

СПЕЦИФІКА РОЗРАХУНКУ КОМПОНОВОК НИЖНЬОЇ ЧАСТИНИ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З ТРЬОМА ЦЕНТРАТОРАМИ

І.В.Воєвідко, Р.І.Воєвідко

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264,
e-mail: math@nuing.edu.ua*

Подається короткий аналіз способів дослідження неорієнтованих компоновок низу бурильної колони і обґрунтований метод їх розрахунку. Наведено схеми для розрахунку компоновок з трьома центраторами за запропонованою методикою і розглянуто основні етапи їх розрахунку з врахуванням уточнених відстаней між їх точками опори, а також геометричних, вагових і жорсткісних параметрів центраторів. На конкретному прикладі показано і обґрунтовано збільшення відхиляючої сили на долоті компоновки для збільшення зенітного кута свердловини при розрахунку за новою методикою.

Дан краткий анализ способов исследования неориентированных компоновок низа бурильной колонны и обоснован метод их расчёта. Представлены схемы для расчёта компоновок с тремя центраторами по предложенной методике и рассмотрены основные этапы их расчёта с учётом уточнённых расстояний между их точками опоры, а также геометрических, весовых и жёсткостных параметров центраторов. На конкретном примере доказано и обосновано увеличение отклоняющей силы на долоте компоновки для набора зенитного угла скважины при расчёте по новой методике.

The short analysis of methods for research the drilling string assemblies has been done and method for its calculation has been proved. The schemes for calculation the drilling string assemblies with three centralizers using the suggested methodize have been shown. The main steps of its calculation with a help of distances between their points of support and also geometrical, heavy parameters of centralizers have been considered. The increasing of deflecting force on the bit of a drilling string assembly for increasing of zenith angle of well using the calculation based on new methodize has been proved on a concrete example.

В останній час похило-спрямоване буріння свердловини в Україні становить близько 70% від загального об'єму, а на шельфі Чорного моря – понад 90%. Однак техніко-економічно показники буріння похило-спрямованих свердловин в однакових гірничо-геологічних і технологічних умовах все ще нижчі за вертикальні. До основних причин такого стану справ слід віднести комплекс додаткових затрат на керування траєкторією стовбура свердловини, а також недосконалість існуючих методів розрахунку компоновок низу бурильної колони (КНБК), техніки і технології буріння похилих свердловин [1,2,3,4].

Існує три способи дослідження компоновок низу бурильної колони – практичний, який базується на отриманні емпіричних залежностей параметрів траєкторії від параметрів компоновки, експериментальний, за допомогою якого можна дослідити поведінку КНБК в стандартних умовах і теоретичний, за допомогою якого можна вивчити аналітичну модель КНБК [5, 6].

Найбільшу перевагу має третій спосіб, оскільки він є найбільш дешевий і універсальний, а за своїми результатами і об'єму інформації переважають перші два.

Відомо, що достовірність результатів розрахунку КНБК залежить від його методу і від розрахункової схеми. Причому остання повинна бути розроблена на базі обґрунтованих допущень і відповідати реальній схемі взаємодії компоновки зі стовбуром свердловини [7].

Щодо методів дослідження задачі поперечно-повздожнього прогину низу бурильної колони, то найбільш універсальним є метод розв'язку диференціального рівняння вигнутої осі компоновки в похилій свердловині з будь-якою кількістю центруючих пристроїв [8, 9].

Критичний аналіз існуючих розрахункових схем засвідчив, що всі вони розглядають опорно-центрувальні елементи (ОЦЕ) КНБК як точкові опори. Однак у реальних умовах буріння довжина центруючих пристроїв становить 1,5-2,5 діаметра долота, а вагові та жорсткісні характеристики значно перевищують аналогічні показники обважнених бурильних труб.

Окрім цього, центратори повертаються у стовбурі свердловини залежно від напрямку прогину секції компоновки і, як наслідок, контактують зі стінкою свердловини однією з периферійних ділянок своєї опорної поверхні, що також не враховується у розрахункових схемах.

В даній статті відображено специфічні особливості методики розрахунку трицентраторних КНБК на основі геометричної моделі їх реального розташування в стовбурі свердловини і з врахуванням геометрії, жорсткості і ваги ОЦЕ.

Як відомо, в похилій свердловині під дією осьових стискуючих сил, поперечних складових сил власної ваги і відповідних їм згинаючих моментів вісь КНБК деформується і набуває форми, близької до синусоїди. Центрувальні пристрої такої компоновки, які є її складовими елементами, також будуть повертатися в

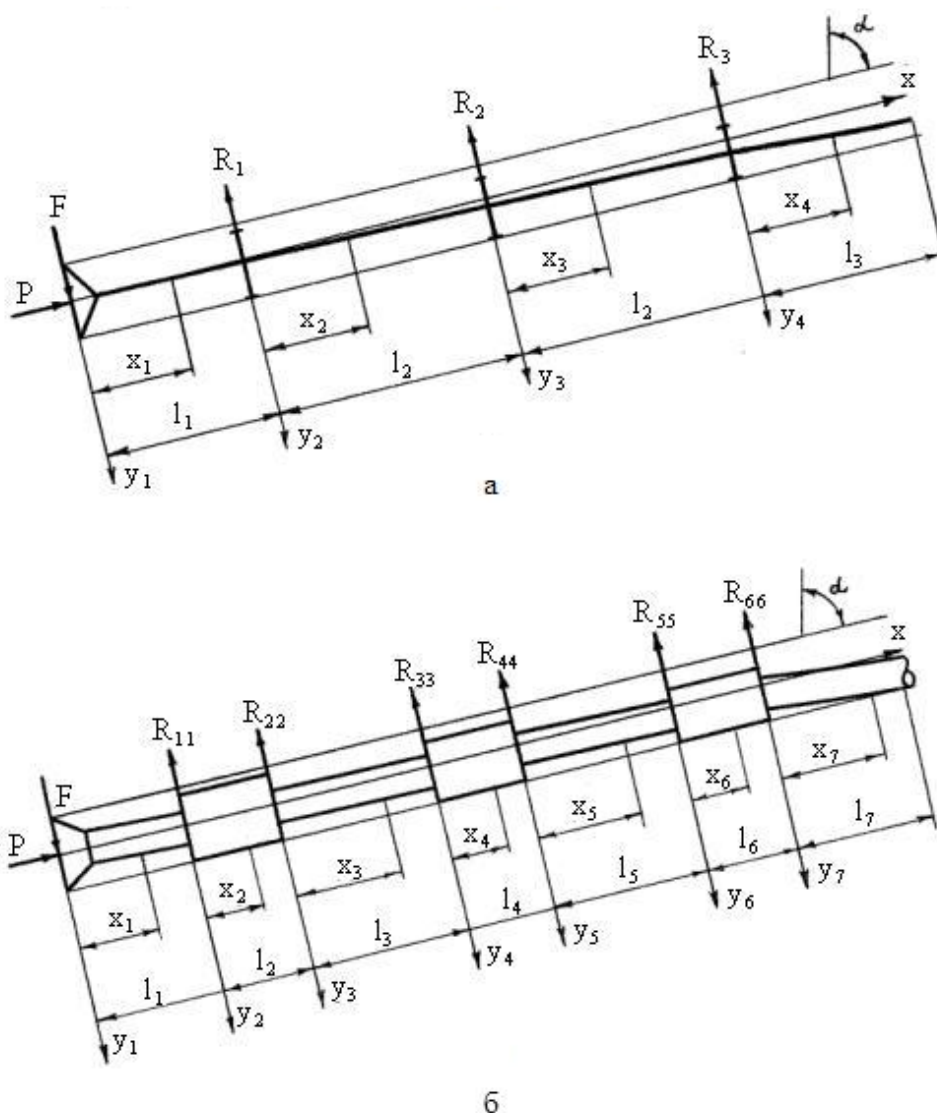


Рисунок 1 – Розрахункові схеми трицентраторної КНБК для першого (а) та другого (б) етапів розрахунку

стовбурі свердловини в залежності від напрямку прогину секцій компоновки.

Взаємодія ОЦЕ із стінкою стовбура свердловини може відбуватись як по всій його робочій довжині за відсутності повороту компоновки в місці його розташування, так і по одній із периферійних ділянок його опорної поверхні відповідно до напрямку повороту КНБК. При певному співвідношенні діаметра свердловини, геометричних параметрів центратора і його кута повороту можлива одночасна взаємодія двох його крайніх ділянок опорної поверхні з верхньою і нижньою стінками свердловини. В цьому випадку слід констатувати утворення рухомого защемлення ОЦЕ в стовбурі свердловини. Такий варіант взаємодії центральної пристроїв із стінкою свердловини слід уникати, оскільки, в кінцевому варіанті, рухоме защемлення може перерости в заклинювання компоновки в стовбурі свердловини.

На базі вищезазначеної геометричної моделі реального розташування КНБК в стовбурі

свердловини запропоновано нову методику розрахунку неорієнтованих КНБК, яка передбачає його проведення в два етапи.

На першому етапі КНБК розраховується за загальноприйнятою методикою [10], в якій ОЦЕ розглядаються як точкові опори, а сам метод розрахунку базується на розв'язанні диференціального рівняння пружної осі КНБК.

На другому етапі, з врахуванням напрямку повороту КНБК в місці розташування центратора, складається розрахункова схема реального розташування КНБК в стовбурі свердловини, в якій центратор фігурує як окрема складова ділянка компоновки із своїм діаметром і довжиною, масою і жорсткістю. Відповідно до напрямку повороту ОЦЕ виставляються реакції нижньої стінки стовбура свердловини по краях їх робочих поверхонь, а також перевіряється наявність рухомого защемлення.

На рис. 1, а зображено розрахункову схему трицентраторної КНБК з точковими ОЦЕ для роторного способу буріння.

Таблиця 1 – Формування граничних умов на кінцях і в точках спряження елементів трицентраторної КНБК при різних варіантах розташування ОЦЕ в стовбурі свердловини

Місце розташування перерізу КНБК	Граничні умови		
	Універсальні, незалежні від напрямку повороту ОЦЕ	При повороті ОЦЕ за годинниковою стрілкою, (+)	При повороті ОЦЕ проти годинникової стрілки, (-)
$x_1 = 0$	$y_1(0) = 0$	-	-
$x_1 = l_1,$ $x_2 = 0$	$y'_1(l_1) = y'_2(0)$	$y_1(l_1) = y_2(0)$	$y_1(l_1) = r_1,$ $y_2(0) = r_2$
$x_2 = l_2,$ $x_3 = 0$	$y'_2(l_2) = y'_3(0)$	$y_2(l_2) = r_1,$ $y_3(0) = r_1$	$y_2(l_2) = y_3(0)$
$x_3 = l_3,$ $x_4 = 0$	$y'_3(l_3) = y'_4(0)$	$y_3(l_3) = y_4(0)$	$y_3(l_3) = r_2,$ $y_4(0) = r_2$
$x_4 = l_4,$ $x_5 = 0$	$y'_4(l_4) = y'_5(0)$	$y_4(l_4) = r_2,$ $y_5(0) = r_2$	$y_4(l_4) = y_5(0)$
$x_5 = l_5,$ $x_6 = 0$	$y'_5(l_5) = y'_6(0)$	$y_5(l_5) = y_6(0)$	$y_5(l_5) = r_3,$ $y_6(0) = r_3$
$x_6 = l_6$	$y'_6(l_6) = y'_7(0)$	$y_6(l_6) = r_3,$ $y_7(0) = r_3$	$y_5(l_7) = y_6(0)$
$x_7 = l_7$	$y_7(l_7) = r_4,$ $y'_7(l_7) = 0,$ $y''_7(l_7) = 0$	-	-

На першому етапі розрахунку складаються диференціальні рівняння пружних осей чотирьох ділянок. Розв'язавши рівняння, отримаємо функції для визначення прогинів, кутів повороту, а також згинаючих моментів зазначених ділянок.

Граничні умови на кінцях і в точках спряження ділянок КНБК матимуть такий вигляд:

при $x_1 = 0$

$$y_1 = 0;$$

при $x_1 = l_1$ і $x_2 = 0$

$$y_1(l_1) = r_1, y_2(0) = r_1, y'_1(l_1) = y'_2(0);$$

при $x_2 = l_2$ і $x_3 = 0$

$$y_2(l_2) = r_2, y_3(0) = r_2, y'_2(l_2) = y'_3(0);$$

при $x_3 = l_3$ і $x_4 = 0$

$$y_3(l_3) = r_3, y_4(0) = r_3, y'_3(l_3) = y'_4(0);$$

при $x_4 = l_4$

$$y_4(l_4) = r_4, y'_4(l_4) = 0, y''_4(l_4) = 0.$$

На основі граничних умов складається система рівнянь, після розв'язку якої отримаємо значення відхиляючої сили на долоті F, величини реакції на ОЦЕ R_1, R_2 і R_3 , довжини верхньої ділянки l_3 , а також сталі інтегрування. Визначаються значення і напрямки кутів повороту долота і ОЦЕ, а також величини згинаючих моментів на зазначених центруючих елементах.

Маючи напрямки повороту центрувальних пристроїв, виникає можливість уточнити схему розташування КНБК в стовбурі свердловини

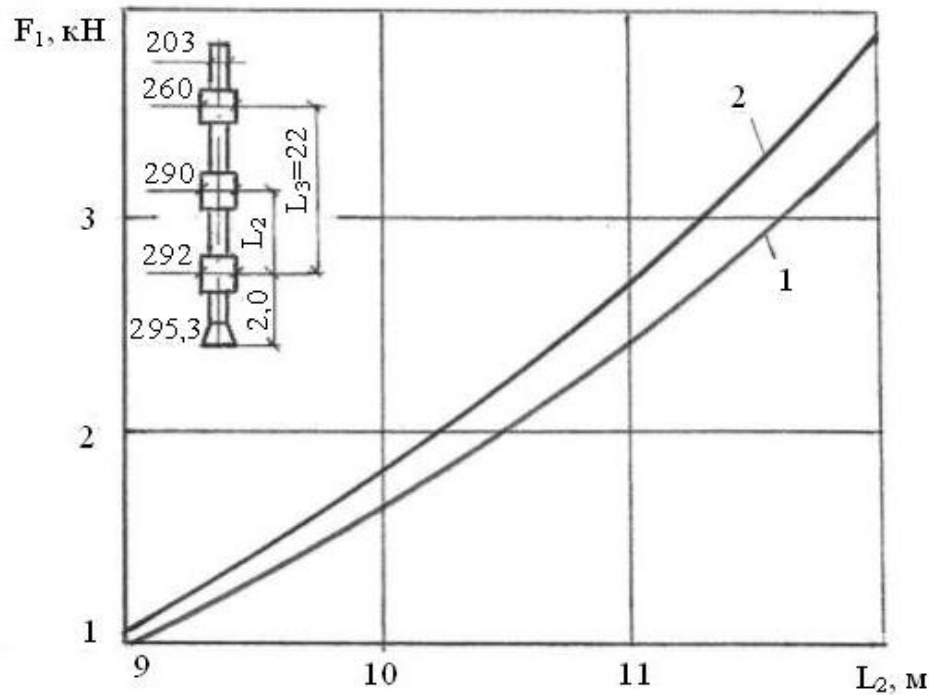
(рис. 1, б), тобто перейти до такої схеми, яка засвідчує її реальне розташування. В даному випадку поворот ОЦЕ за годинниковою стрілкою вважається додатнім, а проти годинникової – від'ємним. В першому випадку центратор контактує із стінкою стовбура свердловини своєю крайньою правою ділянкою опорної поверхні, а в другому випадку – навпаки, з крайньою лівою.

У відповідності із схемою реального розташування КНБК в стовбурі свердловини складаються диференціальні рівняння для семи ділянок компоновки.

В таблиці 1 відображено варіанти граничних умов на кінцях і в точках спряження елементів трицентраторної КНБК відповідно до напрямку повороту ОЦЕ.

За напрямками нахилу ОЦЕ формуються конкретні граничні умови, які відображають реальний варіант розташування КНБК в стовбурі свердловини.

За допомогою граничних умов складається система рівнянь, яка також відповідає реальному варіанту розташування в стовбурі свердловини ОЦЕ та компоновки в цілому. Після розв'язання системи рівнянь отримуємо уточнені значення відхиляючої сили на долоті F, величин реакцій $R_{11}(R_{22}), R_{33}(R_{44})$ і $R_{55}(R_{66})$, довжини верхньої ділянки l_7 . Окрім цього, розраховуються кінцеві значення кутів повороту КНБК в місцях розташування долота і ОЦЕ, а також величини згинаючих моментів на зазначених елементах компоновки.



1, 2 – розрахунок відповідно за загальноприйнятою і новою методиками

Рисунок 2 – Залежність відхиляючої сили на долоті від відстані між другим і третім центраторами (дол. – 295,3 мм, ОБТ – 203 мм – 20 м, ОЦЕ – 292 мм – 0,6 м, ОБТ – 203 мм – L_2 , ОЦЕ – 290 мм – 0,6 м, ОБТ – 203 мм, ОЦЕ – 260 мм – 0,6 м, ОБТ – 203 мм, $L_3=22$ м; $\alpha=30^\circ$)

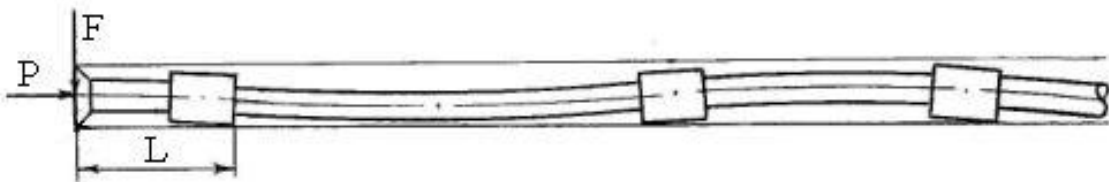


Рисунок 3 – Схема реального розташування трицентраторної компоновки низу бурильної колони в стовбурі свердловини

Для порівняння результатів розрахунку за загальноприйнятою (перший етап прорахунку) і запропонованою методикою проведено розрахунок трицентраторної КНБК на базі обважнених бурильних труб діаметром 203 мм.

На рис.2 зображено залежності відхиляючої сили на долоті від відстані між другим і третім центраторами КНБК. З рисунка видно, що із збільшенням відстані між центраторами відхиляюча сила на долоті також збільшується майже пропорційно, оскільки графічні залежності близькі до прямих. Однак, при розрахунку за новою методикою значення відхиляючої сили на долоті в середньому на 11% вище, ніж при розрахунку за традиційною методикою.

Пояснити зростання відхиляючої сили на долоті в трицентраторній КНБК при розрахунку за новою методикою можна на основі схеми реального розташування такої компоновки в стовбурі свердловини, яку зображено на рис. 3. Як видно з рисунка, основним фактором зростання відхиляючої сили на долоті є збільшення довжини першої секції, тобто відстані L від

опорної поверхні породоруйнуючого інструменту до точки контакту ОЦЕ із стінкою свердловини на половину довжини центратора (на 300 мм). Другим фактором, що впливає на зростання відхиляючої сили на долоті, є наявність в складі першої секції центратора, жорсткість якого більш, ніж у 2 рази перевищує аналогічний параметр обважнених бурильних труб діаметром 203 мм.

Тут слід зазначити, що за допомогою нової методики є можливість проводити розрахунки КНБК також при турбінному способі буріння, або у випадку використання гвинтових двигунів, що робить її універсальною.

Таким чином, на основі розрахункової схеми реального розташування різних типів трицентраторних КНБК в стовбурі свердловини, розроблено удосконалену методику розрахунку неорієнтованих компоновок, яка оперує уточненими відстанями між їх точками опори, а також геометричними, ваговими і жорсткісними параметрами центраторів.

Література

- 1 Сулокшин С.С. Направленное бурение / С.С. Сулокшин. – М.: Недра, 1987. – 272 с.
- 2 Сушон Л.Я. Управление искривлением наклонных скважин в Западной Сибири / Л.Я.Сушон, П.В.Емельянов, Р.Т.Муллагалиев. – М.: Недра, 1988. – 125 с.
- 3 Воевідко І.В. Вибір критеріїв оптимізації та розрахунок трицентраторних неорієнтованих вибійних компоновок / І.В. Воевідко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2003. – №2(6). – С. 5-8.
- 4 Бурение наклонных и горизонтальных скважин / А.Г.Калинин, Б.А.Никитин, К.М.Солодкий, Б.З. Султанов. – М.: Недра, 1997. – 648 с.
- 5 Оганов А.С. Принципы выбора неориентируемых компоновок низа бурительной колонны для направленного бурения скважин / В.В. Прохоренко, Г.С. Оганов // Обзорная информация. Газовая промышленность. – 1989. – Вып. 6. – 24 с.
- 6 Расчёт отклоняющей силы на долоте системы с тремя центраторами в наклонном участке скважины / Г.А. Ситдыков, М.М. Юкусов, Л.М. Левинсон, Р.М. Нургалеев // Труды УфНИИ. – 1972. – Вып. 11. – С. 17-20.
- 7 Профили направленных скважин и компоновки низа бурительных колонн / А.Г. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодкий, Б.З. Султанов. – М.: Недра, 1995. – 305 с.
- 8 Ишемгужин Е.И. К расчёту низа бурительной колонны / Е.И. Ишемгужин, Б.З. Султанов // Нефтяное хозяйство. – 1970. – №7. – С. 11-16.
- 9 Метод оптимизации параметров компоновок для стабилизации зенитного угла наклонных скважин / А.Ф. Фёдоров, К.М. Солодкий, А.Г. Калинин, А.С. Повалихин // Нефтяное хозяйство. – 1982. – №11. – С. 11-12.
- 10 Воевідко І.В. Розробка теоретичних основ і технічних засобів для підвищення точності проведення спрямованих свердловин. дис... доктора техн. наук: 05.15.10 / Воевідко Ігор Володимирович. – Івано-Франківськ, 2007. – 410 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
6.04.09

Рекомендована до друку професором
Петриною Ю.Д.