

622.243.2
B63

Векеріку В.І.

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

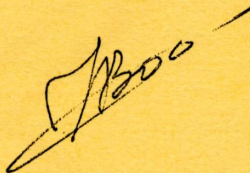
Восвідко Ігор Володимирович

УДК 622. 243.2

**РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ
СПРЯМОВАНИХ СВЕРДЛОВИН**

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



Івано-Франківськ – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор *Крижанівський Євстахій Іванович*, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор *Чернов Борис Олександрович*, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри фізики, м. Івано-Франківськ



доктор технічних наук, професор *Огородніков Петро Іванович*, міжнародний науково-технічний університет, декан факультету нафтової інженерії і комп'ютерних наук, м. Київ

доктор технічних наук, професор *Давиденко Олександр Миколайович*, Національний гірничий університет, завідувач кафедри технічки розвідки родовищ корисних копалин, м. Дніпропетровськ

Захист від
ваної вченої р
університету і
ська, 15.

З дисертац
Франківського
76019, м. Іван

Авторефер

Вчений се
спеціалізо
кандидат т

ціалізо
нічного
Карпат

Івано-
ресою:



an702

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Необхідність швидкого розвитку нафтогазового комплексу України поставила перед працівниками бурових організацій першочергове завдання - в найближчий час підвищити ефективність і покращити якість буріння. Одним із найважливіших факторів підвищення якості буріння є забезпечення проведення похило-спрямованих свердловин у чіткій відповідності до розробленого проекту.

За останні роки глибина буріння похило-спрямованих свердловин суттєво зросла, що спричинило збільшення відхилення їх стовбурів від вертикалі, збільшилась також кількість свердловин в одному куші. Для буріння спрямованих свердловин сьогодні застосовуються досконаліші технології і техніка, зокрема, використовуються різноманітні типи компоновок низу бурильної колони. Буріння свердловин відбувається в більш форсованих режимах за одночасного зменшення круга допуску.

Однак, незважаючи на загальний прогрес у галузі буріння спрямованих свердловин, у більшості випадків їх фактична траєкторія не співпадає з розрахунковою (проектною), що пов'язано із впливом багатьох відхиляючих факторів, які не завжди піддаються обліку і, як результат, не враховуються в існуючих методиках розрахунку компоновок низу бурильної колони (КНБК) та відомих математичних моделях просторового формування стовбура свердловини.

Детальне вивчення геологічних та техніко-технологічних факторів викривлення стовбурів свердловин є основою створення комплексу методів і технічних засобів для надійного регулювання даного процесу в складних геологічних умовах, що, безумовно, підвищить точність їх проведення.

Зв'язок роботи з науковими програмами і планами. Дисертаційна робота виконана відповідно до програм науково-дослідних робіт за договорами Д-7-01-П „Наукове обґрунтування створення мобільних установок та інструменту для буріння та ремонту свердловин ваптажопідйомністю до 1470 кН”, 259/2000 „Розробка методів підбору КНБК для забезпечення буріння похило-спрямованих та горизонтальних свердловин” (ДАТ „Чорноморнафтогаз”) і 59/2001 „Розробка КНБК для буріння прямолінійних ділянок стовбура свердловини діаметром 215,9мм без застосування обважнених бурильних труб” (ВАТ „Укрнафта”).

Мета і задачі досліджень.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу буріння спрямованих свердловин за рахунок розроблення теоретичних основ та технічних засобів керування траєкторією їх стовбура.

Для досягнення цієї мети поставлені такі задачі:

- вдосконалити методи проектування неорієнтованих КНБК та складових елементів компоновок з метою підвищення ефективності їх застосування;
- розробити неорієнтовані КНБК для різних задач спрямованого буріння із розширеним діапазоном та уточненими величинами відхиляючої сили на

долоті, а також конструкції їх складових елементів;

- дослідити процес викривлення свердловин в анізотропних геологічних структурах;

- розробити науково-методичні основи підвищення точності проведення спрямовано викривлених свердловин;

- перевірити в промислових умовах основні результати досліджень.

Об'єкт дослідження. Буріння спрямованих свердловин у заданому напрямку.

Предмет дослідження. Геологічні, технічні та технологічні фактори викривлення свердловин.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань було використано метод логічного аналізу при розгляді літературних джерел та результатів виробничих спостережень обраного наукового напрямку, а також методи теорії пружності, математичного аналізу, статистичного оброблення результатів спостережень та програмування.

Наукова новизна одержаних результатів:

- на основі геометричної моделі реального розташування КНБК у стовбурі свердловини удосконалено методику розрахунку її розмірів, яка враховує уточнені відстані між точками опори компоновки, а також геометричні, вагові та жорсткісні параметри опорно-центрувальних елементів (ОЦЕ);

- отримав подальший розвиток графоаналітичний метод конструювання пасивних КНБК, що дало змогу розрахувати компоновки із різними значеннями відхиляючої сили на долоті, які не реагують на зміну зенітного кута свердловини в діапазоні від 10 до 40°;

- вперше розроблено науково-методичні основи проектування відхиляючих пристроїв зі змінною геометрією робочого профілю та компонок на їх основі, що дозволяє оптимізувати їх конструктивні параметри та вивести технологічні можливості неорієнтованих КНБК на якісно вищий рівень;

- вперше запропоновано та обгрунтовано геометричні критерії оцінки величини відхиляючого фактору анізотропної геологічної структури та ступеня його впливу на процес зміни просторової орієнтації свердловини, а також отримані аналітичні залежності для розрахунку їх числових значень;

- вперше сформовано наукові основи оптимізації конструктивних параметрів виконавчих органів різних типів опорно-центрувального інструменту, які дозволяють підвищити їх робоздатність на етапі конструкторського проектування;

- вперше отримано математичні залежності та сформовано основні заходи, які в комплексі дозволяють забезпечити оперативний контроль за розташуванням стовбура свердловини в просторі та коригування її траєкторії по гвинтовій лінії з наступним переходом на апсидальну ділянку.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено 15 типів неорієнтованих КНБК для різних задач спрямованого буріння з розширеним діапазоном та уточненими величинами відхиляючої сили на долоті в межах від -5 до 21 кН;

- на базі існуючої, розроблено математичну модель просторового викривлення стовбура свердловини, яка достовірно відображає процес зміни його зенітного кута і азимута при бурінні в складних геологічних умовах, зокрема на родовищах Прикарпаття;

- розроблено комплекс заходів і методів, які, в цілому, дозволяють підвищити точність проведення спрямовано викривлених свердловин за рахунок отримання в промислових умовах більш достовірної та оперативної інформації про просторове положення їх траєкторій та проведення оперативних заходів по їх коригуванню;

- сформовано методичний підхід до вибору доліт для спрямованого буріння з необхідним ресурсом фрезерування, що забезпечує реалізацію процесу викривлення стовбура свердловини протягом усього довбання. Розраховано показники фрезерування для основних типорозмірів сучасних шарошkových доліт;

- розроблено рекомендації, які стосуються забезпечення необхідної комплектації різних типів КНБК та правил прив'язки їх до конкретних гірничо-технологічних умов буріння, що в комплексі сприяє надійності реалізації компоновками своїх функціональних можливостей в умовах впливу дестабілізуючих факторів;

- розроблено чотири технічні засоби – складові елементи різних типів компоновок, які захищені патентами України.

Особистий внесок здобувача.

Основні положення та результати роботи отримано самостійно. На базі існуючої, розроблено математичну модель просторового викривлення свердловин при бурінні неорієнтованими КНБК [6, 7]. Розраховано конструктивні параметри неорієнтованих компоновок з уточненими величинами відхиляючої сили на долоті та проведено аналіз їх стійкості на проєктній траєкторії [2, 3]. Удосконалено графоаналітичний метод конструювання пасивних КНБК [8]. Проведено аналіз роботи пристроїв зі змінним робочим профілем, на основі якого розроблено неорієнтовані компоновки з розширеними функціональними можливостями [1, 10, 11, 13]. Оцінено вплив анізотропних геологічних структур на тенденцію свердловини до зміни азимута [9]. Розроблено і досліджено раціональну схему озброєння робочих органів опорно-центрувального інструменту в лопатевому виконанні [15].

У роботах, опублікованих у співавторстві, удосконалено методику розрахунку розмірів КНБК, де особистий внесок здобувача складає 45 % [16]. Встановлено вплив анізотропних гірських порід на зенітне викривлення свердловин (внесок здобувача - 50%) [17]. Розроблено конструкцію долота з підвищеною стабілізуючою здатністю і доведено його ефективність, де внесок здобувача складає 50% [18, 20]. Сформовано наукові основи підвищення роботоздатності шарошкового опорно-центрувального інструменту на стадії його проєктування, де внесок здобувача складає 50% [4, 5].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи було представлено на 6-ій міжнародній науково-практичній конференції „Нафта і газ

України - 2000" (Україна, Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 31 жовтня - 3 листопада 2000р.); на міжнародній науково-технічній конференції „Нафта і газ Західного Сибіру" (Російська Федерація, Тюмень, ТюмНГУ, 12-13 листопада 2003р.); на міжнародній науково-технічній конференції „Матеріали, обладнання і ресурсозберігаючі технології" (Республіка Білорусь, Могилів, Білорусько-Російський університет, 22-23 квітня 2004р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 19-ти статтях у наукових виданнях, із них 13 статей одноосібні, 3-х патентах України на винаходи і корисну модель, а також в матеріалах 3-х конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, бібліографічного опису, джерел і додатків. Загальний об'єм роботи становить 410 сторінок і вміщує 93 рисунки та 16 таблиць, список літератури із 277 найменувань та 4 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обгрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, обгрунтовано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів. Наведено відомості про особистий внесок автора у вирішення проблеми, апробацію роботи і публікації основних результатів.

У **першому розділі** проведено детальний аналіз причин і механізмів викривлення стовбурів свердловин, ефективності використання існуючих методів та технічних засобів для боротьби з цим явищем, а також охарактеризовано сучасний стан досліджень процесу викривлення похило-спрямованих свердловин.

Детально розглянуто причини викривлення свердловин під дією факторів, викликаних геологічними умовами буріння та причинами технічного та технологічного характеру, що діють, переважно, одночасно. Основною причиною, що зумовлює закономірність процесу природного викривлення стовбурів свердловин є геологічні умови буріння, при цьому основним і постійно діючим відхиляючим фактором слід вважати анізотропію механічних властивостей гірських порід.

Відзначено, що найбільш досконалою аналітичною моделлю викривлення свердловин слід вважати отримані М.П. Гулізаде такф математичні залежності:

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{2}{L} (\Phi_{T\alpha} + \Phi_{r\alpha}), \quad (1)$$

$$\frac{d\varphi}{dS} = \frac{2}{L} (\Phi_{T\varphi} + \Phi_{r\varphi}). \quad (2)$$

Систематизовано основні методи зниження інтенсивності викривлення свердловин із зазначенням шляхів їх реалізації. Проведено порівняльний аналіз ефективності застосування різних методів та технічних засобів для боротьби з викривленням свердловин. При цьому встановлено, що попередити

викривлення стовбура вертикальної свердловини під час буріння в складних геологічних умовах практично неможливо. Знайдено найбільш перспективні технічні засоби та технологічні аспекти буріння умовно вертикальних свердловин, що дало змогу вибрати основні напрямки їх удосконалення.

Проведений комплексний аналіз інформаційних джерел та виробничих спостережень дав змогу узагальнити способи спрямованого буріння, а також фактори або засоби, які враховуються та використовуються в процесі формуванні просторової траєкторії похило-спрямованих свердловин.

Обґрунтовано, що основним недоліком способу спрямованого буріння з використанням орієнтованих технічних засобів є проблеми, пов'язані саме з їх орієнтуванням у стовбурі свердловини. Зазначено, що найбільш перспективними технічними засобами керування траєкторією стовбура свердловини є неорієнтовані КНБК, методику розрахунку розмірів яких слід удосконалити. Зазначено основні недоліки результатів досліджень впливу анізотропії гірських порід на процес викривлення стовбура свердловини.

На основі проведеного аналізу стану проблеми буріння спрямованих свердловин було сформульовано мету роботи, для досягнення якої необхідно розробити комплекс теоретичних основ та технічних засобів для підвищення точності проведення спрямовано викривлених свердловин.

Другий розділ присвячено удосконаленню методики розрахунку розмірів одно-, дво- і трицентраторних КНБК та оптимізації їх конструктивних параметрів.

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. У першому розділі обґрунтовано вибір методу розрахунку компоновок, що базується на розв'язанні диференціального рівняння пружної осі КНБК.

Критичний аналіз існуючих розрахункових схем засвідчив, що майже всі вони розглядають опорно-центрувальні елементи КНБК як точкові опори. Однак у реальних умовах буріння довжина центруючих пристроїв становить 1,5-2,5 діаметра долота, а вага їх одиниці довжини і жорсткість часто відповідно удвічі та втричі перевищує такі ж характеристики обважнених бурильних труб. Окрім цього, в похилій свердловині під дією осьових стискуючих сил, поперечних складових сил власної ваги і відповідних їм згинаючих моментів КНБК деформується і падає форми, близької до синусоїди. Тому центратори КНБК, які є її складовими елементами, також будуть повертатись у стовбурі свердловини залежно від напрямку прогину секції компоновки і, як наслідок, будуть контактувати зі стінкою свердловини однією з периферійних ділянок своєї опорної поверхні.

На основі зазначеного, запропоновано удосконалену методику розрахунку неорієнтованих КНБК, яка передбачає його проведення у два етапи.

На першому етапі КНБК розраховується за загальноприйнятною методикою, в якій опорно-центрувальні елементи розглядаються як точкові

опори (рис. 1,а), а сам метод розрахунку базується на розв'язанні диференціального рівняння пружної осі КНБК.

Складається система диференціальних рівнянь осі компоновки, після розв'язання яких визначаються значення кутів повороту, величини прогинів та згинаючих моментів на елементах КНБК.

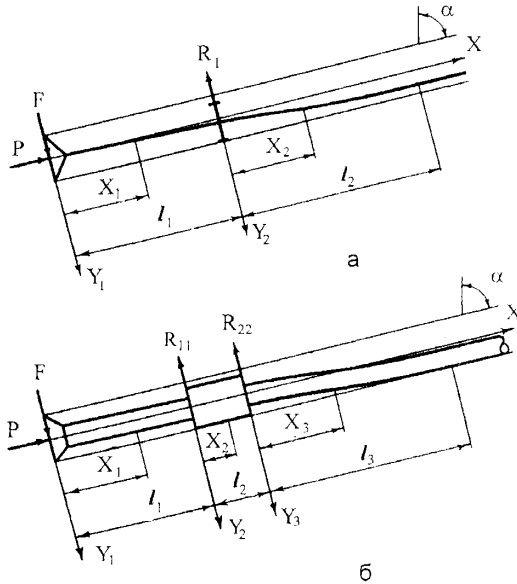


Рис. 1. Розрахункова схема одноцентраторної КНБК для першого (а) та другого (б) етапів її розрахунку

На другому етапі розрахунку, за відомими напрямками повороту центрувальних пристроїв, уточнюється схема реального розташування КНБК у стовбурі свердловини (рис. 1,б), де ОЦЕ фігурує як окрема ділянка компоновки зі своїми геометричними і ваговими параметрами та жорсткісною характеристикою. При цьому, під час повороту ОЦЕ за годинниковою стрілкою центратор контактує зі стінкою свердловини своєю правою частиною (реакція R_{22}), а під час повороту проти годинникової стрілки – крайньою лівою (реакція R_{11}).

Згідно з наведеною схемою отримуємо уточнені диференціальні рівняння прогину осі бурильної колони, а також функції її прогинів, кутів повороту та згинаючих моментів. За конкретними граничними умовами складається нова система нелінійних рівнянь для розрахунку статичних характеристик взаємодії елементів КНБК.

На основі удосконаленої методики розрахунку розмірів вибійних компоновок оптимізовано конструктивні параметри семи типів неорієнтованих КНБК для роторного способу буріння та для буріння із застосуванням

гідравлічних вибійних двигунів із величинами відхиляючих сил на долоті в діапазоні -2 – 8,5 кН.

На основі графоаналітичного методу доведено можливість компенсації поперечної складової ваги спрямовуючої секції двоцентраторних неорієнтованих КНБК з різними величинами відхиляючої сили на долоті за рахунок збільшення згинаючого моменту з боку їх верхньої частини в діапазоні зміни зенітного кута від 10 до 40°, що дало змогу розробити конструкції пасивних вибійних компонок для різних завдань спрямованого буріння, які є нечутливими до зміни кута нахилу свердловини в зазначеному діапазоні. На рис. 2 зображено графічну залежність діаметра верхнього центратора від довжини верхньої секції для пасивних роторних КНБК з різними розрахунковими величинами відхиляючої сили на долоті.

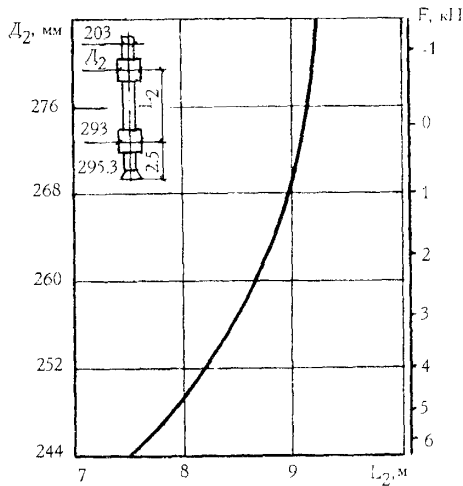


Рис. 2. Залежність діаметра верхнього центратора D_2 від довжини верхньої секції L_2 для пасивних роторних КНБК (дол.-295,3мм, ОБТ-203мм-2,5м, ОЦЕ-293мм, ОБТ-203мм- L_2 , ОЦЕ- D_2 , ОБТ-203мм) з різними величинами відхиляючої сили на долоті

Результати аналізу стійкості КНБК на проектній траєкторії показали, що внаслідок інтенсивного зношення ОЦЕ змінюється їх геометрія і схема взаємодії зі стовбуром свердловини. У даному випадку доцільно використовувати трицентраторні компоновки, які відрізняються мінімальною чутливістю до впливу на їх роботу зазначеного дестабілізуючого фактора. Із зростанням зенітного кута свердловини зменшується ступінь впливу дестабілізуючих факторів на роботу КНБК, однак за умови інтенсивного викривлення стовбура слід використовувати пасивні двоцентраторні КНБК, які взагалі не реагують на зміну зазначеного параметра траєкторії свердловини.

На основі комплексного аналізу поведінки різних типорозмірів КНБК при зміні гірничо-технологічних умов буріння розроблено рекомендації для найбільш ефективного застосування одно-, дво- і трицентраторних компоновок в конкретних геологічних умовах з урахуванням специфіки технології буріння.

Третій розділ присвячено розробці КНБК для різних завдань спрямованого буріння з розширеними функціональними можливостями. Зокрема, проведено дослідження механізму роботи відхиляючих пристроїв зі змінним робочим профілем – децентраторів бурильної колони, розроблено методику розрахунку вибійних компоновок на їх основі та проведено розрахунок активних КНБК для різних завдань спрямованого буріння.

Коротка характеристика конструктивних особливостей децентраторів бурильної колони – пристрою для буріння похило-спрямованих свердловин (ПБПС-295,3) і відхилювача бурильної колони (ВБК-295,3) наведена у сьомому розділі.

Результати дослідження механізму роботи децентратора дали змогу отримати рівняння для визначення його ексцентриситету в початковому та робочому положеннях, а також зробити висновок, що раціональним його конструктивним варіантом, виходячи зі стабільності роботи в різних положеннях у стовбурі свердловини, слід вважати виконання пристрою із 6-ма або 5-ма контактуючими елементами.

На основі розробленої методики розрахунку неорієнтованих КНБК проведено розрахунки одноопорної (рис. 3) та двоопорної (рис. 4) активних вибійних компоновок для набору зенітного кута свердловини під час роторного способу буріння. Графічні залежності засвідчують, що порівняно з традиційною двоцентраторною неорієнтованою КНБК ($R_{pn}=147,5\text{мм}$), застосування децентратора з максимальним радіусом ($R_{pn}=149,5\text{мм}$) дає змогу збільшити відхиляючу силу на долоті на 10-40% залежно від значення зенітного кута свердловини та конструкції компоновки.

При збільшенні (зменшенні) осьового навантаження на долото зростає або зменшується активний та реактивний моменти двигуна, що спричиняє закручування або, навпаки, розкручування бурильної колони. Зміна осьового навантаження на долото в межах від 30 до 250 кН при довжині бурильної колони близько 1300-1500 м призводить до закручування бурильної колони на кут 40-45°.

Якщо буріння за допомогою КНБК на базі ПБПС-295,3 почати при незначному навантаженні на долото, а потім його збільшити, то площина дії пристрою повернеться проти годинникової стрілки на деякий кут до апсидальної площини свердловини. При зміні навантаження на долото із максимальних величин до мінімальних площина папряму дії пристрою, навпаки, змінює своє положення в бік збільшення азимуту свердловини тобто за годинниковою стрілкою. Завдяки дії пружних сил бурильної колони при повороті пристрою в межах 50° він гарантовано знаходиться в робочому положенні. На основі такого підходу розроблено технологічний прийом керування магнітним азимутом просторового викривлення стовбура свердловини за допомогою активних компоновок такого типу.

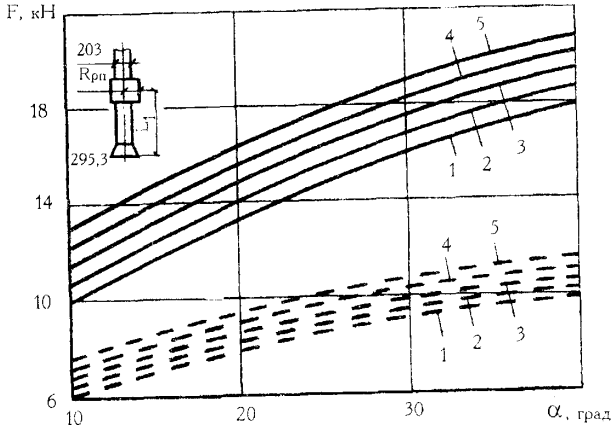


Рис. 3. Залежність відхиляючої сили на долоті від зенітного кута свердловини для одноопорної КНБК (дол.-295,3мм, ОБТ-203мм- L_1 , ВБК-295,3, ОБТ-203мм):
 — $L_1=2$ м; -- $L_1=3$ м; 1, 2, 3, 4 - радіус відхилювача в робочому положенні R_{pn} відповідно 147,5, 148,0, 148,5, 149,0 і 149,5 мм

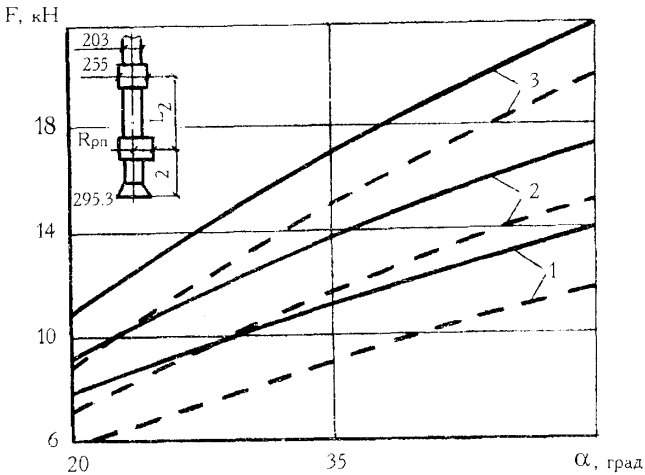


Рис. 4. Залежність відхиляючої сили на долоті від зенітного кута свердловини для двоопорної КНБК (дол.-295,3мм, ОБТ-203мм-2м, ВБК-295,3, ОБТ-203мм- L_2 , ОЦЕ-255мм, ОБТ-203мм): — $R_{pn}=149,5$ мм; -- $R_{pn}=147,5$ мм);
 1, 2, 3 - довжина верхньої секції L_2 відповідно 14, 16 і 18м.

Для ефективності боротьби з викривленням свердловин на основі децентраторів розроблено неорієнтовані КНБК підвищеної активності для роторного і турбінного способів буріння. На рис. 5 наведено графічні залежності для двоопорної неорієнтованої компоновки, що застосовується під час роторного способу буріння. Принцип роботи такої КНБК базується на ефекті важеля, при цьому максимальна відхиляюча сила на долоті досягає значень у межах -3,7 - -5,5 кН. Тобто такого типу активна КНБК дає змогу реалізувати на долоті максимальну відхиляючу силу в 3-5,5 рази більшу, ніж стандартна компоновка маятникового типу, робота якої базується на дії гравітаційних сил.

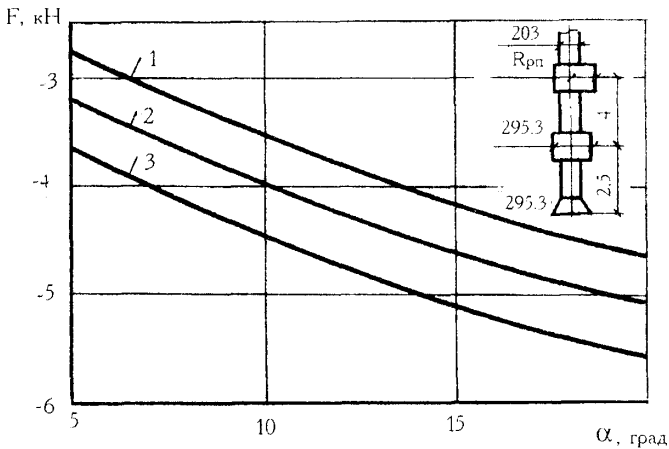


Рис. 5. Залежність відхиляючої сили на долоті від зенітного кута свердловини для двоопорної активної КНБК (дол.-295,3мм, ОБТ-203мм-2,5м, ОЦЕ-295,3мм, ОБТ-203мм-4м, ВБК-295,3, ОБТ-203мм): 1, 2, 3 – радіус ВБК-295,3 в робочому положенні $R_{рп}$ відповідно 148,5, 149,0, 149,5мм

Під час буріння вертикальних ділянок свердловини жорсткими компоновками в результаті дії дестабілізуючих факторів та перевищення величини критичного навантаження на долото з'являється певної величини відхиляюча сила на долоті та зростає його загальний кут повороту, що призводить до викривлення свердловини. Для підвищення стійкості такого типу КНБК було розроблено конструкцію долота з підвищеною стабілізуючою здатністю, опис якої наведено в сьомому розділі. У результаті теоретичних досліджень доведено, що застосування модифікованого долота в складі КНБК призводить до зменшення швидкості бокового фрезерування стінки

свердловини в 2,2-2,8 рази та до збільшення критичної величини осьового навантаження на долото як мінімум на 18%.

У четвертому розділі проведено дослідження процесу викривлення спрямованих свердловин під час буріння в анізотропних геологічних структурах та розроблено математичну модель просторового викривлення свердловин під час буріння неорієнтованими КНБК у складних геологічних умовах.

Для аналізу відхиляючого фактору анізотропного середовища розроблено геометричну модель взаємодії долота з анізотропною геологічною структурою, зображеною на рис. 6. Обґрунтовано, що кут ω нахилу осі свердловини до лінії взаємодії долота з пластом ОС, який лежить у площині Π , перпендикулярній площині геологічної структури Σ , доцільно вважати критерієм оцінювання величини впливу відхиляючого фактору анізотропії який має вигляд миттєвого кутового зміщення вектора швидкості буріння. За умови $\omega=45^\circ$ вплив анізотропії проявляється максимально.

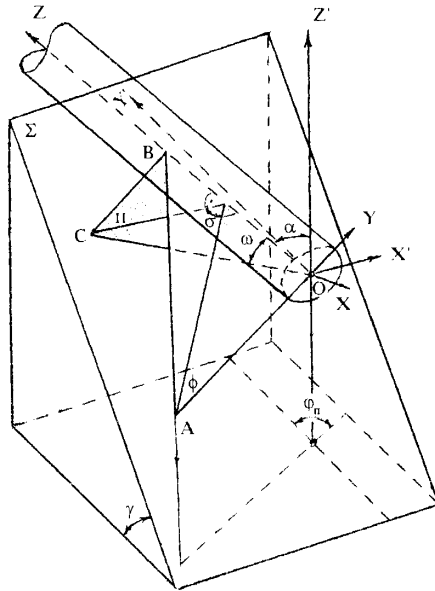


Рис. 6. Геометрична модель взаємодії долота з геологічною структурою у вигляді паралельних площин

Доведено, що величина кута σ між площинами Π та Φ конкретно визначає інтенсивність як зенітного, так і азимутального викривлення свердловини. Тому кут σ пропонується вважати геометричним критерієм

оцінки ступеня впливу відхиляючого фактору анізотропії геологічної структури на процес зміни просторової орієнтації свердловини.

Отримано такі залежності для розрахунку числових величин зазначених критеріїв:

$$\omega = \arcsin \left\{ \frac{\cos[\alpha - \arctg(\operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_n)] \cos \gamma}{\cos[\arctg(\operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_n)]} \right\}; \quad (3)$$

$$\sigma = \arcsin \left(\frac{\sin \gamma \sin \varphi_n}{\cos \omega} \right), \quad (4)$$

а також зенітної μ_α та азимутальної μ_φ складових відхиляючого фактору анізотропної геологічної структури (відповідних проєкцій кута миттєвої зміни напрямку результуючої швидкості руху долота)

$$\mu_\alpha = \arctg \left(\frac{h}{2} \sin 2\omega \cos \sigma \right); \quad (5)$$

$$\mu_\varphi = \arctg \left(\frac{h}{2} \sin 2\omega \frac{\sin \sigma}{\sin \alpha} \right). \quad (6)$$

де α – зенітний кут свердловини; γ – кут падіння пластів; φ_n – напрям свердловини відносно підняття пластів; h – буровий індекс анізотропії.

Зі збільшенням кута ω зростають величини як зенітної, так і азимутальної складових відхиляючого фактору анізотропії. Зі збільшенням кута σ кут μ_α зменшується, а кут μ_φ – , навпаки, збільшується.

За допомогою виразів (5) і (6) є можливість якісно і кількісно оцінити тенденцію свердловини до зміни зенітного та азимутального кутів під впливом анізотропної геологічної структури. На рис.7 зображено приклад графічної залежності μ_α і μ_φ від φ_n за $\gamma=15^\circ$ і $h=0,01$. результати їх аналізу свідчать, що за всіх значень φ_n спостерігається тенденція до зменшення зенітного кута свердловини, яка за $\varphi_n=180^\circ$ є максимальною. Азимут свердловини в проміжку $0 < \varphi_n < 180^\circ$ зберігає тенденцію до зменшення, а в діапазоні $180 < \varphi_n < 360^\circ$ – до збільшення. Максимальні абсолютні значення μ_φ спостерігаються за значень φ_n 90 і 270° , що пов'язано із величинами кутів ω і σ .

На наступному етапі було уточнено складові $\Phi_{\Gamma\alpha}$ і $\Phi_{\Gamma\varphi}$ техніко-технологічного фактору викривлення свердловин в рівняннях (1) і (2) як для турбінного, так і для роторного способів буріння, що разом із (5) і (6) дало змогу отримати рівняння траєкторії руху долота під час буріння в складних геологічних умовах із застосуванням гідравлічних вибійних двигунів

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{2}{L} \left[\left(\beta_0 + \Theta + K \frac{F_{\text{від}}}{F_{\text{ос}}} \right) \cos \beta_n + \frac{h}{2} \sin 2\omega \cos \sigma \right]; \quad (7)$$

$$\frac{d\varphi}{dS} = \frac{2}{L \sin \alpha} \left[\left(\beta_0 + \Theta + K \frac{F_{\text{від}}}{F_{\text{ос}}} \right) \sin \beta_n + \frac{h}{2} \sin 2\omega \sin \sigma \right] \quad (8)$$

та для роторного способу буріння

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{2}{L} \left[\beta_0 + \Theta + K \frac{F_{\text{від}}}{F_{\text{ос}}} \cos \rho + \frac{h}{2} \sin 2\omega \cos \sigma \right]; \quad (9)$$

$$\frac{d\varphi}{dS} = \frac{2}{L \sin \alpha} \left[K \frac{F_{\text{від}}}{F_{\text{ос}}} \sin \rho + \frac{h}{2} \sin 2\omega \sin \sigma \right], \quad (10)$$

де L – довжина спрямовуючої секції; β_0 – кут неспівосності КНБК; Θ – поворот осі долота під дією прикладеного до нього осьового навантаження; K – коефіцієнт фрезеруючої здатності; $F_{\text{від}}$, $F_{\text{ос}}$ – відповідно відхиляюча сила і осьове навантаження на долото; β_n – кут повороту компоновки під дією реактивного моменту турбобура; h – буровий індекс анізотронії; ρ – кут накочування долота.

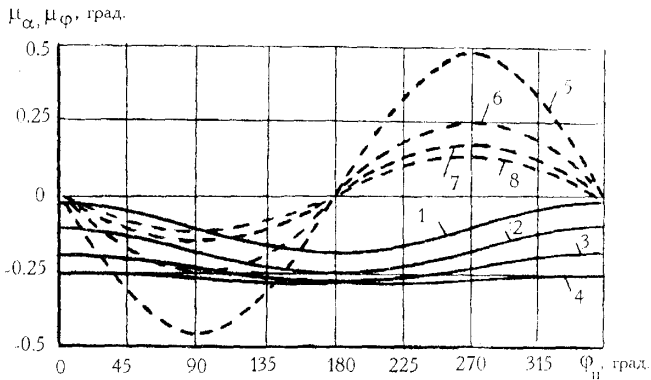


Рис. 7. Залежності μ_α , μ_φ від φ_n за різних значень α : $h = 0,01$; $\gamma = 15^\circ$;
1-4 – залежності $\mu_\alpha = f(\varphi_n)$; 5-8 – залежності $\mu_\varphi = f(\varphi_n)$; 1.5 - $\alpha = 10^\circ$; 2.6 - $\alpha = 20^\circ$; 3.7 - $\alpha = 30^\circ$; 4.8 - $\alpha = 40^\circ$

У п'ятому розділі сформовано наукові основи підвищення роботоздатності опорно-центрувального інструменту на стадії його конструкторського проектування.

Для забезпечення виконання основних функціональних задач КНБК їх опорно-центрувальні елементи повинні бути виготовлені із розрахунковим номінальним діаметром по всій довжині опорної поверхні та відзначатися максимальною зносостійкістю в процесі роботи.

Для підвищення зносостійкості опорно-центрувального інструменту розроблено раціональну схему армування, яка передбачає розміщення лінії розташування зубців під кутом α до робочої дуги лопаті (рис. 8). При цьому робоча дуга лопаті, яка перпендикулярна твірній циліндричної робочої поверхні інструменту, вважається її елементарною ділянкою.

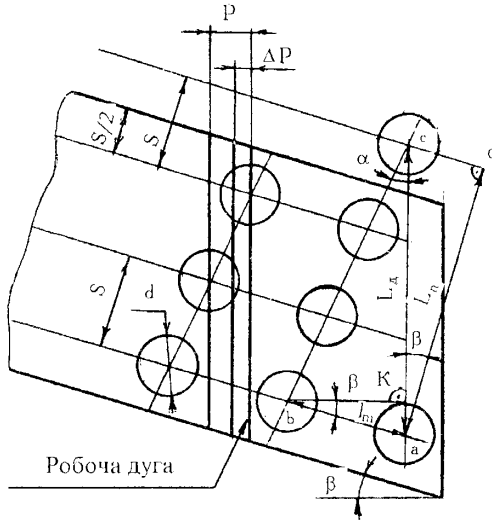


Рис. 8. Схема для визначення кута нахилу лінії розташування зубців на лопаті до її робочої дуги

Для характеристики будь-якої схеми озброєння робочих поверхонь калібрувального і опорно-центрувального інструменту щодо забезпечення його високої зносостійкості і рівномірності зношування по довжині вибрано та обґрунтовано відповідні критерії оцінювання:

$$\delta = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_{\text{сер}}} - \text{коефіцієнт рівномірності розподілу твердого сплаву по}$$

робочій дузі лопаті;

$$\eta = \frac{l_{\text{сер}}}{l_{\text{д}}} - \text{питома насиченість твердим сплавом робочої поверхлі}$$

інструменту, де l_{\max} , $l_{\text{сер}}$, l_{\min} – відповідно мінімальна, середня і максимальна кількість твердого сплаву по робочій дузі. Перший критерій характеризує рівномірність зношування лопаті по довжині, другий – інтенсивність її зношування взагалі.

Отримано рівняння для розрахунку числового значення кута α нахилу лінії розташування зубців до робочої дуги лопаті:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{S \cdot n}{l_m \cos^2 \beta} - \text{tg} \beta \right), \quad (11)$$

де S – міжрядова відстань; n – кількість рядів зубців; l_m – крок зубців; β – кут нахилу лопаті до твірної опорної поверхні.

Рациональна схема озброєння опорноцентрувального інструменту в лопатевому виконанні захищена патентом України № 51272А, F21В10/26.

На рис. 9 зображено графічну залежність η від α та діаграму δ за різних значеннях α , а також раціональний діапазон значень кута α , що характеризується мінімальними значеннями σ і максимальними значеннями η .

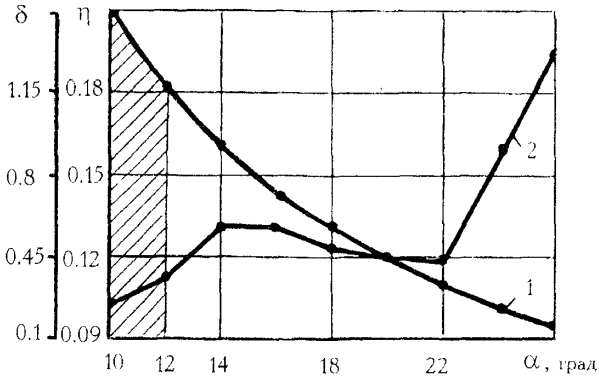


Рис. 9. Залежність питомої насиченості лопаті твердим сплавом η від кута нахилу лінії розташування зубців на лопаті до її робочої дуги α і діаграма коефіцієнта рівномірності розподілу твердого сплаву δ за різних значень кута:

1- питома насиченість лопаті твердим сплавом, $\eta = \frac{l_{сер}}{l_0}$; 2- коефіцієнт

рівномірності розподілу твердого сплаву по лопаті, $\sigma = \frac{l_{max} - l_{min}}{l_{сер}}$

У результаті аналізу результатів розрахунку різних варіантів параметрів запропонованої схеми армування було отримано таке раціональне їх співвідношення: $\alpha=10^\circ$, $S=24$ мм, $d=9-10$ мм.

Оскільки для роботи в абразивних породах середньої твердості і твердих доцільно використовувати калібрувальний і опорно-центрувальний інструмент в шарошковому виконанні, вказано основні шляхи оптимізації конструктивних параметрів такого типу інструменту, виходячи з потреби забезпечення необхідного ступеня його роботоздатності. Зокрема, удосконалено вже існуючий метод апроксимації твірної опорної поверхні шарошки складного профілю (крива четвертого порядку) дугою кола певного діаметра, що дає змогу максимально наблизити її форму до теоретичної, що значно спрощує технологічний процес виготовлення контактуючих елементів опорно-центрувальних пристроїв.

Виходячи з необхідності забезпечення рівності довжини опорних поверхонь шарошок, запропоновано

керуватись величинами питомого ковзання по їх вінцях, а також числовими значеннями твердості твердосплавних зубців та модулями пружності їх матеріалу.

Відповідно до прийнятих критеріїв оптимальності конструкції опорно-центрувальних пристроїв в шарошковому виконанні розроблено графічні алгоритми моделювання геометричних параметрів виконавчих органів такого типу інструменту, що дозволило автоматизувати найбільш трудомісткі конструкторські операції, підвищити точність їх виготовлення та рівень роботоздатності вже на стадії їх конструкторського проектування.

Шостий розділ присвячено розробці науково-методичних основ підвищення точності проведення спрямовано викривлених свердловин.

Відхиляючі фактори техніко-технологічного та геологічного характеру діють одночасно та незалежно один від одного і можуть залежно від напрямку дії або взаємно підсилуватись, або послаблюватись. Тому, беручи до уваги принцип суперпозиції, є можливість за допомогою рівнянь (7), (8), (9) і (10) окремо розраховувати інтенсивність викривлення свердловини під дією факторів різного характеру. На основі такого підходу розроблено методику розрахунку та прогнозування викривлення свердловини, що передбачає їх проведення у два етапи.

На першому етапі проводиться окремо розрахунок формування траєкторії стовбура свердловини під дією тільки фактору викривлення геологічного характеру, що дає можливість провести аналіз процесу її природного викривлення. На другому етапі проводиться розрахунок траєкторії свердловини під комплексним впливом факторів як геологічного, так і техніко-технологічного характеру.

Для розрахунку траєкторії свердловини передбачається така послідовність способів і операцій, що є основою розробленої методики.

1. Формуються основні вихідні дані, що стосуються геометричних параметрів свердловини і геологічної структури в конкретних тектонічних блоках.

2. Проводиться аналіз геологічних умов буріння та статистичних даних про викривлення сусідніх свердловин.

3. Розраховується інтенсивність зенітного та азимутального викривлення під дією фактору викривлення геологічного характеру на всіх ділянках профілю свердловини за винятком інтервалу набору зенітного кута, який розраховується також з урахуванням дії відхилювача.

4. Будується профіль і план траєкторії осі свердловини під дією специфіки геологічних умов буріння і проводиться їх аналіз із зазначенням необхідних заходів для спрощення отриманої траєкторії та підвищення точності потрапляння свердловини в коло допуску.

5. На другому етапі розраховується теоретична просторова траєкторія стовбура свердловини при врахуванні одночасної дії техніко-технологічних та геологічних факторів відповідно до способу буріння.

6. За необхідності, для більш точного проведення свердловини, уточнюються параметри викривлення під дією техніко-технологічного фактору і розрахунок повторюється.

Основна задача технології спрямованого буріння полягає в оперативному визначенні критичних значень відхилення осі свердловини від проектного положення і прийнятті оперативних заходів для забезпечення її потрапляння в круг допуску, у зв'язку з чим розроблено методику контролю за траєкторією стовбура свердловини і коригування її параметрів викривлення.

Оперативний контроль за положенням осі свердловини в процесі буріння пропонується проводити за допомогою радіусограми, яка відображає динаміку процесу відхилення її траєкторії від проектної по всій довжині стовбура свердловини (рис. 10). Кожна точка радіусограми засвідчує відхилення осі свердловини на різних глибинах у відношенні до поточного круга допуску, а сама радіусограма дає можливість уточнити умови роботи КНБК і специфіку механізму викривлення свердловини.

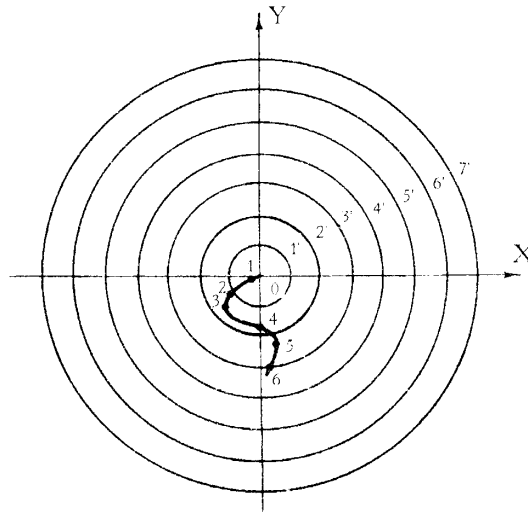


Рис. 10. Радіусограма відхилення стовбура свердловини 12-Лопушна від її проектної траєкторії

$\frac{1}{1'}, \frac{2}{2'}, \frac{3}{3'}, \frac{4}{4'}, \frac{5}{5'}, \frac{6}{6'}$ - відношення глибини свердловини до її поточного радіуса

круга допуску відповідно $\frac{500}{7,5}, \frac{1000}{15}, \frac{1500}{22,5}, \frac{2000}{30}, \frac{2500}{37,5}, \frac{3000}{45}$ м

Для оцінювання якості (точності) проведення похило-спрямованої свердловини запропоновано використовувати такий критерій:

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{r_{\phi_i}}{r_{D_i}}}{n}, \quad (12)$$

де r_{ϕ_i} – фактичне зміщення вибою свердловини від центра круга допуску на певній глибині; r_{D_i} – допустима норма його зміщення від проекту (радіус поточного круга допуску); n – кількість проведених розрахунків.

Під час здійснення контролю за траєкторією стовбура свердловини за допомогою радіусограми у разі незначного виходу її осі за поточний круг допуску, є можливість проведення оперативного коригування траси свердловини виключно по гвинтовій лінії з подальшим продовженням буріння по прямій або кривій, які будуть знаходитись в одній апсидальній площині – вертикальній площині, яка проходить через дотичні до осі свердловини на даній ділянці. Доведено, що під час буріння свердловини по гвинтовій лінії радіуса R , її проекцію на горизонтальну площину можна апроксимувати дугою кола радіуса R_1

$$R_1 = \frac{L_1 + L_2}{2 \sin(\alpha_n - \beta)} \sin^2 \alpha, \quad (13)$$

де L_1, L_2 - довжини відповідно нижньої та верхньої секцій відхилювача, α_n - кут перекосу валів відхилювача; β - кут нахилу нижньої секції відхилювача до осі свердловини; α - зенітний кут свердловини.

На рис. 11 наведено розрахункову схему коригування просторової траєкторії свердловини по гвинтовій лінії. Вісь пробуреної свердловини (крива ОА) необхідно в плані повернути по дузі кола AB радіуса R_1 з метою потрапляння в точку $B(x_i, y_i)$ та подальшого її буріння в апсидальній площині на ділянці ВД. При цьому дотична до дуги кола AB в точці $A(x_0, y_0)$ складася кут φ з віссю Y , яка спрямована в бік магнітного полюса, а точка $D(x_i, y_i)$ відображає центр круга допуску. Якщо $\varphi_1 > \varphi$, то траєкторію свердловини в плані слід повернути у бік осі X (варіант 1), а при $\varphi_1 < \varphi$ вісь свердловини повинна бути переорієнтована у бік осі Y (варіант 2). Отже, необхідно знайти координати x_i і y_i точки B та кут σ повороту траєкторії свердловини.

Отримано систему двох многочленів 2-го степеня від змінних x_i та y_i

$$\begin{cases} -y_i^2 + y_i(y_1 + y_0 \mp R_1 \sin \varphi) - y_1(y_0 \mp R_1 \sin \varphi) - \\ -x_i^2 + x_i(x_i + x_0 \pm R_1 \cos \varphi) - x_1(x_0 \pm R_1 \cos \varphi) = 0, \\ x_i^2 - 2x_i(x_0 \pm R_1 \cos \varphi) + (x_0 \pm R_1 \cos \varphi)^2 + y_i^2 - \\ - 2y_i(y_0 \mp R_1 \sin \varphi) + (y_0 \mp R_1 \sin \varphi)^2 = R_1^2, \end{cases} \quad (14)$$

розв'язок якої у відповідності з теорією виключення є досить громіздким, тому розроблено спеціальну програму „Траєкторія” у математичному пакеті Maple 8.

Слід зазначити, що за наявності двох знаків, знак „+” стосується першого варіанту задачі, а знак „-” відповідає другому варіанту.

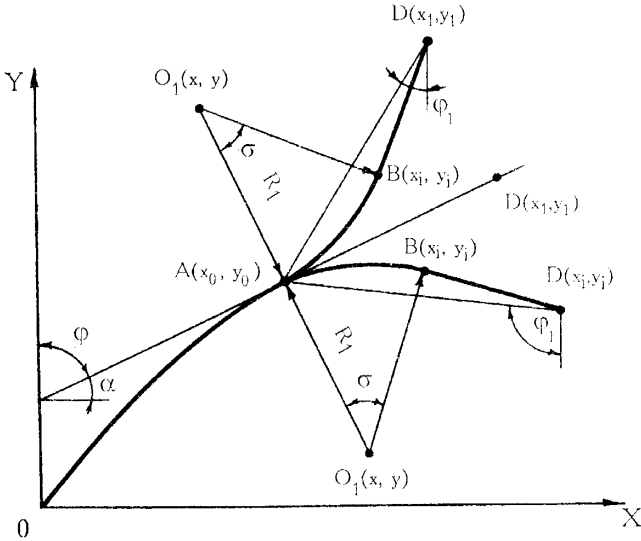


Рис. 11. Розрахункова схема коригування просторової траєкторії осі свердловини по гвинтовій лінії

Для розрахунку кута повороту траєкторії свердловини отримано таке рівняння:

$$\sigma = \arccos\left(\frac{\mp \cos \varphi(x_i - \bar{x}) \pm \sin \varphi(y_i - \bar{y})}{R_1}\right). \quad (15)$$

Для проведення свердловини в апсидальній площині проведено аналіз всіх її варіантів та отримано аналітичні залежності для визначення радіуса дуги кола осі свердловини за необхідності зменшення або, навпаки, збільшення її зенітного кута.

Проведено аналіз конструктивних особливостей сучасних тришаршкових доліт, на основі якого запропоновано та обгрунтовано коефіцієнт ресурсу фрезерування шаршкових доліт, що характеризує конструкцію інструменту з точки зору тривалості процесу фрезерування стінки свердловини. На основі коефіцієнта ресурсу фрезерування шаршкових доліт розроблено методичний підхід до їх раціонального вибору, що дає змогу реалізувати функціональні можливості різних типів компоновок шляхом забезпечення необхідної ефективності процесу фрезерування стінок свердловини. Розраховано показники фрезерування для основних типорозмірів тришаршкових доліт.

Сьомий розділ присвячено розробці технічних засобів, промисловим випробуванням КНБК на їх основі та апробації методики розрахунку і прогнозування викривлення свердловин.

Для розширення технологічних можливостей застосування різних типів неорієнтованих КНБК розроблено конструкції децентраторів бурильної колони. Зокрема, для турбінного способу буріння розроблено пристрій для буріння похило-спрямованих свердловин ПБПС-295,3 (патент України 50913А, Е21 В 4/02), який зображено на рис. 12, а для роторного – відхилювач бурильної колони ВБК-295,3. Робота децентраторів бурильної колони полягає в тому, що при входженні в похилу ділянку стовбура свердловини кулі 10 скочуються в отвори нижніх лопатей 9, які розблоковуються. Під дією сил гравітації низ колони прогинається, а лопаті вступають в контакт із стінкою свердловини. При подальшому бурінні лопаті гальмуються стінкою свердловини і переміщуються в пазах 3, які виконані під кутом до осі пристрою. В результаті цього КНБК займає в стовбурі ексцентричне положення, а на долоті створюється відхиляюча сила, пропорційна ексцентриситету.

Промислові випробування КНБК на базі ПБПС-295,3 проведено в Івано-Франківському УБР на свердловині 502 Бугруватівського родовища. В інтервалі 429-451 м застосовувалась така КНБК: дол. - 295,3мм, подовжувач-178мм-3м, турбобур Т12РТ-240 з ПБПС-295,3 на ніпелі, ОБТ-203мм-120м, СБТ. Розрахункове значення відхиляючої сили на долоті – 5,2 кН. Zenітний кут в зазначеному інтервалі зріс з 5°30' до 7°45' із середньою інтенсивністю зміни 1,122 град/10м, яка була удвічі вищою, за необхідну. В інтервалі 451-552м використовувалась аналогічна компоновка із розрахунковою величиною відхиляючої сили 2,4 кН за рахунок зменшення ексцентриситету. В результаті zenітний кут свердловини зріс з 7°45' до 12°00' (до проектного значення) із середньою інтенсивністю зміни 0,42 град/10м. Після 19 год роботи в свердловині радіальний люфт опорних елементів ПБПС-295,3 склав 0,3 мм, що свідчить про його роботоздатність.

Промислові випробування насивних неорієнтованих КНБК проведено також на свердловині 502-Бугруватівська, та у Полтавському ВБР на свердловині 340 Яблунівського родовища. При бурінні свердловини 502-Бугруватівська в інтервалі 920-1200м застосовувалась така КНБК: дол. - 295,3мм, ОБТС-203-2,5м, ОЦЕ-293мм, ОБТС-203-9,1м, ОЦЕ-274мм, ОБТС-203-120м, СБТ. Компоновка забезпечила стабілізацію zenітного кута на рівні 11°30'-11°00'. При бурінні свердловини 340-Яблунівська в інтервалі 2421-2702м (КНБК: дол. - 295,3мм, ОБТС-203-2,5м, ОЦЕ-293мм, ОБТС-203-8,3м, ОЦЕ-254мм, ОБТС-203-120м, СБТ) було досягнуто стабільної інтенсивності викривлення стовбура свердловини на рівні 0,26 град/10м. Середні значення інтенсивності викривлення по кожному довбанню не відрізнялися від середнього показника по інтервалу більш ніж на 4,8%.

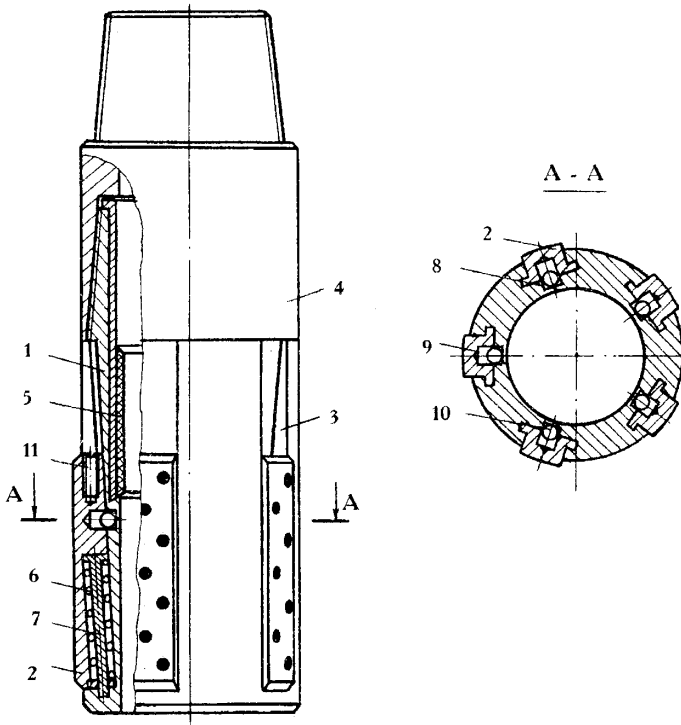


Рис. 12. Пристрій для буріння похило-спрямованих свердловин ПБПС-295,3:
 1-корпус; 2-лопаті; 3-пази; 4-перехідник; 5-радіальна гумовометалева опора;
 6-пружини; 7-штоки; 8-отвори в корпусі; 9-отвори в лопатях;
 10-кулі; 11-регулюючі гвинти

Для буріння вертикальних та похило-прямолинійних ділянок свердловини розроблено конструкцію долота з підвищеною стабілізуючою здатністю (патент України №20219, E21 В 10/08), загальний вигляд якого зображено на рис. 13. Шарошки долота у верхній частині виконано у вигляді озброєних зубцями сферичних поверхонь радіуса r , що дає йому змогу формувати у центрі вибою сферичний виступ, завдяки якому підвищується опорно-центрувальна здатність інструменту.

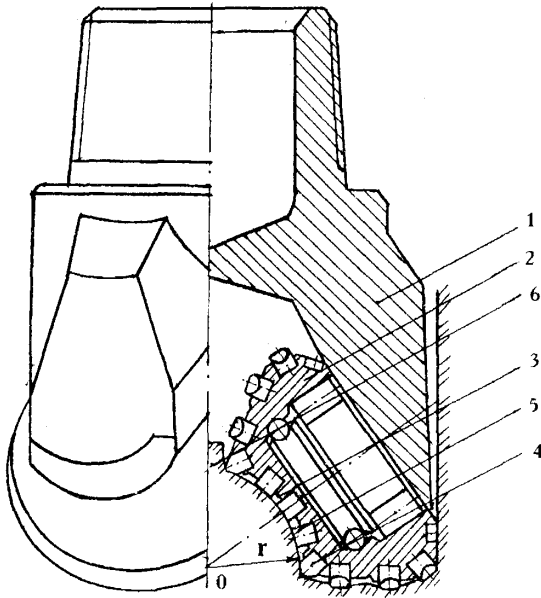


Рис. 13. Долото із підвищеною стабілізуючою здатністю:

- 1 – корпус; 2 – шарошка; 3 – сферична поверхня; 4 – клиноподібний зубок;
5 – циліндричний зубок; 6 – стовп породи

Для оперативної зміни місця розташування опорно-центрувального пристрою розроблені конструкції пересувних центраторів. При скручуванні корпусу пристроїв і цанги діаметр останньої зменшується, в результаті центратор шляхом фрикційної взаємодії внутрішньої поверхні цанги з корпусом турбобура або обваженими трубами закріплюється на них.

Для оперативного вимірювання zenітного кута свердловини буровою бригадою розроблено конструкцію кутоміра вкидного типу KB-295, загальний вигляд якого наведено на рис. 14. Конструкцію кутоміра захищено патентом України № 53734, 7 Е 21 В 47/022. Кутомір працює наступним чином. Після закінчення буріння пристрій вкидають в трубу. В момент удару кутоміра в долото, завдяки інерційній силі руху вантажу 11, останній звільняється і вдаряється в шток 3, який починає рухатись до упору в корпус 1, стискає цанги фіксатора 6 і звільняє поршень 5. Під дією пружини поршень починає повільно рухатись вниз і через певний час фіксує кульку 9 на сферичній шкалі 8. Відстань від кульки до центра шкали пропорційна величині zenітного кута свердловини.

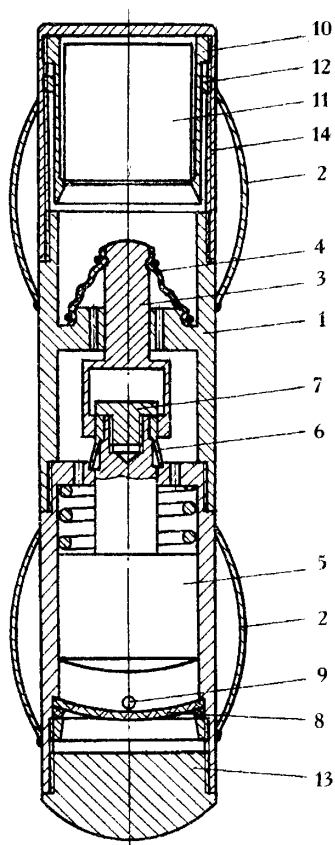


Рис. 14. Пристрій для вимірювання зенітного кута свердловини вкидного типу КВ-295: 1 - корпус; 2 - пружини центрувальні; 3 - шток; 4 - компенсатор зміни об'єму; 5 - ступінчатий поршень; 6 - фіксатор; 7 - фігурний гвинт; 8 - сферична шкала; 9 - кулька; 10 - утримувач; 11 - вантаж; 12 - упорна втулка; 13 - заглушка; 14 - корпусний стакан

Промислово апробацію вищезазначені методики розрахунку та прогнозування викривлення свердловин проведено при бурінні свердловини 12-Лопушна Калуської НГРЕ. Аналіз просторового розташування фактичного і проектного профілів свердловини засвідчив, що методика достовірно описує процес її просторового формування, оскільки максимальне їх відхилення на глибині 3100м склало 24,3м, що майже удвічі менше за допустиме. При цьому коефіцієнт точності проведення свердловини (12) $K_n=0,46$.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

На основі розробки нових методів проектування неорієнтованих КНБК та їх складових елементів, а також виконаних теоретичних та експериментальних досліджень їх роботи в процесі буріння спрямованих свердловин, отримано результати, які дають змогу вивести технологічні можливості застосування неорієнтованих технічних засобів на якісно вищій рівень. Одержано наступні основні результати.

1. На основі геометричної моделі реального розташування КНБК в стовбурі свердловини удосконалено методику розрахунку її розмірів, яка враховує уточнені відстані між точками опори компоновки, а також геометричні, вагові та жорсткісні параметри центраторів.

2. На основі розробленої методики розрахунку КНБК, уточнено конструктивні параметри неорієнтованих компоновок для роторного способу буріння та для буріння із застосування гідравлічних вибійних двигунів, а також проведено аналіз їх стійкості на проектній траскторії.

3. Розроблено конструкції активних неорієнтованих КНБК для набору зенітного кута та боротьби з викривленням свердловин, які дозволяють реалізувати відхиляючу силу на долоті в 1,2 – 5,5 разів більшу, ніж стандартні компоновки, що дає змогу значно розширити технологічні аспекти їх застосування.

4. Доведено, що застосування долота з підвищеною стабілізуючою здатністю в складі КНБК призводить до зменшення швидкості бокового фрезерування стінки свердловини в 2,2-2,8 рази та до збільшення величини критичного осьового навантаження на долото як мінімум на 18%.

5. Запропоновано та обґрунтовано геометричні критерії оцінки величини відхиляючого фактору анізотропії гірських порід та ступеня його впливу на процес зміни просторової орієнтації свердловини, а також отримано аналітичні залежності для розрахунку зенітної та азимутальної складових зазначеного фактору.

6. Удосконалено математичну модель просторового викривлення стовбура свердловини в складних геологічних умовах неорієнтованими КНБК, яка уточнює вплив на цей процес техніко-технологічних та геологічних факторів і дозволяє прогнозувати інтенсивність зміни зенітного та азимутального кутів з врахуванням специфіки різних способів буріння.

7. Сформовано наукові основи підвищення роботоздатності опорного інструменту КНБК на етапі його проектування, які, зокрема, підвищують ступінь зносостійкості його виконавчих органів, а також забезпечують мінімальну величину відхилення їх профілю від теоретичного та відтворення розрахункової величини ексцентриситету децентрувальними пристроями.

8. Створено теоретичні та методичні основи підвищення точності проведення похило-спрямованих свердловин шляхом розробки комплексу нових методів і способів розрахунку, оперативного контролю та коригування параметрів їх траскторій, а також раціонального вибору доліт із необхідним ступенем фрезеруючої здатності.

9. Розроблено конструкції опорно-центрувальних елементів компоновок, їх опорно-децентрувальних пристроїв та пристрою для вимірювання zenітного кута свердловини, а також модифікованого долота із підвищеною стабілізуючою здатністю.

10. Результати промислових випробувань дослідних компоновок, створених на основі розроблених технічних засобів та результатів досліджень, довели їх здатність керувати zenітним викривленням стовбура свердловини в діапазоні від 0 до 1,1 град/10м, а також засвідчили достовірність запропонованої методики розрахунку КНБК.

Апробація методики розрахунку та прогнозування викривлення стовбурів свердловин показала, що вона достовірно описує процес їх просторового формування, оскільки максимальне відхилення фактичного профілю пробуреної свердловини від її проектного склало всього 24 м що в 2 рази менше за допустиме.

Основні результати роботи викладені в таких публікаціях:

1. Воевідко І.В. Аналіз роботи пристрою із змінним робочим профілем для буріння спрямованих свердловин // Нафтова і газова промисловість. - 2004. - №1.- С. 34-35.

2. Воевідко І.В. Аналіз стійкості вибійних компоновок на проектній траєкторії // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2003. - № 4(9). - С. 18-20.

3. Воевідко І.В. Вибір критеріїв оптимізації та розрахунок трицентраторних неорієнтованих вибійних компоновок // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2003.- № 2(6). - С.5-8.

4. Воевідко І.В., Марцинковська І.П. Автоматизоване проектування породоруйнуючих органів шарошкових калібраторів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2002. - № 3 (4). - С.85-87.

5. Воевідко І.В., Марцинковська І.П. Забезпечення точності виготовлення опорно-центруючих пристроїв у шарошковому виконанні на етапі конструкторського проектування // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2004. - № 3(12). - С. 26-28.

6. Воевідко І.В. Математическая модель пространственного искривления ствола скважины при бурении неориентированными КНБК с использованием гидравлических забойных двигателей в сложных геологических условиях // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2002. - № 12. - С. 10-12.

7. Воевідко І.В. Математична модель просторового викривлення стовбура свердловини при роторному способі буріння неорієнтованими КНБК в складних геологічних умовах // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2003. - № 2(7). - С. 32-34.

8. Воевідко І.В. Методика розрахунку та конструювання пасивних неорієнтованих вибійних компоновок для роторного способу буріння // Нафтова і газова промисловість. - 2004. - №2. - С. 19-21.

9. Воевідко І.В. Оцінка впливу анізотропних геологічних структур на тенденцію похило-спрямованих свердловин до зміни азимута // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2003.- № 3(8).- С. 28-31.

10. Воевідко І.В. Разработка неориентированных КИБК для борьбы с искривлением скважин на базе устройства с изменяющимся рабочим профилем // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. - № 1. - С. 8-11.

11. Воевідко І.В. Разработка неориентированных маятниковых компоновок повышенной активности // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. - № 2. - С.2-5.

12. Воевідко І.В. Разработка устройства для измерения зенитного угла скважины // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. - №7. - С. 8-10.

13. Воевідко І.В. Розрахунок компоновок для набору зенітного кута свердловини на базі пристроїв із змінним робочим профілем // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2004. - № 1(7). - С. 8-11.

14. Воевідко І.В. Розробка пристрою для буріння похилоспрямованих свердловин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2003. - № 1(6). - С. 21-23.

15. Воевідко І.В. Розробка раціональної схеми озброєння робочих органів калібруючих та опорно-центруючих інструментів в лопатовому виконанні // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2002.- № 4(5). - С. 85-87.

16. Воевідко І.В., Чудык І.І., Лев О.М. Метод проєктирования неориентированных компоновок низа буровой колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2002. - №11. - С. 17-19.

17. Крижанівський Є.І., Воевідко І.В. Вплив анізотропії гірських порід на зенітне викривлення свердловин з врахуванням їх орієнтації відносно геологічної структури // Нафтова і газова промисловість. - 2003.- №6. - С. 20-22.

18. Крижанівський Є.І., Воевідко І.В. Шарошкове долото із підвищеною стабілізуючою здатністю для буріння вертикальних і похило-прямолінійних свердловин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2007. - № 1(22). - С. 10-13.

19. Мойсисин В.М., Крижанівський Є.І., Воевідко І.В. Про натуральні граничні умови на долоті при розв'язку загальної задачі стійкості бурильної колони // Нафтогазова енергетика. - 2007. - № 1(2). - С. 44-49.

20. Деклар. Патент 20219 України, Е21В 10/08. Бурове шарошкове долото / Крижанівський Є.І., Воевідко І.В.- № 200607841; Заявл. 13.07.2006. Опубл. 15.01.2007. Бюл. №1, 2007р.- 3с.

21. Пат. 50920 України, 6 Е21 В 10/26. Опорноцентруючий пристрій / Крижанівський Є.І., Воевідко І.В., Шандровський Т.Р., Чудик І.І. - № 2001053042; Заявл. 04.05.2001; Опубл. 15.11.2002. Бюл. № 11. – 4с.

22. Пат. 53734 України, Е 21 В 47/022. Пристрій для вимірювання зенітного кута свердловини / Крижанівський Є.І., Воевідко І.В., Івасів В.М., Ліщук В.І. - № 2000021183. Заявл. 29.02.2000. Опубл. 17.02.2003. Бюл. №2. 2003. - 4с.

23. Воевідко І.В. Спосіб вимірювання зенітного кута свердловини // Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України – 2000”. - Івано-Франківськ: УНГА, 2000. - С. 26-28.

24. Воевідко І.В. Разработка пассивных неориентируемых компоновок низа бурильной колонны (КНБК) для турбинного способа бурения // Материалы международной научно-технической конференции „Нефть и газ Западной Сибири”. – Тюмень: ТГНУ, 2003. - Т.1. - С. 68-70.

25. Воевідко І.В. Разработка устройства с изменяющимся рабочим профилем для увеличения интенсивности набора зенитного угла скважины // Материалы международной научно-технической конференции „Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии”. – Могилёв: „Белорусско-российский университет”, 2004.- С. 36-38.

АНОТАЦІЯ

Воевідко І.В. Розробка теоретичних основ і технічних засобів для підвищення точності проведення спрямованих свердловин. - Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2007р.

Вдосконалено методіку розрахунку конструктивних параметрів неорієнтованих компоновок бурильної колони, яка уточнює реальні відстані між її точками опори, а також враховує геометричні, вагові та жорсткісні параметри опорно-центрувальних пристроїв. Розроблено двоцентраторні пасивні компоновки з різними величинами відхиляючої сили на долоті, які не реагують на зміну зенітного кута свердловини в діапазоні від 10 до 40°, а також уточнено розміри п'яти типів неорієнтованих компоновок. На основі пристроїв із змінною геометрією робочого профілю розроблено 8 типів активних компоновок з розширеними технологічними можливостями.

Уточнено вплив відхиляючого фактору анізотропії гірських порід на процес викривлення свердловини та удосконалено аналітичну модель просторового викривлення стовбура свердловини в складних геологічних умовах неорієнтованими компоновками із урахуванням специфіки роторного і турбинного способів буріння.

Для підвищення точності проведення похило-спрямованих свердловин розроблено методіку розрахунку та прогнозування їх викривлення, а також науково-методичні основи контролю за траєкторією стовбура свердловини та коригування її параметрів викривлення.

Основні результати роботи, які стосуються розробки різних типів компоновок і методики розрахунку та прогнозування викривлення свердловин пройшли промислову апробацію, яка засвідчила достовірність результатів досліджень.

Ключові слова: бурильна колона, методика розрахунку, стінка свердловини, центрувальний пристрій, викривлення свердловини, анізотропія гірських порід, зенітний кут, фрезеруюча здатність долота, відхиляюча сила.

АННОТАЦІЯ

Воевидко И.В. Разработка теоретических основ и технических средств для повышения точности проводки направленных скважин.- Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.15.10. – Бурение скважин. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2007 г.

На основании проведённого анализа процесса искривления наклонно-направленных скважин и эффективности использования существующих методов и технических средств для борьбы с их искривлением сделаны выводы, раскрывающие суть проблемы бурения направленных скважин. Доказано, что наиболее перспективными техническими средствами для управления траекторией скважины при бурении в геологических условиях различной степени сложности следует считать неориентированные КНБК, однако их расчёт проводился с использованием упрощённых схем.

Сформулированы основные направления исследований в области разработки и совершенствования технических средств, а также теоретических и методических решений для повышения точности проводки нефтегазовых скважин в заданном направлении.

На основании расчётной схемы реального размещения КНБК в стволе скважины усовершенствована существующая методика расчёта неориентированных компоновок, оперирующая уточнёнными расстояниями между точками опоры, а также геометрическими, весовыми и жёсткостными параметрами центраторов. Доказано, что рациональным критерием расчёта КНБК следует считать условие, когда угол перекоса долота минимальный, а основной функциональный показатель компоновки – отклоняющая сила на долоте. Разработано семь типов одно-, двух- и трёхцентраторных неориентированных КНБК с уточнёнными значениями отклоняющей силы на долоте в диапазоне от -2 до 8,5 кН для выполнения различных задач направленного бурения. Произведен анализ стойкости различных типов КНБК на проектной траектории и разработаны правила их привязки к конкретным геолого-технологическим условиям бурения.

Разработаны конструкции устройств со сменным рабочим профилем – децентраторов бурильной колонны и проведено исследование механизма их работы, а также разработана методика расчёта КНБК на базе такого типа устройств. Проведены расчёты одно- и двухопорных активных забойных компоновок для набора зенитного угла скважины и эффективной борьбы с их искривлением позволяющие увеличить отклоняющую силу на долоте в 1,2 – 5,5 раза. Для увеличения стойкости жёстких компоновок разработана конструкция

долота с повышенной стабилизирующей способностью, использование которого в составе КНБК приводит к уменьшению скорости бокового фрезерования стенки скважины в 2,2-2,8 раза.

Уточнено влияние отклоняющего фактора анизотропии горных пород на процесс искривления скважины. Рассчитаны базовые графические зависимости для количественной и качественной оценки тенденции скважины к изменению её траектории при различном соотношении геометрических параметров пласта и скважины. Усовершенствована аналитическая модель пространственного искривления скважин в сложных геологических условиях неориентированными компоновками с учётом специфики роторного и турбинного способов бурения.

Предложены и обоснованы критерии оценки оптимальности конструкций опорно-центрирующего инструмента в шарошечном и лопастном исполнении, исходя из понятия работоспособности такого типа инструмента. Разработана и оптимизирована рациональная схема армирования лопастных центраторов, а также усовершенствованы математические модели формообразования опорных поверхностей шарошечных опорно-центрирующих устройств и обеспечения их равностойкости по длине.

Для повышения точности реализации проектных профилей скважин разработана методика расчёта и прогнозирования искривления скважин и научно-методические основы контроля за траекторией ствола скважины и корректирования её параметров искривления.

Основные результаты работы, относящиеся к разработке различных типов компоновок и методики расчёта и прогнозирования искривления скважин прошли промысловую апробацию, которая подтвердила работоспособность технических средств и достоверность результатов исследований.

Ключевые слова: бурильная колонна, методика расчёта, стенка скважины, центрирующее приспособление, искривление скважины, анизотропия горных пород, зенитный угол, фрезерующая способность долота, отклоняющая сила.

ABSTRACT

Voyevitko I.V. The working out of scientific-methodical principles and technical means for increasing accuracy of carrying-out oil and gas wells in indicated direction.- Manuscript. Thesis for the Doctor of Technical Sciences degree in the speciality 05.15.10 – Drilling of Wells. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2007.

The methodic of calculation constructive properties of non-approximate drilling string assemblies has been improved. This methodic specifies real distances between its points of support and also takes into consideration geometrical, weight properties and the rock bend hardness of support-centration devices. Double-centralizing passive assemblies with different sizes of deflecting force on bit, which don't react upon the change of zenith angle of well in range from 0 to 40° have been worked out. The sizes of 5 types of non-approximate assemblies have been specified.

On the base of devices with variable geometry of working profile 8 types of active assemblies with extended technological possibilities have been worked out.

The influence of deflecting factor of rock anisotropy on the process of well inclination has been specified. The analytic model of spatial well inclination in complicated geological conditions with a help of non-approximate drilling string assemblies during rotary drilling and turbo drilling has been specified.

The methodic of calculation and forecast of well inclination for increasing accuracy of carrying out inclined wells has been worked out. Scientific-methodical principles of control for trajectory of well hole and correction of its inclination properties have been worked out.

The main results of work referring to working-out different types of assemblies and methodic of calculation and forecast well inclination have passed through the industrial test, which proved the authenticity of received research results.

Key words: drilling, column, methodic of calculation, hole walls, centration device, well inclination, rock anisotropy, zenith angle, lateral bit-drill transference, deflecting force.