрахунку плоскої задачі з використанням системи диференціальних рівнянь пружної осі за відповідних граничних умов. Згідно розрахункових схем, наведених на рис. 2 і 3, пропонуються наступні диференціальні рівняння для ділянок КНБК довжиною l_D, l_1 і l_2 відповідно:

$$E_D I_D \frac{d^2 y_D}{dx_D^2} = -P_{\min} y_D(x_D) + Q_{\min} x_D + \frac{q_D x_D^2 \sin(\alpha)}{2}; \quad (2)$$

$$E_1 I_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -[P_{\min} - q_1 l_1 \cos(\alpha)] y_1(x_1) + ; \quad (3)$$

$$+ Q_{\min} (l_D + x_1) + \left(\frac{q_D l_D^2}{2} + q_D l_D x_1 + \frac{q_2 x_1^2}{2} \right) \sin(\alpha);$$

$$E_2 I_2 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -[P_{\min} - (q_D l_D + q_1 l_1) \cos(\alpha)] y_2(x_2) + Q_{\min} (l_D + l_1 + x_2) + \quad (4)$$

$$+ \left(\frac{q_D l_D^2}{2} + \frac{q_1 l_1^2}{2} + (q_D l_D + q_1 l_1) x_2 + \frac{q_2 x_2^2}{2} \right) \sin(\alpha).$$

За результатами інтегрування рівнянь (2)-(4) отримуємо функції прогинів осі, їх кутів повороту, а також згинальних моментів відносно до осі свердловини. Взаємодія безопорної орієнтованої КНБК (рис. 2 і рис. 3) зі стінками свердловини характеризується $P_{\min} \rightarrow 0$ та наступними граничними умовами [6, 7]:

$$\left. \begin{aligned} y_D(0) &= r_D \\ y'_D(l_D) &= y'_1(0) \\ y'_1(l_1) - y'_2(0) &= \pm \Delta \\ y_1(l_1) &= y_2(0) \\ y'_2(l_2) &= 0 \\ y_2(l_2) &= r \\ y''_2(l_2) &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

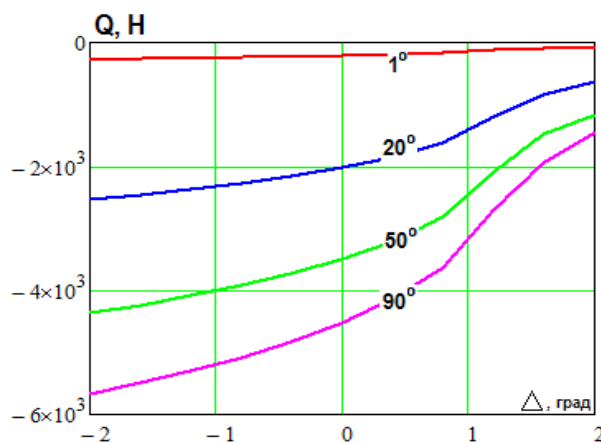


Рисунок 4 – Залежність відхиляючого зусилля на долоті від змін кута перекосу корпусу ГВД і величини зенітного кута стовбура свердловини

Примітки:

- «+» – орієнтовна безопорна КНБК з нижнім положенням корпусу ГВД (рис. 2);
- «-» – орієнтовна безопорна КНБК з верхнім положенням корпусу ГВД (рис. 3).

За вихідними даними попереднього розрахунку визначено величину умовного діаметра КНБК ($D_{КНБК}^{UM}$) залежно від зміни зенітного кута стовбура свердловини α і інших техніко-технологічних параметрів і представлено на рис. 4 і в табл. 2.

З наведених даних в табл. 2 по величині $D_{КНБК}^{UM}$ впливає, що врахування в математичній моделі особливостей деформації КНБК, по відношенню до значень, які отримані за спрощеною аналітичною залежністю (1), дає точніший результат і характеризується наступними особливостями.

Таблиця 2 – Умовний діаметр орієнтованої одноопорної КНБК $D_{КНБК}^{UM}$

Кут перекосу на ГВД (Δ), град	$D_{КНБК}^{UM}$, м							
	умова розташування	ГВД 120			ГВД 165			
		1°	20°	50°	90°	1°	20°	50°
-2,0		за методом диференціальних			за формулою			
-1,6		0,228	0,217	0,2159	0,240			
-1,2		0,2159			0,224			
-0,8		0,2159			0,2159			
-0,4		0,2159			0,2159			
0		0,2159			0,2159			
0,4		0,2159			0,2159			
0,8		0,2159			0,2159			
1,2		0,2159			0,2159			
1,6		0,224	0,223	0,222	0,224			
2,0		0,238	0,236	0,235	0,240			

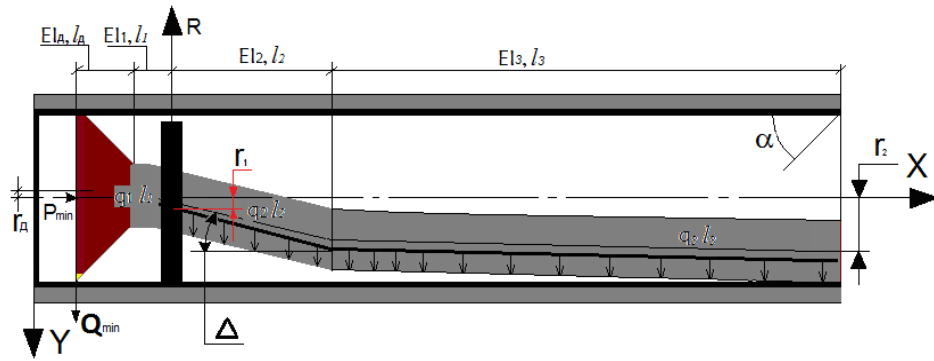


Рисунок 5 – Розрахункова схема орієнтованої одноопорної КНБК з нижнім положенням корпусу ГВД

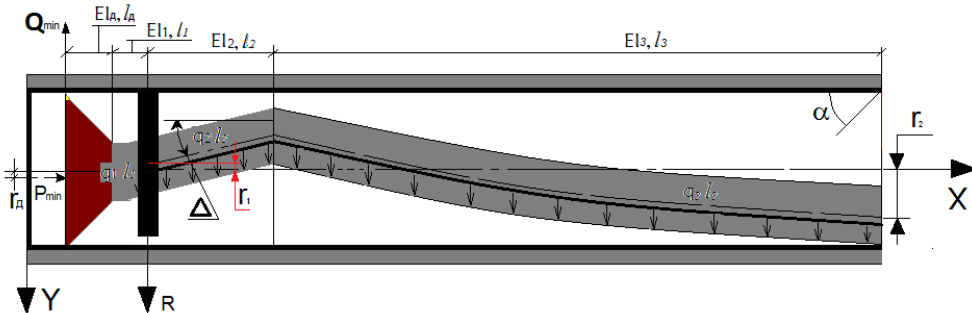


Рисунок 6 – Розрахункова схема орієнтованої одноопорної КНБК з верхнім положенням корпусу ГВД

• при $\Delta=0^0-1.6^0$ $D_{КНБК}^{УМ} < D_{\delta}$ відбувається її вільне проходження в стовбурі свердловини у всьому діапазоні зміни zenітного кута;

• при $\Delta=1.6^0-2.0^0$ $D_{КНБК}^{УМ} > D_{\delta}$, що обумовлює необхідність контролю за проходженням і осьовим переміщенням орієнтованої КНБК при виконанні СПО;

• величина умовного діаметра орієнтованої безопорної КНБК залежить від положення кута перекосу відхилювача по відношенню до осі свердловини: у верхньому положенні кута перекосу віхилювача умовний діаметр компоновки є меншим, ніж в нижньому положенні.

• збільшення величини zenітного кута стовбура свердловини призводить до зменшення умовного діаметра орієнтованої КНБК за рахунок її виположування під дією поперечної складової ваги.

Ще кілька особливостей взаємодії орієнтованої безопорної КНБК зі стінками свердловини відображаються при зміні величини відхилюючого зусилля на долоті (рис. 4).

Одна з них проявляється в тому, що незалежно від зміни положення кута перекосу на корпусі ГВД та zenітного кута при виконанні СПО, контактування долота і інших елементів орієнтованої КНБК відбуватиметься з нижньою стінкою свердловини. Причому зі збільшенням zenітного кута сила притискання Q зростає. Іншою особливістю є те, що при малих zenітних

кутах стовбура свердловини ($1-10^0$) величина Q при різних кутах перекосу ГВД змінюється в межах 5-12%. При більших zenітних кутах стовбура свердловини ($10-90^0$) та орієнтуванні площини викривлення компоновки згідно з рис. 3 і табл. 2, відбувається зменшення довжини, а також ваги компоновки, відхилюючого зусилля на долоті Q (рис. 4). А це характеризується в 1,5-2.8 рази меншими значеннями сил опору при спуску компоновки як відхилюючої системи (рис. 2), що має важливе значення під час виконання СПО.

Використання одноопорних орієнтованих КНБК (враховуючи викривлення з кутом перекосу двигуна Δ) під час буріння, а також при виконанні СПО також обмежується габаритами конструкції, що погіршує процес їх проходження в стовбурі скерованої свердловини. Для одноопорної орієнтованої КНБК пропонується використати відповідні розрахункові схеми, зображені на рис. 5 і 6. Залежно від величини кута Δ для одноопорної КНБК пропонується два варіанти розташування в стовбурі свердловини [6, 7].

Встановлення умовного діаметра орієнтованої одноопорної КНБК вирішується реалізацією контактної задачі взаємодії її елементів зі стінками свердловини (відкритий стовбур, обсадна колона) шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь пружної осі компоновки при відповідних граничних умовах [6, 7].

Згідно розрахункових схем, наведених на рис. 5 і 6, для ділянок КНБК довжинами l_D і l_1 характерним є диференційні рівняння (2) і (3), та, відповідно, їх розв'язки.

Для ділянок КНБК довжинами l_2 і l_3 характерними є наступні диференційні рівняння:

$$EI_2 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = - \left[P_{\min} - (q_D l_D + q_1 l_1) \cos(\alpha) \right] y_2(x_2) + Q_{\min} (l_D + l_1 + x_2) - R x_2 + \left(\frac{q_D l_D^2}{2} + \frac{q_1 l_1^2}{2} + (6) \right. \\ \left. + q_D l_D l_1 + (q_D l_D + q_1 l_1) x_2 + \frac{q_2 x_2^2}{2} \right) \sin(\alpha);$$

$$EI_3 \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = - \left[P_{\min} - (q_D l_D + q_1 l_1 + q_2 l_2) \cos(\alpha) \right] \times \\ \times y_3(x_3) + Q_{\min} (l_D + l_1 + l_2 + x_3) - R (x_3 + l_2) + \\ + \left(\frac{q_D l_D^2}{2} + \frac{q_1 l_1^2}{2} + \frac{q_2 l_2^2}{2} + q_D l_D l_1 + l_2 (q_D l_D + q_1 l_1) + \right. \\ \left. + (q_D l_D + q_1 l_1 + q_2 l_2) x_3 + \frac{q_3 x_3^2}{2} \right) \sin(\alpha). \quad (7)$$

Взаємодія елементів орієнтованої одноопорної КНБК (рис. 5) і (рис. 6) зі стінками свердловини характеризується наступними граничними умовами [6, 7]:

$$\left. \begin{aligned} y_D(0) &= r_D \\ y'_D(l_D) &= y'_1(0) \\ y_D(l_D) &= y_1(0) \\ y_1(l_1) &= y_2(0) \\ y'_1(l_1) &= y'_2(0) \\ y_1(l_1) &= r_1 \\ y'_2(l_2) - y'_3(0) &= \pm \Delta \\ y_2(l_2) &= y_3(0) \\ y'_3(l_3) &= 0 \\ y_3(l_3) &= r_2 \\ y''_3(l_3) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Примітки:

«+» – орієнтовна одноопорна КНБК з нижнім положенням корпусу ГВД (рис. 5);

«-» – орієнтовна одноопорна КНБК з верхнім положенням корпусу ГВД (рис. 6).

Реалізація даної математичної моделі дозволяє отримати величину $D_{КНБК}^{УМ}$, виходячи з відповідних конструктивних параметрів орієн-

тованої одноопорної КНБК при мінімальних значеннях осьового навантаження і відхиляючого зусилля на долоті.

На основі наведеної математичної моделі можна проектувати і вибирати діаметри ОЦЕ ($D_{ОЦЕ}^{ОПТ}$) для встановлення на корпусі ГВД при різних положеннях (верхньому і нижньому) відхилювача. Основою умовою його вибору є забезпечення мінімального зусилля його притискання до стінки свердловини.

Використовуючи попередні вихідні дані в результаті розрахунків отримуємо величину діаметра ОЦЕ кута перекосу на ГВД (Δ) (табл. 3).

Висновки

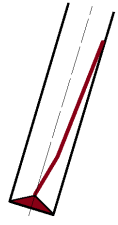
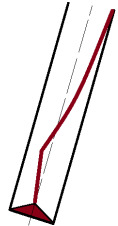
1. Розроблено математичні моделі орієнтованих одно- і безопорних КНБК на базі ГВД для різних режимно-технологічних параметрів процесу буріння. На основі геометричних співвідношень без врахування деформації орієнтованої КНБК від дії на трубку систему поперечних і повздовжніх сил в стовбурі ПСС і ГС отримано спрощену аналітичну залежність, яка описує величину умовного діаметра одноопорної компоновки з кутом перекосу Δ . Запропоновано метод розрахунку конструкцій одно- і безопорної орієнтованих КНБК на базі ГВД для забезпечення їх проходження в стовбурі ПСС і ГС для різних варіантах розташування плеча перекосу вкороченої шпindelної секції.

2. Використовуючи розроблені математичні моделі шляхом аналітичних розрахунків встановлено, що в діапазоні зміни zenітного кута – $0-90^0$, діаметр стовбура свердловини для забезпечення прохідності безопорної компоновки з нижнім розташуванням плеча перекосу ГВД характеризується на 10-15% меншими значеннями, ніж при спуску такої ж конструкції тільки з верхнім розташуванням плеча перекосу ГВД. Для одноопорної КНБК визначено оптимальний діаметр ОЦЕ, встановленого в залежності від місця встановлення долота, з точки зору прохідності для системи в стовбурі свердловини визначеного діаметра і кутів перекосу шпindelя 0.8^0 та 1.22^0 .

Література

1. Гилязов Р.М. Бурение нефтяных и газовых скважин с боковыми стволами. М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. 253 с.
2. Гречин Е. Г. Разработка и исследование методов проектирования и работы неориентируемых компоновок низа бурильной колонны : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.15

Таблиця 3 – Оптимальний діаметр ОЦЕ орієнтованої одноопорної КНБК з умови $R \rightarrow 0$

Кут перекосу на ГВД (Δ), град	$D_{ОЦЕ}^{ОПТ}$, м								
	умова розташування	ГВД 120				ГВД 165			
		1 ⁰	20 ⁰	50 ⁰	90 ⁰	1 ⁰	20 ⁰	50 ⁰	90 ⁰
		Кут перекосу 0.8 ⁰				Кут перекосу 1.22 ⁰			
0,2		0,2097	0,2091	0,2089	0,2088	0,2071	0,2024	0,2068	0,2068
0,3		0,2067	0,2058	0,2054	0,2053	0,2028	0,198	0,2023	0,2023
0,4		0,2036	0,2024	0,202	0,2018	0,1984	0,1935	0,1978	0,1977
0,5		0,200	0,199	0,1985	0,1983	0,1941	0,1891	0,1933	0,1932
0,6		0,1975	0,195	0,195	0,1948	0,1897	0,1846	0,1888	0,1887
0,7		0,1944	0,1925	0,191	0,1913	0,1853	0,1801	0,1843	0,1842
0,8		0,1914	0,1891	0,188	0,1878	0,181	0,1891	0,1798	0,1797
0,2			0,2117	0,2133	0,214	0,214	0,209	0,2108	0,2116
0,3	0,2096		0,212	0,213	0,2126	0,2055	0,2083	0,2094	0,2098
0,4	0,2076		0,2107	0,212	0,2118	0,2021	0,2057	0,2073	0,2078
0,5	0,2055		0,2094	0,211	0,2109	0,1987	0,2032	0,2051	0,2058
0,6	0,2034		0,208	0,210	0,210	0,1952	0,200	0,2029	0,2038
0,7	0,2013		0,2069	0,209	0,210	0,1918	0,1981	0,2008	0,2018
0,8	0,1993		0,2056	0,208	0,209	0,1883	0,1955	0,1986	0,1997

“Технология бурения и освоения скважин”. Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2009. 47 с.

3. Офіційний сайт компанії «National Oilwell Varco» (NOV), обладнання Proshot. URL: https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/ReedHycalog/Directional_Measurement_and_Steerable_Technologies/Directional_Systems/Teledrift_ProShot.aspx.

4. Григулецкий В. Г., Лукьянов В. Т. Проектирование компоновок нижней части бурильной колонны. М. : Недра, 1990. 304 с.

5. Чудик І. І. Удосконалення методики розрахунку сил притискання опор неорієнтованих КНБК до стінок свердловини. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2008. № 3(28). С. 35-41.

6. Чудик І.І., Лівінський А.М., Білецька І.Я. Розширення технологічних можливостей орієнтованих компоновок низу бурильної колони. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2017. № 2(43). С. 26-32.

7. Чудик І.І., Лівінський А.М. Вивчення технологічних можливостей орієнтованих опорних компоновок низу бурильної колони. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 3(64). С. 31-39.

References

1. Gilyazov R.M. Burenie neftyanyh i gazovyh skvazhin s bokovymi stvolami. М. : ООО «Nedra-Biznescentr», 2002. 253 p.

2. Grechin E. G. Razrabotka i issledovanie metodov proektirovaniya i raboty neorientirovannykh komponovok niza burilnoj kolonny : avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk : 25.00.15 “Tehnologiya bureniya i osvoeniya skvazhin”. Tyumen : Tyumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet, 2009. 47 p.

3. Oficijnij sajт kompaniji «National Oilwell Varco» (NOV), obladnannya Proshot. URL: https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/ReedHycalog/Directional_Measurement_and_Steerable_Technologies/Directional_Systems/Teledrift_ProShot.aspx.

4. Griguleckij V. G., Lukyanov V. T. Proektirovanie komponovok nizhnej chasti burilnoj kolonny. М. : Nedra, 1990. 304 p.

5. Chudyk I. I. Udoskonalennya metodyky rozrahunku syl prytyskannya opor neoriyentovanyh KNBK do stinok sverdlovyny. *Rozvidka ta rozrobka naftovyh i gazovyh rodovyshch*. 2008. No 3(28). P. 35-41.

6. Chudik I.I., Livinskij A.M., Bilecka I.Ya. Rozshyrennya tehnologichnyh mozhlivostej oriyentovanyh komponovok nyzu burylnoyi kolony. *Naukovyj visnyk IFNTUNG*. 2017. No 2(43). P. 26-32.

7. Chudyk I.I., Livinskij A.M. Vyvchennya tehnologichnyh mozhlivostej oriyentovanyh opornyh komponovok nyzu burylnoyi kolony. *Rozvidka ta rozrobka naftovyh i gazovyh rodovyshch*. 2017. No 3(64). P. 31-39.