

622.24.053

Ч-84

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

ЧУДИК Ігор Іванович

УДК 622.24~~053~~, 053

622.243.27(043)

4-84

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ
НЕОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ
БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ**

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ – 2005

П/ІІВ

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу

Науковий керівник:

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

Офіційні опоненти:



доктор технічних наук, професор
Мойсишин Василь Михайлович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри вищої математики

кандидат технічних наук,
Кунцяк Ярослав Васильович,
ЗАТ "НДІ КБ Бурового інструменту"
(м. Київ), генеральний директор

Провідна установа:

"Український науково - дослідний
інститут природних газів" ДП "Наука
нафтогаз" НАК "Нафтогаз України",
(м. Харків)

Захист відбудеться 7 вересня 2005 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Цю дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розіславий 03 серпня 2005 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Ковбасюк І. М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Збільшення видобутку нафти і газу вимагає підвищення техніко-економічних показників буріння свердловин та зменшення затрат при розробці родовищ. За кордоном цю проблему вирішують шляхом спорудження похило-спрямованих (ПСС) та горизонтальних (ГС) свердловин. На сьогодні вони буряться в Україні, але в невеликих обсягах у зв'язку із складністю у будівництві та недостатністю відповідних технічних засобів. Одним із напрямків покращення якості їх спорудження є використання ефективних компоновок низу бурильної колони (КНБК), в тому числі і неорієнтованих. При бурінні свердловин застосовують різні конструкції таких КНБК, та бажаного результату досягнути вдається не завжди через їх недосконалість, яка зумовлена недостатнім вивченням умов їх роботи у стовбурі свердловини та великим об'ємом теоретичних припущень при проектуванні.

Дослідженням неорієнтованих КНБК займався багато вітчизняних і закордонних вчених. Це, зокрема, Аветисян Н.Г., Белоруссов В.О., Васько І.А., Векерик І.А., Вудс Г., Глушич В.Г., Гулізаде М.П., Григулецький В.Г., Калінін А.Г., Кауфман Л.Я., Козлов Р.В., Лубінський А., Мислюк М.А., Мілхейм К.К., Новиков В.Д., Поваліхін А.С., Оринчак М.І., Саврей С.Я., Сароян А.Є., Сушон Л.Я., Середа Н.Г., Солодкий К.М., Гержберг Ю.М., Яремійчук Р.С., Ясов В.Г. та інші.

Аналіз опублікованих праць у даному напрямі досліджень показав, що існують певні особливості конструкції компоновок (геометричні розміри деяких їх складових) та умови взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини, які не враховуються при розробці і проектуванні неорієнтованих КНБК. Тому проблема вдосконалення методики проектування неорієнтованих компоновок низу бурильної колони є актуальною і потребує подальшого розвитку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з програмами науково-дослідних робіт за договорами Д – 7 П “Наукове обґрунтування створення мобільних установок й інструменту для буріння та ремонту свердловин вантажопідйомністю до 1470 кН” і 199/02 “Розробка та впровадження СТП по вибору КНБК для буріння похило-спрямованих та горизонтальних свердловин” ДАТ “Чорноморнафтогаз”.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності буріння свердловин шляхом вдосконалення методики проектування неорієнтованих компоновок низу бурильної колони.

Основні задачі дослідження:

1. Аналіз існуючих методик розрахунку статичних характеристик взаємодії елементів неорієнтованих КНБК різного призначення з вибоєм і стінками свердловини.



2. Розробка методики поетапного проектування неорієнтованих багатоелементних КНБК при врахуванні особливостей їх конструкцій та умов взаємодії опор зі стінками свердловини шляхом послідовного збільшення кількості ОЦЕ.

3. Проведення експериментальних досліджень для перевірки та коректування вдосконаленої математичної моделі низу бурильної колони.

4. Вдосконалення методики розрахунку енергії деформації багатоелементних неорієнтованих КНБК із двома ОЦЕ для встановлення моменту нестійкої рівноваги компоновок.

5. Апробація отриманих наукових результатів у промислових умовах при бурінні похило-спрямованих та горизонтальних свердловин.

Об'єкт дослідження. Неорієнтовані компоновки низу бурильної колони.

Предмет дослідження. Статичні характеристики взаємодії елементів неорієнтованих компоновок низу бурильної колони з вибоєм та стінками свердловини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач були використані методи теорії пружності, математичного моделювання, програмування і статистики та експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше розроблено методику поетапного проектування неорієнтованих КНБК на основі розрахунку статичних характеристик взаємодії неорієнтованих багатоелементних компоновок із вибоєм та стінками свердловини шляхом послідовного збільшення кількості опор. Вона дозволяє виявляти і враховувати на етапі проектування можливі випадки взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини.

Вдосконалено методику дослідження енергії деформації багатоелементних двоопорних неорієнтованих КНБК і вперше встановлено появу нестійкості рівноваги компоновок. При цьому пружну вісь компоновки вперше представлено поліномами Ерміта.

Розроблено метод перерахунку результатів експериментальних досліджень однорозмірних моделей бурильних колон на натурні багатоелементні КНБК.

Практичне значення одержаних результатів.

1. За допомогою вдосконаленого експериментального стенда та методики перерахунку результатів лабораторних досліджень однорозмірної моделі бурильної колони на натурні багатоелементні неорієнтовані одно- та двоопорні КНБК отримано залежності зміни реакцій на опорах та долоті при різних zenітних кутах нахилу осі свердловини, які можуть бути використані для вибору компоновок.

2. На основі запропонованої математичної моделі поетапного розрахунку сил взаємодії неорієнтованих одно- та двоопорних КНБК з вибоєм та стінками свердловини, які містять декілька елементів різної ваги й жорсткості на згин,

розроблено програму проектування конструкцій компоновок шляхом послідовного збільшення кількості ОЦЕ.

3. За розробленим алгоритмом розрахунку мінімальної енергії деформації багатослементних неорієнтованих КНБК із двома ОЦЕ визначено момент появи нестійкої рівноваги, що може використовуватися як додатковий критерій вибору компоновок.

4. Розроблено і впроваджено стандарт організації України “Компоновки низу бурильної колони для буріння похило-спрямованих і горизонтальних свердловин. Вибір і забезпечення надійності” для ДАТ “Чорноморнафтогаз”.

Особистий внесок здобувача. Вдосконалено математичну модель дослідження і проектування неорієнтованих КНБК із однією і двома опорами шляхом врахування особливостей їх конструкцій та реальних умов взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини [1 – 5], де особистий внесок здобувача становить 50%. Розроблено методику моделювання трубних колон у похило-спрямованих свердловинах для дослідження статичних форм рівноваги пружної осі КНБК у лабораторних умовах [6], де особистий внесок здобувача складає 50%. У співпраці із іншими науковими дослідниками розроблено конструкцію технічного засобу [7] для підвищення якості центрування низу бурильної колони у свердловині, де особистий внесок здобувача – 30%. Вдосконалено експериментальний стенд та методику проведення експериментальних досліджень неорієнтованих КНБК [8], де особистий внесок здобувача складає 60%. Виявлено появу нестійкої рівноваги неорієнтованих КНБК із двома ОЦЕ при збільшенні відстані між опорами [9], де особистий внесок здобувача становить 60%.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації доповідалися і обговорювалися на Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта й газ 2002” – м. Київ, 2002 р.; на 14-й Міжнародній науково-технічній конференції – м. Краків (Польща), 2003 р.; на науково-технічній конференції “Стан і перспективи розробки родовищ нафти й газу в Україні” – м. Івано-Франківськ, 2003 р.

У повному об’ємі результати досліджень доповідалися на засіданнях кафедри буріння нафтових і газових свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2004 – 2005 рр.

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 9 наукових праць, в тому числі є один патент України.

Структура дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний об’єм роботи 139 сторінок і включає 37 рисунків та 11 таблиць, список літератури із 140 найменувань та 5 додатків.

Автор вдячний науковому керівникові д. т. н., професору Крижанівському Є. І., директору НДІНТГ, д. т. н., професору Івасіву В. М. та кафедрі буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ за допомогу при роботі над дисертацією.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, яка досліджена автором і дана її загальна характеристика.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих методів дослідження та способів розрахунку критеріїв вибору неорієнтованих КНБК. На основі результатів аналізу методик вибору неорієнтованих КНБК для буріння похило-спрямованих свердловин встановлено, що велика увага приділяється вивченню питань впливу природних закономірностей викривлення та розробці науково-методичних основ і технічних засобів шляхом аналітичного вивчення роботи компоновок. Окрім цього, розглядалися розрахункові схеми КНБК спрощених конструкцій через великі об'єми математичних обчислень. На жаль, при цьому не бралися до уваги багатоеlementні конструкції компоновок (із врахуванням ділянок невеликої довжини з власною вагою та жорсткістю на згин). У проаналізованих аналітичних дослідженнях взаємодії багатоопорних КНБК вважається, що всі ОЦЕ, встановлені на відповідних відстанях від долота, повноцінно виконують роль опори. При цьому повна відсутність контакту і взаємодія діагонально протилежних крайок робочої поверхні ОЦЕ зі стінками свердловини не враховується. Тому постановка задач досліджень із врахуванням цих особливостей конструкції КНБК і взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини є актуальною проблемою, яка потребує вивчення.

Другий розділ присвячено вдосконаленню аналітичних моделей взаємодії елементів неорієнтованих одно- та двоопорних КНБК із вибоєм та стінками похило-спрямованого стовбура свердловини, які реалізуються за допомогою двох методів: методу диференціальних рівнянь та енергетичного методу.

Відомо, що в практиці буріння похило-спрямованих свердловин широкого розповсюдження набули КНБК із одним та двома неповнорозмірними ОЦЕ. Існуючі дослідження, які присвячені розрахункам неорієнтованих компоновок, розглядають їх вже з конкретно заданими умовами взаємодії обох ОЦЕ з гірською породою, і вважається: якщо в КНБК є дві опори, то вони контактують переважно із нижньою стінкою свердловини. Але теоретичний аналіз можливих умов взаємодії елементів неорієнтованих КНБК зі стінками свердловини свідчить про те, що є наступні випадки взаємодії неповнорозмірних ОЦЕ з гірською породою стовбура:

а) ОЦЕ, внаслідок повороту осі КНБК у місці його встановлення, контактує діагонально протилежними крайками робочої поверхні одночасно з верхньою і нижньою стінками свердловини (защемляється) та усуває вплив на відхиляючу силу на долоті й кут його повороту вище розташованої частини бурильної колони. Для ОЦЕ це є характерною особливістю їх взаємодії зі стінками свердловини, що підтверджується зносом торцевих крайок робочої поверхні до бочкоподібної форми;

б) в момент, коли вісь КНБК співпадає з віссю свердловини, тоді неповнорозмірна опора, встановлена в цьому місці, не контактує зі стінками

свердловини (зависає) і не виконує роль центрального пристрою. При цьому кількість опор у КНБК зменшується на одну, і характер взаємодії низу бурильної колони зі стовбуром свердловини, а саме долота, змінюється.

КНБК для роторного і турбінного способів буріння чітко вирізняються характерними особливостями їх конструкції. Роторні неорієнтовані КНБК складаються переважно з обважених і бурильних труб різного діаметра, включаючи ОЦЕ. Турбінні компоновки містять, окрім цього, ще і вибійні двигуни. Це все елементи різної жорсткості на згин і ваги погонного метра.

Враховуючи необхідні аспекти для вдосконалення методики проектування, математична модель неорієнтованих КНБК з одним та двома ОЦЕ в похило-прямолінійному стовбурі свердловини складається з двох розрахункових схем: КНБК з одним ОЦЕ (рис. 1); КНБК із двома ОЦЕ (рис. 2), де l_i, q_i, EI_i – відповідно довжина, вага погонного метра та жорсткість на згин ділянок низу бурильної

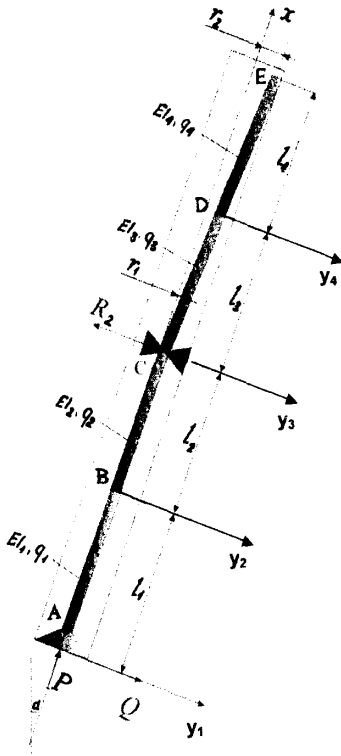


Рис. 1. Розрахункова схема КНБК із одним ОЦЕ.

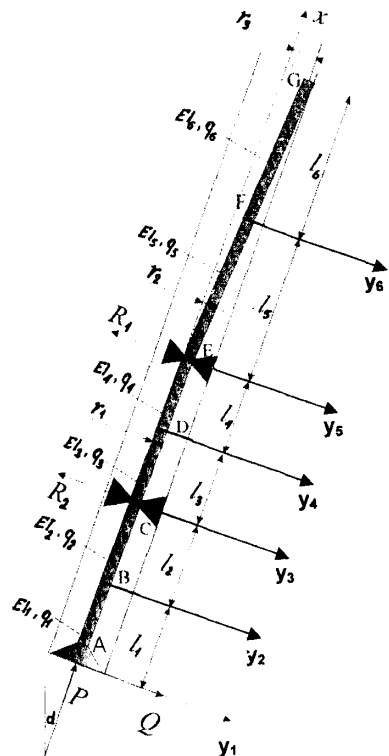


Рис. 2. Розрахункова схема КНБК із двома ОЦЕ.

колони; P, Q і R_i – осьове навантаження, відхиляюча сила на долоті, реакція на ОЦФ; r_i – радіальний зазор між елементом КНБК і стінкою свердловини; α – зенітний кут нахилу осі свердловини.

Згідно наведених схем, отримано диференціальні рівняння пружних осей КНБК для ділянок 1 – 4:

$$EI_n \frac{d^2 y_n}{dx_n^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cdot \cos(\alpha) \right] y_n + Q \left(\sum_{i=1}^n l_{i-1} + x_n \right) - A + \left(\sum_{i=1}^n \frac{q_{i-1} l_{i-1}^2}{2} + x_n \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + q_{n-2} l_{n-2} l_{n-1} + q_{n-3} l_{n-3} \sum_{i=2}^n l_i + \frac{q_n x_n^2}{2} \right) \sin(\alpha) \quad ; \quad (1)$$

функції прогинів пружної осі КНБК по відношенню до осі свердловини:

$$y_n(x) = A_n \sin(k_n x_n) + B_n \cos(k_n x_n) + \frac{Q(x_n + \sum_{i=1}^n l_{i-1}) - A}{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cdot \cos(\alpha)} + \frac{\left(\sum_{i=1}^n \frac{q_{i-1} l_{i-1}^2}{2} + q_{n-3} l_{n-3} \sum_{i=2}^n l_i + x_n \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + q_{n-2} l_{n-2} l_{n-1} + \frac{q_n x_n^2}{2} - \frac{q_i}{k_i^2} \right) \cdot \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cos(\alpha)} \quad ; \quad (2)$$

функції кутів повороту пружної осі КНБК по відношенню до осі свердловини:

$$y_n(x) = A_n k_n \cos(k_n x_n) - B_n k_n \sin(k_n x_n) + \frac{Q(x_n + \sum_{i=1}^n l_{i-1}) - R_2 + \left(\sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + q_n x_n \right) \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cdot \cos(\alpha)} \quad ; \quad (3)$$

функції згинаючих моментів КНБК:

$$y_n(x) = \left[-A_n k_n^2 \sin(k_n x_n) - B_n k_n^2 \cos(k_n x_n) + \frac{q_n x_n \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cdot \cos(\alpha)} \right] EI_n \quad (4)$$

$$\text{де } A = \begin{cases} 0, & \text{при } n = 1 \text{ та } n = 2 \\ R_2, x_n, & \text{при } n = 3 \\ R_2 (x_n + l_{n-1}), & \text{при } n = 4 \end{cases}, \quad R_2 = \begin{cases} 0, & \text{при } n = 1 \text{ та } n = 2 \\ R_2, & \text{при } n = 3 \text{ та } n = 4 \end{cases}.$$

Відповідно для ділянок 5 і 6:

$$EI_n \frac{d^2 y_n}{dx_n^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cdot \cos(\alpha) \right] y_n(x) + Q \left(x_n + \sum_{i=1}^n l_{i-1} \right) - R_2 (x_n + (n-5) l_{n-1}) - R_2 \left(x_n + \sum_{i=1}^n l_{i-1} \right) + \left(\sum_{i=1}^n \frac{q_{i-1} l_{i-1}^2}{2} + \frac{q_n x_n^2}{2} + q_n l_i + (n-5) l_{n-3} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + l_{n-2} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-3} + l_{n-1} \sum_{i=1}^n q_{i-2} l_{i-2} + x_n \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \right) \sin(\alpha) \quad ; \quad (5)$$

$$y_n(x) = \frac{Q(x_n + \sum_{i=1}^n l_{i-1}) - R_1(x_n + (n-5)l_{n-1}) - R_2\left(x_n + \sum_{i=4}^n l_{i-1}\right) + A_n \sin(k_n x_n) + B_n \cos(k_n x_n) + P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cos(\alpha)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1}^2}{2} + \frac{q_n x_n^2}{2} + q_n l_n + (n-5)l_{n-3} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + l_{n-2} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-3} + l_{n-1} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-2} + x_n \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \right) \sin(\alpha)} + \frac{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cos(\alpha)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1}^2}{2} + \frac{q_n x_n^2}{2} + q_n l_n + (n-5)l_{n-3} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + l_{n-2} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-3} + l_{n-1} \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-2} + x_n \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \right) \sin(\alpha)}; \quad (6)$$

$$y'_n(x) = A_n k_n \cos(k_n x_n) - B_n k_n \sin(k_n x_n) + \frac{Q(x_n + \sum_{i=1}^n l_{i-1}) - R_2 - R_1 + \left(\sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} + q_n x_n \right) \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cos(\alpha)}; \quad (7)$$

$$y_n(x) = \left[-A_n k_n^2 \sin(k_n x_n) - B_n k_n^2 \sin(k_n x_n) + \frac{q_n x_n \sin(\alpha)}{P - \sum_{i=1}^n q_{i-1} l_{i-1} \cos(\alpha)} \right] \cdot El; \quad (8)$$

Граничні умови взаємодії елементів неорієнтованих КНБК зі стінками свердловини є наступними:

для КНБК із одним ОЦЕ –

для КНБК із двома ОЦЕ –

$x_1=0$	$y_1(0)=0.$	$x_1=0$	$y_{11}(0)=0.$
$x_1=l_1$ і $x_2=0$	$y_1(l_1)=y_2(0),$ $y_1'(l_1)=y_2'(0).$	$x_1=l_1$ і $x_2=0$	$y_{11}(l_1)=y_{22}(0), y_{11}'(l_1)=y_{22}'(0).$
$x_2=l_2$ і $x_3=0$	$y_2(l_2)=r_1, y_3(0)=r_1,$ $y_2'(l_2)=y_3'(0).$	$x_2=l_2$ і $x_3=0$	$y_{22}(l_2)=r_{11}, y_{33}(0)=r_{11},$ $y_{22}'(l_2)=y_{33}'(0).$
$x_3=l_3$ і $x_4=0$	$y_3(l_3)=y_4(0),$ $y_3'(l_3)=y_4'(0).$	$x_3=l_3$ і $x_4=0$	$y_{33}(l_3)=y_{44}(0), y_{33}'(l_3)=y_{44}'(0),$
$x_4=l_4$	$y_4(l_4)=r_2, y_4'(l_4)=0,$ $y_4''(l_4)=0.$	$x_4=l_4$ і $x_5=0$	$y_{44}(l_4)=r_{22}, y_{55}(0)=r_{22},$ $y_{44}'(l_4)=y_{55}'(0),$
		$x_5=l_5$ і $x_6=0$	$y_{55}(l_5)=y_{66}(0), y_{55}'(l_5)=y_{66}'(0).$
		$x_6=l_6$	$y_{66}(l_6)=r_3, y_{66}'(l_6)=0,$ $y_{66}''(l_6)=0.$

За наведеними граничними умовами отримуємо систему нелінійних рівнянь для розрахунку статичних характеристик взаємодії елементів одноопорної КНБК із вибоєм та стінками свердловини і побудову графічної залежності $r_i(l)$. На основі цих даних можна спрогнозувати і визначити, в якому місці й якого діаметра необхідно встановити наступний (другий) ОЦЕ, щоб не допустити його "зашемлення" або "зависання" в стовбурі свердловини. У результаті отримуємо повноцінну аналітичну схему двоопорної КНБК для визначення статичних форм рівноваги при взаємодії її елементів зі стінками свердловини. Кінцевим результатом розрахунку є відхиляюча сила на долоті, реакції на ОЦЕ й кути їх повороту. За цими параметрами

проектуються КНБК в залежності від призначення. Реалізація обчислень здійснюється за допомогою програмного забезпечення MathCad.

Для співставлення результатів досліджень за методом диференційних рівнянь із врахуванням вдосконалень математичної моделі неорієнтованих КНБК із двома ОЦЕ використовується енергетичний метод. Для цього пружну вісь неорієнтованої багатоелементної КНБК змодельовано за допомогою поліномів Ерміта:

$$H(x) = C_1 f_1(x) + r_1 f_2(x) + r_2 f_3(x) + r_3 f_4(x), \quad (9)$$

де $f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x)$ – складові функції (многочлени) 5-ї степені,

C_1 – довільна невідома.

$$f_1(x) = \frac{(x-l_1^*)(x-l_2^*)(x-l_3^*)^2}{l_1^* l_2^* [l_3^*]^2}; \quad f_2(x) = \frac{x(x-l_2^*)(x-l_3^*)^2}{[l_1^*]^2 (l_1^* - l_2^*)(l_1^* - l_3^*)^2}; \quad (10)$$

$$f_3(x) = \frac{x^2(x-l_1^*)(x-l_3^*)^2}{[l_2^*]^2 (l_2^* - l_1^*)(l_2^* - l_3^*)^2}; \quad f_4(x) = x^2(x-l_1^*)(x-l_2^*)(\alpha x + \beta), \quad (11)$$

де α, β – розрахункові коефіцієнти.

За допомогою даного методу можна ще досліджувати зміну мінімальної потенціальної енергії деформації багатоелементних КНБК із двома ОЦЕ. Реалізація методу проводиться на ЕОМ із використанням математичного пакету Maple 7, що забезпечує високу точність і швидкість обробки інформації.

Третій розділ присвячений розробці методики проведення експериментальних досліджень неорієнтованих КНБК з одним та двома ОЦЕ, яка включає послідовність виконання експерименту та методику перерахунку результатів отриманих наукових досліджень в лабораторних умовах для реальних конструкцій компонок. Експериментальні дослідження проводилися на модернізованому лабораторному стенді, який встановлений на кафедрі “Нафтогазового обладнання” ІФНТУНГ.

Параметри взаємодії КНБК із вибоєм та стінками свердловини при експериментальному моделюванні отримано в безрозмірному вигляді. Для дослідження багатоелементних КНБК за допомогою такої моделі необхідним є використання методики перерахунку результатів експерименту на промислові конструкції компонок.

Трубна конструкція будь-яких геометричних розмірів, незалежно від матеріалу їх виготовлення, характеризується величиною однієї безрозмірної одиниці довжини m :

$$m = \sqrt[3]{\frac{EI}{q \cdot \cos(\alpha)}}. \quad (12)$$

Враховуючи те, що КНБК переважно складається з декількох ділянок різних геометричних розмірів, в тому числі й довжини l , найбільш відповідними для неї будуть рівності:

приведені значення вага одиниці довжини КНБК, величини m і її ваги:

$$q = \frac{(q_{m_1} l_{n_1} + q_{m_2} l_{n_2} + \dots + q_{m_n} l_{n_n}) \cdot \sin(\alpha)}{l_{n_1} + l_{n_2} + \dots + l_{n_n}}, \quad m_{np} = \frac{m_m}{l_m} [l_{n_1} + l_{n_2} + \dots + l_{n_n}], \quad q_{np} = m_{np} \cdot q, \quad (13)$$

де індекси m і n відповідають модельним і натурним зразкам.

Результати експериментальних досліджень переводяться в реальні величини за допомогою наступних залежностей:

$$Q_n = \frac{Q_m \cdot q_{np}}{q_m \cdot m_m}, \quad R_n = \frac{R_m \cdot q_{np}}{q_m \cdot m_m}, \quad l_n = \frac{l_m \cdot m_{np}}{m_m}. \quad (14)$$

Відносна простота перерахунку експериментальних даних у промислові дозволяє однорозмірними модельними буринними трубами проводити ефективні лабораторні дослідження процесів деформації КНБК будь-яких типорозмірів і конструкцій.

Результати експериментальних досліджень оброблялися методами математичної статистики з метою одержання оптимальних рівнянь регресії з використанням спеціалізованої програми – Statistica 6.0. Було проведено аналіз близько 8000 рівнянь двовимірних залежностей основних типів, більшість з яких представлена ступеневим $y = a + b \cdot x^c$ та експоненційним $y = a + b \cdot \exp(-x/c)$. Остаточна якість рівнянь регресії оцінювалась за допомогою F-критерію.

Четвертий розділ присвячений обробці та співставленню результатів експериментальних та теоретичних досліджень статичних характеристик взаємодії долота й ОЦЕ з вибоєм і стінками свердловини багатоелементних одно – та двоопорних неорієнтованих КНБК.

Експериментальним шляхом було отримано залежності зміни величин відхиляючої сили на долоті Q та реакцій на ОЦЕ різних діаметрів – R від відстані між ними при різних зенітних кутах нахилу осі свердловини. Моделі КНБК з одним ОЦЕ досліджувалися при радіальних зазорах 0,25 і 0,5 мм, а з двома – 0,25 мм. За результатами апроксимації експериментальних даних було встановлено, що отримані криві описують залежності $Q(l)$ і $R(l)$ з коефіцієнтом кореляції 0.87 – 0.95. Значення цих величин дозволяють визначати відхиляючу силу на долоті та реакції на ОЦЕ для будь-яких конструкцій одно- та двоопорних неорієнтованих КНБК і проектувати їх при відповідних величинах зенітного кута і осьового навантаження на долото.

На основі розробленої методики проектування неорієнтованих КНБК проведено теоретичні дослідження статичних характеристик взаємодії елементів

кількох компоновок з вибоєм та стінками свердловини, конструктивні особливості яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Конструктивні особливості КНБК

Кількість ОЦЕ	Діаметр, мм			Вибійний двигун
	ОЦЕ	долото	ОБТ	
1	208	215,9	146	ДГ – 172
1	212			
2	212 / 212			

Встановлено, що для одноопорних КНБК істотний вплив діаметра ОЦЕ на відхиляючу силу на долоті існує лише при невеликих відстанях між центратором і долотом (1,3 – 5 м). При більших відстанях (5 – 12 м) різниця в значеннях Q для двох КНБК є рівною 1 – 2%. Значення зенітного кута не впливає на цю різницю. На практиці вважається, що при спрацюванні ОЦЕ більше 4 мм не рекомендується їх використання за умови суттєвого впливу на процес буріння свердловини в заданому напрямі і їх відбраковують.

Із врахуванням умов взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини було проведено дослідження (на прикладі рисунка 3) впливу наявності ділянок невеликої довжини в

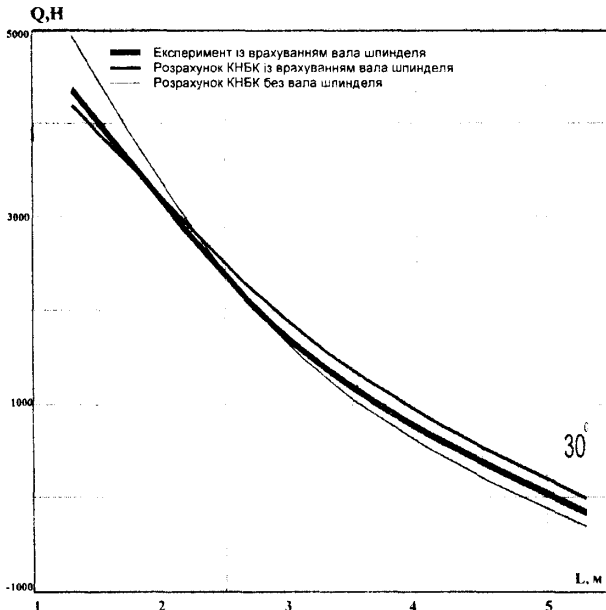


Рис. 3. Залежність зміни відхиляючої сили на долоті від відстані між долотом і ОЦЕ для одноопорної КНБК.

розрахунковій схемі неорієнтованих КНБК (на прикладі вала шпинделя вибійного двигуна) на відхиляючу силу на долоті, кут його повороту та реакції на опорах.

При аналізі результатів досліджень одноопорних КНБК отримано, що при встановленні ОЦЕ на віддалі від долота до 3 м при зенітних кутах нахилу осі свердловини $10^{\circ} - 60^{\circ}$ вплив вала шпинделя вибійного двигуна на величину Q є досить суттєвим і становить 15 %. При зміні місця встановлення ОЦЕ у бік збільшення l наявність вала має децю менший вплив, але все ж збільшує величину відхиляючої сили в середньому на 8 %. Окрім того, теоретично визначена величина Q для компоновки з валом шпинделя підтверджується експериментально з похибкою 8 %, а для КНБК, де вал відсутній, 18 %. Тому запропоноване вдосконалення аналітичної моделі неорієнтованих одноопорних КНБК є справедливим.

При дослідженні відхиляючої сили на долоті для КНБК із двома ОЦЕ (рис. 4) було встановлено, що наявність вала шпинделя вибійного двигуна збільшує величину Q на 9%. Але при збільшенні довжини компоновки за рахунок зміни місця розташування верхньої опори цей вплив зменшується до 2 %.

Статичні характеристики взаємодії долота і ОЦЕ, отримані енергетичним методом, відрізняються від результатів експерименту в середньому на 11 %. Це доводить, що даний теоретичний метод дослідження КНБК є достатньо точним, і використання

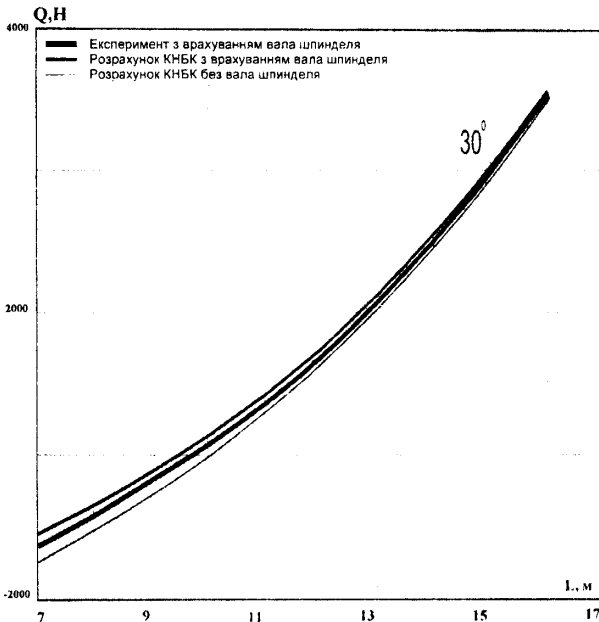


Рис. 4. Залежність зміни відхиляючої сили на долоті від відстані між долотом та ОЦЕ для двоопорної КНБК.

многочленів Ерміта для проектування пружної осі компоновок має позитивне підтвердження. При порівнянні результатів досліджень по R отримано, що при встановленні ОЦЕ на корпусі ВД наявність вала спричинює суттєве зменшення реакцій на опорах і тим самим призводить до збільшення ресурсу їх роботи. Результати експериментальних досліджень сили R підтвердили вдосконалення математичної моделі при середньому значенні відносної похибки між теоретичними та базовими даними 10 % для КНБК при наявності вала шпинделя вибійного двигуна і 14 % без нього. Для КНБК із двома ОЦЕ сила R при наявності в КНБК вала шпинделя вибійного двигуна, обчислена за методом диференціальних рівнянь, є меншою від результатів експерименту (на 5%), а для КНБК без нього – більшою (на 9 %). На верхньому ОЦЕ сила R відрізняється від результатів експериментальних досліджень із максимальною величиною 13%. Причому наявність вала шпинделя вибійного двигуна практично не впливає на її зміну. При невеликій відстані між центральними пристроями результати теоретичних досліджень практично співпадають між собою і з експериментальними даними.

У значній мірі на викривлення стовбура впливає кут повороту долота. Врахування в аналітичній схемі одноопорної КНБК з ОЦЕ $\varnothing 208$ мм вала шпинделя вибійного двигуна зумовлює суттєву зміну кута повороту долота саме при встановленні центратора на корпусі ВД (рис. 5). При малих відстанях між долотом

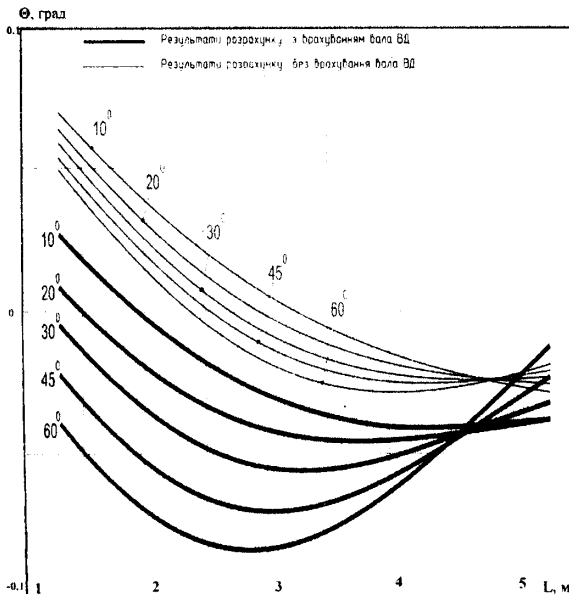


Рис. 5. Залежність зміни кута повороту долота від місця встановлення ОЦЕ $\varnothing 212$ мм.

та ОЦЕ (1,5 – 5 м) різниця між значеннями кутів повороту θ для конструкцій КНБК при врахуванні вала ВД і без нього становить в середньому 20 – 68%. Подальша зміна віддалі від долота до центратора 3 – 5 м дещо зменшує вплив наявності вала на зміну θ і становить 12 – 25%. При цьому збільшення зенітного кута нахилу осі свердловини спричинює зростання впливу вала шпинделя двигуна на значення θ за рахунок зростання ваги вище розташованої від ОЦЕ частини КНБК.

Збільшення діаметра ОЦЕ з 208 до 212 мм викликає зростання кута повороту долота за рахунок подовження вище розташованої від ОЦЕ частини КНБК. У середньому різниця між значеннями кута повороту долота для КНБК з ОЦЕ 212 мм, де враховується вал вибійного двигуна і без нього, (при знаходженні опори до 4 м від вибою) становить 44 – 75%. Тому вплив вала шпинделя на кут повороту долота є суттєвішим для тих конструкцій, де діаметр ОЦЕ більший.

Врахування вала ВД у двоопорних КНБК також спричинює зміну кута θ . При невеликих відстанях між діючими ОЦЕ різниця в значеннях є незначною (не перевищує 8%) (рис. 6). Подальше збільшення віддалі між ОЦЕ зумовлює зростання різниці в значеннях θ до величини 45%. Чим більша величина зенітного кута, тим більша різниця в значеннях θ тому, що зростає вплив ваги ділянки КНБК між ОЦЕ.

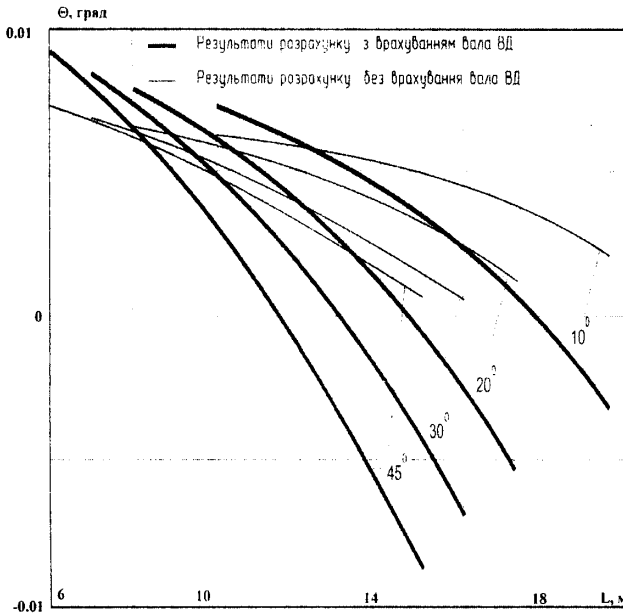


Рис. 6. Залежність зміни кута повороту долота від відстані між ОЦЕ для двоопорної конструкції КНБК.

При дослідженні мінімальної потенціальної енергії деформації неорієнтованих КНБК із двома ОЦЕ виявлено, що при певній віддалі між центрувальними пристроями можливий момент її нестійкої рівноваги ще до того, коли компоновка між суміжними ОЦЕ дотикається стінки свердловини. А нестійка рівновага звужує її технологічні можливості при забезпеченні параметрів проектного профілю свердловини. Тому використання КНБК із великими віддальми між ОЦЕ є недоцільним з точки зору їх ефективного забезпечення буріння в заданому напрямі.

Дослідження статичних характеристик взаємодії елементів КНБК із вибоєм та стінками свердловини проводилося паралельно з врахуванням можливих умов взаємодії ОЦЕ з метою виявлення їх зависання чи защемлення, а також появу додаткової опори. Компоновка з одним ОЦЕ розглядалася до моменту максимального прогину її осі між долотом і центратором за умови запобігання появи ще однієї опори. За величиною прогинів осі КНБК певної конструкції визначався момент максимального прогину, і при його появі розрахунок одноопорної компоновки припинявся. Місце встановлення ОЦЕ в двоопорній КНБК вибиралося згідно з умовами їх взаємодії зі стінками свердловини. При проектуванні таких КНБК спочатку проводили розрахунок з одним ОЦЕ для визначення особливостей взаємодії зі стінками свердловини другої опори, а потім переходили до наступного етапу.

Для оперативного розрахунку статичних характеристик взаємодії елементів КНБК з вибоєм і стінками свердловини та проектування неорієнтованих компоновок розроблено комп'ютерну програму. Рекомендації з проектування неорієнтованих КНБК використовувалися для буріння похило-спрямованих свердловин ДАТ "Чорноморнафтогаз", зокрема свердловини №15 Східно-Казантипського родовища з отриманням позитивного результату.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичної задачі проектування неорієнтованих КНБК шляхом врахування конструкцій компоновок і умов взаємодії їх елементів із стовбуром свердловини і одержано наступні основні результати:

1. На основі проведеного теоретичного аналізу існуючих методик дослідження особливостей взаємодії неорієнтованих одно- та двоопорних КНБК з вибоєм та стінками свердловини встановлено, що існує необхідність вдосконалення їх математичної моделі шляхом врахування ділянок невеликої довжини з різною вагою погонного метра й жорсткістю на згин та реальних умов взаємодії центрувальних пристроїв із гірською породою.

2. Вдосконалено методику поетапного проектування неорієнтованих КНБК на основі визначення статичних характеристик взаємодії її елементів з вибоєм

і стінками свердловини. На основі розгляду математичної моделі одноопорної КНБК дана методика забезпечує визначення необхідності, місця встановлення та діаметра другого ОЦЕ з метою отримання необхідних параметрів проектного профілю. З'ясовано, що для одноопорних конструкцій КНБК врахування геометричних розмірів видимої частини вала шпинделя вибійного двигуна зумовлює суттєві зменшення відхиляючої сили на долоті, кутів його повороту і реакції на ОЦЕ. Для двоопорних конструкцій КНБК при невеликій віддалі між опорами вал шпинделя вибійного двигуна, врахований в їх аналітичній схемі, зумовлює лише значне збільшення кута повороту долота.

3. Вдосконалено стенд для експериментального дослідження взаємодії з вибоєм і стінками похило – спрямованої свердловини елементів неорієнтованих одно – та двоопорних КНБК. Розроблено метод перерахунку результатів експериментальних досліджень однорозмірних моделей бурильних колон на промислові багатоеlementні КНБК із врахуванням особливостей їх конструкцій. Порівняння сил взаємодії елементів КНБК з вибоєм та стінками свердловини, отриманих чисельним і експериментальним методами, показало добру схожимість (в межах 5%). За допомогою запропонованого методу за отриманими результатами експериментальних досліджень встановлено залежності зміни відхиляючої сили на долоті та реакцій на ОЦЕ для КНБК з різними геометричними характеристиками.

4. На основі енергетичного методу з використанням функції прогинів осі неорієнтованих двоопорних КНБК, яка вперше змодельована у вигляді полінома Ерміта, вдосконалено методику визначення мінімальної енергії деформації багатоеlementних компоновок. Вперше визначено момент появи нестійкої рівноваги, що може послужити ще одним критерієм їх вибору.

5. Проведена дослідно – промислова перевірка та впровадження результатів роботи у виробництво. Результати досліджень реалізовані в акті промислового випробування і стандарті організації України СОУ “Компоновки низу бурильної колони. Вибір і забезпечення надійності” для ДАТ “Чорноморнафтогаз”.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО РОБОТІ

1. Крижанівський Є. І., Івасів В. М., Чудик І. І., Козлов А. В. Визначення оптимальної відстані між двома ОЦЕ компоновки низу бурильної колони // Тези міжн. конф. “Нафта і газ України 2002”. – Київ. – 2002. – С. 121 – 122.

2. Івасів В. М., Чудик І. І., Козлов А. В., Глушич В. Г. Розрахунок компоновок низу бурильної колони (КНБК) з двома центраторами // Науковий вісник ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ. – 2002. – № 2(3). – С. 15 – 16.

3. Івасів В. М., Чудик І. І., Моргулець І. М., Пушкар П. В. Спосіб розрахунку компоновок низу бурильної колони // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 1(6). – С. 118 – 121.

4. KRYZHANIVSKY Y., CHUDYK I. The Technique of the calculation stepwise LDSB for a rotor and turbine boring methods // 14 Miedzynarodna Konferencja Naukowo – Techniczna. – Zaczopane (Poland). – 2003. – P. 48.
5. Воевидко И. В., Чудык И. И., Лев О. М. Метод проектирования неориентированных компоновок низа бурильной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2002. – № 11. – С. 17 – 19.
6. Крижанівський Є. І., Чудик І. І., Івасів В. М., Яворський М. М. Моделювання пружної осі трубних колон в похило – спрямованих свердловинах // Тези науково – практичної конф. “Стан і перспективи розвитку родовищ нафти і газу України 2003”. – Івано – Франківськ. 2003. С. 254 – 256.
7. Пат. 50920 А України. МПК⁷ E2 10/26. Опорно – центруючий пристрій / Крижанівський Є. І., Воевідко І. В., Шандровський Т. Р., Чудик І. І. – № 2001053042; Заявлено. 04. 05. 2001; Опубл. 15. 11. 2002. Бюл. № 11. – 5 с.
8. Крижанівський Є. І., Чудик І. І., Яворський М. М., Івасів В. М. Експериментальні дослідження на моделях компоновок низу бурильної колони // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 4(9). – С. 121 – 123.
9. Івасів В. М., Чудик І. І., Артим В. І., Яворський М. М. Метод визначення стійкості неорієнтованих КНБК з двома ОЦЕ // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 2(11). – С. 20 – 24.

АНОТАЦІЯ

Чудик І.І. Вдосконалення методики проєктування неорієнтованих компоновок низу бурильної колони. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2005.

Захищаються 9 наукових праць, які містять теоретичні дослідження в області застосування неорієнтованих багатоелементних компоновок низу бурильної колони з одним і двома ОЦЕ для буріння похило – спрямованих свердловин.

Вдосконалено методику поетапного розрахунку статичних характеристик взаємодії елементів одно і двоопорних багатоелементних КНБК із вибоєм та стінками свердловини і їх проєктування, з врахуванням особливостей конструкцій (врахування ділянок невеликої довжини з власною вагою та жорсткістю на згин) і можливих умов взаємодії ОЦЕ і гірської породи.

Вдосконалено методику розрахунку мінімальної потенціальної енергії деформації КНБК із двома ОЦЕ з метою визначення моменту втрати стійкої рівноваги компоновок.

Рекомендації по проєктуванню неорієнтованих КНБК з одним і двома ОЦЕ пройшли промислово перевірку та впроваджені у виробництво.

Ключові слова: багатоеlementні компоновки низу бурильної колони, методика проектування КНБК, мінімальна потенціальна енергія деформації КНБК, стійка рівновага, стінка свердловини, конструкція КНБК.

АННОТАЦІЯ

Чудык И. И. Усовершенствование методики проектирования неориентированных компоновок низа бурильной колонны. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук за специальностью 05.15.10 – Бурение скважин. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – Ивано-Франковск, 2005.

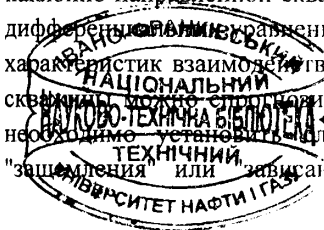
Защищаются 9 научных трудов, содержащие теоретические исследования в области использования неориентированных многоэлементных компоновок низа бурильной колонны с одним и двумя ОЦЭ для бурения наклонно – направленных скважин.

Усовершенствована методика поэтапного расчета статических характеристик взаимодействия элементов одно- и двухопорных многоэлементных КНБК с забоем и стенками скважины и их проектирования, с учетом особенностей конструкций (учет участков небольшой длины с собственным весом и жесткостью на сгиб) и возможных условий взаимодействия ОЦЭ и горной породы.

Усовершенствована методика расчета минимальной потенциальной энергии деформации КНБК с двумя ОЦЭ с целью определения момента потери устойчивого равновесия компоновок.

В первом разделе приведен анализ известных исследований и способов расчета неориентированных КНБК для роторного и турбинного способов бурения. Доказано, что все ОЦЭ, установленные на соответствующих расстояниях от долота полноценно выполняют роль опор. При этом отсутствие контакта и взаимодействие диагонально противоположных кромок рабочей поверхности ОЦЭ со стенками скважины не учитывается. Расчетные схемы КНБК рассматривались упрощенных конструкций, в следствии больших объемов математических вычислений, при чем не учитывались многоэлементные конструкции компоновок из-за отсутствия соответствующих методик.

Во втором разделе приведена математическая модель взаимодействия элементов неориентированных одно- и двухопорных КНБК с забоем и стенками наклонно-направленной скважины, которые реализуются с помощью двух методов: дифференциального уравнений и энергетического. В результате расчета статических характеристик взаимодействия элементов одноопорной КНБК с забоем и стенками скважины можно спрогнозировать и определить в каком месте и какого диаметра необходимо установить следующий (второй) ОЦЭ, чтобы не допустить его "зашлипания" или "зависания" в стволе скважины, появление дополнительной



опоры. Конечным результатом расчета есть отклоняющая сила на долоте, реакции на ОЦЭ и углы их поворота. По этим параметрам проектируют КНБК в зависимости от назначения. Для определения потенциальной энергии деформации многоэлементных КНБК с двумя ОЦЭ усовершенствован энергетический метод. Для этого упругую ось неориентированной КНБК смоделировано с помощью полиномов Эрмита.

В третьем разделе приведен способ определения усредненных значений веса единицы длины и длины одной безразмерной единицы веса для многоэлементных конструкций КНБК и методика физического подобия результатов лабораторных исследований одномерной модели бурильной колонны и реальных конструкций компоновок, где учитывается длина, вес и жесткость всех ее элементов. По результатам экспериментальных исследований определяются величины статических характеристик взаимодействия элементов неориентированных КНБК с забоем и стенками скважины.

В четвертом разделе наводятся результаты аналитических исследований, которые доказывают, что учет в аналитической схеме КНБК элементов различных геометрических размеров, независимо от их длины, веса и жесткости на изгиб влияет на отклоняющее усилие на долоте, угол его поворота и силы прижимания центрирующих элементов к стенкам скважины. Кроме того, установлено, что неориентированная КНБК с двумя ОЦЭ может терять устойчивое равновесие еще к моменту максимально возможного прогиба ее элементов между центраторами, который ограничивается стенкой.

Рекомендации по проектированию неориентированных КНБК с одним и двумя ОЦЭ прошли промышленную проверку и введенные в производство.

Ключевые слова: многоэлементные компоновки низа бурильной колонны, методика проектирования КНБК, минимальная потенциальная энергия деформации КНБК, устойчивое равновесие, стенка скважины, конструкция КНБК.

ANNOTATION

Chudyk I.I. Improvement of designing technique of the bottom of non-drilling pipe assembly- Manuscript.

The dissertation for a candidate Degree in technical science Speciality: 05.15.10 - "Well Drilling". Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2005.

9 scientific works are presented for defending. They deal with theoretical analysis in the field implementory of non-directional multielement assemblies of drilling string bottom with one and two SCE for directional x drilling

There has been improved the stepwise calculation technique of the static characteristics of the single-backing and double-backing poly-cell LDSB elements

interaction with a hollow and with the hole walls and their design, with regard to construction peculiarities (taking into account the small length areas with the dead weight and the rock bend hardness) and possibility of the SCE and rock interaction.

It also has been improved the calculation technique of the minimum potential energy of the two SCE LDSB deformation aiming at determining of the lay-out buckling moment

Designing recommendations of the non-directional LDSB with one and two SCE have been industrially tested audit and introduced in industry.

The key words: multielement assembles of the drilling pipe bottom, LDSB designing technique, minimum potential energy of LDSB deformation, stable equilibrium, hole wall, LDSB construction.