

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ЛІВІНСЬКИЙ АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 622.24.001.57

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БУРІННЯ СКЕРОВАНИХ
СВЕРДЛОВИН СУМІЩЕНИМ СПОСОБОМ**

05.15.10 - Буріння свердловин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
(доктора філософії)

Івано-Франківськ - 2019

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Чудик Ігор Іванович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Кунцяк Ярослав Васильович,
ПрАТ «Науково-дослідне і
конструкторське бюро бурового
інструменту», м. Київ,
генеральний директор

кандидат технічних наук
Ставичний Євген Михайлович,
ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ,
начальник управління буріння

Захист відбудеться «29» листопада 2019 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий «26» жовтня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



I.M. Ковбасюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Україна сьогодні належить до енергодефіцитних країн, задовольняючи свої потреби в нафтогазових енергетичних ресурсах менш ніж на 50 %. У зв'язку з цим досягнення якомога вищого рівня забезпеченості ними є одним із головних державних завдань. Без їх вирішення досягнення економічного і соціального розвитку України є неможливим.

Характерною особливістю нафтових і газових родовищ України є значна виснаженість основних запасів і наявності їх достатньої кількості у слабо дренованих зонах, у водоплавних покладах низько проникних колекторів. Окрім того, існує низка потужних вуглеводневих об'єктів, розташованих в ускладнених для освоєння зонах (болота, заплави, водойми, гірський рельєф тощо), в межах державних природних заповідників, охоронних зон, під населеними пунктами. У цих умовах надзвичайно актуальним і важливим є створення та впровадження ефективних технологій, технічних засобів, спрямованих на розширення обсягу видобутку нафти і газу.

Основними складовими цього комплексу є створення сучасного техніко-технологічного забезпечення для відновлення недіючого і старого фонду свердловин та породоруйнівних інструментів, а також підвищення ефективності буріння нових похило-скерованих (ПСС) і горизонтальних свердловин (ГС).

Провідні нафтогазовидобувні держави світу (США, Канада, Італія, Великобританія, Франція, Норвегія, Нідерланди та інші) широко застосовують ряд технологій буріння ПСС і ГС ще з середини другої половини минулого століття, на противагу Україні, де ці технології досі не набули широкого поширення та не мають відчутного впливу на обсяги видобування вуглеводневої сировини.

Процеси буріння ПСС і ГС сьогодні надзвичайно широко пов'язані з урахуванням специфіки кожного геологічного регіону їх застосування, які без використання відповідних методик врахувати практично неможливо. Вивченню проблем буріння ПСС і ГС та їх вирішенню присвячено багато досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема Алієва М.А., Аскерова В.Б., Агаєва Г.Х., Безухова Н.І., Булатова А.І., Васька І.А., Вітрика В.Г., Воевідка І. В., Григоряна А.М., Глушича В.Г., Гулізаде М. П., Каррисона Х., Краузе К., Кунцяка Я.В., Козлова А.В., Мислюка М.А., Морри В., Оганова О.С., Оганова Г.С., Семака Г.Г., Сьювел М., Фурментро Д., Чудика І. І. та ін.

Виконані дослідження лягли в основу розроблення технологій та технічних засобів для забезпечення параметрів проектного профілю ПСС і ГС. Проте, як довела практика, ці технології і технічні засоби часто не задовольняли проектних вимог процесу буріння такого типу свердловин, що потребує розроблення ефективних науково-обґрунтованих рішень для їх використання в різних умовах скерованого буріння.

На сьогодні, у випадку недостатньої стійкості стовбура скерованої свердловини, викликаній осипанням і обвалюванням гірської породи, застосовують буріння на високих швидкостях. Однак на прикладі свердловин Бугроватівського родовища № 545 і № 553 було визнано неефективними

традиційні відпрацьовані технології скерованого буріння в умовах нестійких гірських порід. Застосування класичних техніко-технологічних підходів забезпечило невчасну реалізацію проектів скерованого буріння через подовження терміну поглиблення вибою, спричиненого необхідністю багаторазового виконання спуско-підймальних операцій (СПО) з метою коригування параметрів проектного профілю.

Збільшення рейсової швидкості поглиблення вибою можливо досягти шляхом зменшення кількості і тривалості проведення СПО. А це може бути реалізовано лише у разі застосування суміщеного способу буріння і орієнтованих компоновок низу бурильної колони (КНБК). Руйнування гірської породи вибою при цьому відбувається під час роботи вибійного двигуна (ВД), а проробка стовбура – при поєднанні водночас ВД і роторного способу буріння. А це потребує розроблення відповідної технології проектування і вибору орієнтованих КНБК, що є актуальним завданням, яке потребує вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з тематичними планами наукових досліджень Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та відповідає державній галузевій програмі «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» (розділ 6, пп. 6.1.2 і 6.2.2), а також пов'язана з програмами промислово-практичних робіт зі спорудження свердловин №№ 256, 258, 259, 266, 276, 277 Гнідинцівського та №№ 545 і 553 Бугроватівського родовищ.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є розроблення науково-практичних рішень для проектування і вибору орієнтованими КНБК на базі ВД для буріння ПСС і ГС суміщеним способом.

Основні завдання дослідження:

1. Критичний аналіз існуючого техніко-технологічного забезпечення для буріння ПСС і ГС та їх ефективності у процесі буріння свердловин на Гнідинцівському і Бугроватівському родовищах.
2. Розроблення математичних моделей орієнтованих КНБК на базі ВД у стовбурі скерованої свердловини з різною кількістю опор для суміщеного способу буріння.
3. Дослідження впливу техніко-технологічних параметрів застосування орієнтованих КНБК на базі ВД в умовах суміщеного способу буріння на силові і енергетичні показники їх роботи у стовбурі скерованої свердловини.
4. Вивчення впливу конструктивних параметрів орієнтованих КНБК із різною кількістю опор на їх проходження у стовбурі скерованої свердловини.
5. Промислова апробація науково-практичних основ проектування і вибору орієнтованих КНБК у промислових умовах на родовищах Дніпровсько-Донецької западини.

Об'єкт дослідження: орієнтовані КНБК на базі ВД для буріння скерованих свердловин суміщеним способом.

Предмет дослідження: силові та енергетичні характеристики взаємодії елементів орієнтованих КНБК на базі ВД із вибоєм і стінками свердловини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань дисертаційної

роботи використано методи математичного моделювання, теорії пружності, програмування і статистики, а також експериментальні дослідження у промислових умовах на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вдосконалено метод обчислення силових параметрів взаємодії елементів орієнтованих КНБК на базі ВД із різною кількістю опорно-центруючих елементів (ОЦЕ) із вибоєм і стінками скерованої свердловини.
2. Вперше встановлено можливість використання орієнтованих КНБК на базі ВД зі змінним кутом перекосу укороченої шпіндельної секції та різною кількістю ОЦЕ у разі суміщеного способу буріння.
3. Вперше розроблено метод оцінки можливості проходження безопорних і одноопорних орієнтованих КНБК і встановлення силових і енергетичних параметрів опору осьового переміщення і обертання системи у стовбурі свердловини.

Практичне значення одержаних результатів дисертації полягає у тому, що отримано доповнення баз даних для вдосконалення системи науково-обґрунтованого вибору орієнтованих КНБК для буріння ПСС і ГС з метою забезпечення параметрів проектного профілю суміщеним способом і підвищення техніко-економічних показників роботи бурових доліт.

За результатами досліджень розроблено і затверджено: *«Технологічний регламент на буріння свердловин із похило-скерованими і горизонтальними стовбурами»* ТР 31174865.001:2016, який пройшов апробацію у процесі буріння свердловин і впроваджений у ТОВ «Бурова техніка», а також *«Методика розрахунку орієнтованих компоновок низу бурильної колони для суміщеного способу буріння»* та *«Методика розрахунку зведеного моменту інерції бурильної колони для роторного та суміщеного способів буріння свердловин»*, які впроваджені в ТОВ «Ендейвер». Конкретніше практична цінність отриманих наукових результатів полягає в наступному:

- на основі запропонованих математичних моделей розрахунку сил взаємодії орієнтованих одно-, дво- і безопорних КНБК (зі змінним кутом перекосу шпіндельної секції ВД відносно корпусу) з вибоєм і стінками свердловини, розроблено програму проектування і вибору їх конструкцій для забезпечення виконання різноманітних завдань скерованого буріння;
- отримані наукові результати стали підставою для проектування і вибору реальних конструкцій орієнтованих КНБК та успішної реалізації ними низки проектів із буріння ПСС №№ 256, 258, 259, 266, 276, 277 Гнідинцівського та № 525 Бугроватівського родовищ;
- доведено можливість використання орієнтованих КНБК на базі ВД зі змінним кутом перекосу укороченої шпіндельної секції у випадку суміщеного способу буріння з метою стабілізації Zenітного кута свердловини.

Особистий внесок здобувача. Постановку завдання сформульовано науковим керівником, а здобувачем проведено аналіз техніко-технологічних особливостей буріння скерованих свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини [1-5, 8, 11] і розроблено рекомендації з вибору орієнтованих КНБК для буріння стабілізованих ділянок свердловин суміщеним спо-

собом [6, 7, 9, 10], де самостійно досліджено вплив конструктивних параметрів орієнтованих КНБК із різною кількістю опор на форми їх статичної рівноваги.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації доповідалися і обговорювалися на: міжнародних науково-технічних конференціях інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (м. Трускавець, 2014 і 2015 р.) і міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова освіта та наука. Стан та перспективи» (м. Івано-Франківськ, 2014 р.).

У повному обсязі результати досліджень доповідалися на засіданнях кафедри буріння свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2017-2019 р.р.

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 11 наукових праць, з них 8 – у фахових наукових журналах, 1 - в іноземному виданні, 1 теза доповіді на міжнародній науковій конференції.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (112 найменувань). Викладена на 152 сторінках машинописного тексту, містить 58 рисунків і 11 таблиць.

Автор висловлює щире подяку науковому керівнику д. т. н., проф. Чудику І. І. за цінні поради в науковій роботі, а також дякує за надану промисловою інформацію НТП «Бурова техніка» та ТОВ «Ендейвер».

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито стан наукової проблеми та її значущість для теорії і практики, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, викладено зв'язок вибраного напрямку досліджень із науковими програмами, сформульовано мету і завдання досліджень, подано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача і наведено інформацію про апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз вітчизняного досвіду буріння скерованих свердловин на Бугруватівському і Гнідинцівському родовищах і виділено низку проблем керування їх траєкторією. Проаналізовано причини виникнення ускладнень та аварій у процесі керування траєкторіями їх буріння і встановлено природу їх походження – недосконале техніко-технологічне забезпечення процесу. Визначено, що чергування орієнтованих і неорієнтованих конструкцій КНБК, СПО для коригування профілю свердловини та зміна способу буріння призводять до зниження рейсової швидкості, порушення стійкості стовбура свердловини з випадками його аварійної ліквідації.

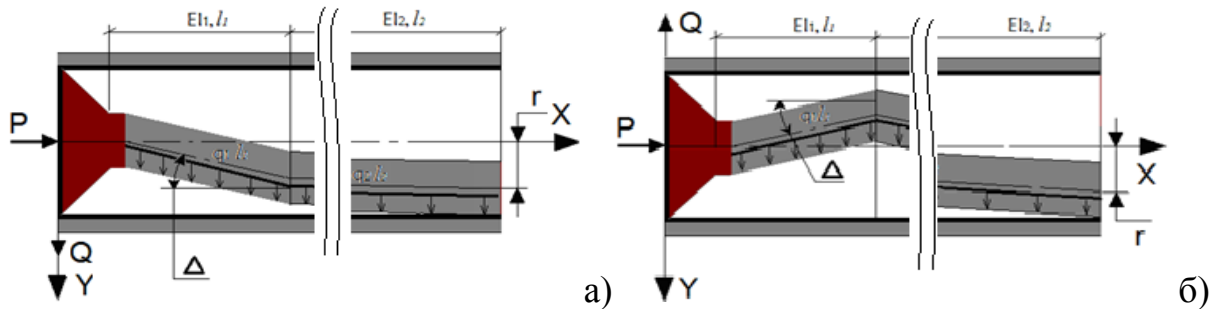
Оцінено сучасний стан і можливості методичного забезпечення для проектування орієнтованих КНБК, їх статичні моделі та принципи вибору необхідних конструкцій для забезпечення відповідної якості керування параметрами проектного профілю. Встановлено, що існуючі методики проектування і вибору КНБК недостатньо враховують техніко-технологічні особливості їх орієнтованих конструкцій, що не дає змоги адекватно оцінити їх можливості для різних завдань скерованого буріння.

У **другому розділі** наведено основні принципи математичного моделювання орієнтованих КНБК із різною кількістю ОЦЕ в стовбурі скерованої

свердловини для суміщеного способу буріння.

Розроблено математичні моделі проектування та принципи вибору енергоефективних орієнтованих одно-, дво- і безопорних орієнтованих КНБК на базі ВД із кутом прекоосу шпинделя Δ від 0.77° до 1.22° для змінних умов зенітного кута α , осьового навантаження на долоті P , кількості ОЦЕ і місць їх установлення. В основу реалізації покладено метод розрахунку диференціальних рівнянь пружної осі бурильної колони (БК) другого порядку.

Орієнтовані КНБК представлено в прямолінійному стовбурі свердловини (рис. 1, а) і б) у складі двох ділянок з різними вагою погонного метра і жорсткістю на згин (шпиндель ВД і його корпус) із урахуванням умов суміщеного способу буріння та прийняття таких припущень: стінки свердловини не деформуються і є прямолінійними; центр долота і стовбура свердловини збігаються в одній точці; відцентрові сили відсутні з причини невеликих швидкостей обертання; колона має згин в одній площині (плоскій); у місцях контактування КНБК зі стінкою свердловини відсутні сили тертя.



l_i – довжини ділянок КНБК; q_i і EI_i – вага погонного метра і жорсткість на згин ділянок КНБК; Q і P – відхиляюча сила і осьове навантаження на долоті; r – радіальний зазор між віссю корпусу ВД і стінкою свердловини у верхній точці їх контактування.

Рисунок 1. – Розрахункові схеми орієнтованої безопорної КНБК для крайніх верхнього і нижнього положень корпусу ВД

Аналітичне дослідження сил взаємодії елементів орієнтованої КНБК зводиться до розрахунку плоскої задачі методом диференціальних рівнянь пружної осі (1) і (2) при відповідних граничних умовах (3) відповідно:

$$\begin{cases}
 EI_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -P y_1(x_1) + Q x_1 + \frac{q_1 x_1^2 \sin(\alpha)}{2}, & (1) \\
 EI_2 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -[P - q_1 l_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) + \\
 + Q(l_1 + x_2) + \left(\frac{q_1 l_1^2}{2} + q_1 l_1 x_2 + \frac{q_2 x_2^2}{2} \right) \sin(\alpha), & (2)
 \end{cases}
 \left. \begin{array}{l}
 y_1(0) = 0 \\
 y_1'(l_1) - y_2'(0) = \pm \Delta \\
 y_1(l_1) = y_2(0) \\
 y_2'(l_2) = 0 \\
 y_2(l_2) = (D_{\text{ДОЛ}} - D_{\text{ВД}}) / 2 \\
 y_2''(l_2) = 0
 \end{array} \right\} (3)$$

де $D_{\text{ДОЛ}}$ і $D_{\text{ВД}}$ – діаметри долота і ВД.

Примітка: «+» - орієнтовна безопорна КНБК із нижнім положенням корпусу ВД (рис. 1, а); «-» - орієнтовна безопорна КНБК із верхнім положенням корпусу ВД (рис. 1, б).

За результатами розрахунку системи рівнянь, складеної на основі диференціальних рівнянь (1) і (2), їх розв'язків і граничних умов (3) отримано

значення невідомих величин, основними з яких є Q і l_2 . Їх використання в подальшому дозволяє розраховувати прогини та кути повороту пружної осі орієнтованої безопорної КНБК відносно осі свердловини.

Для аналітичного дослідження сил взаємодії елементів одноопорної орієнтованої КНБК із вибоєм і стінками свердловини аналогічно з попереднім підходом, пропонується розрахункова схема (рис. 2, а і б), яку реалізовано методом диференціальних рівнянь пружної осі бурильної колони (БК).

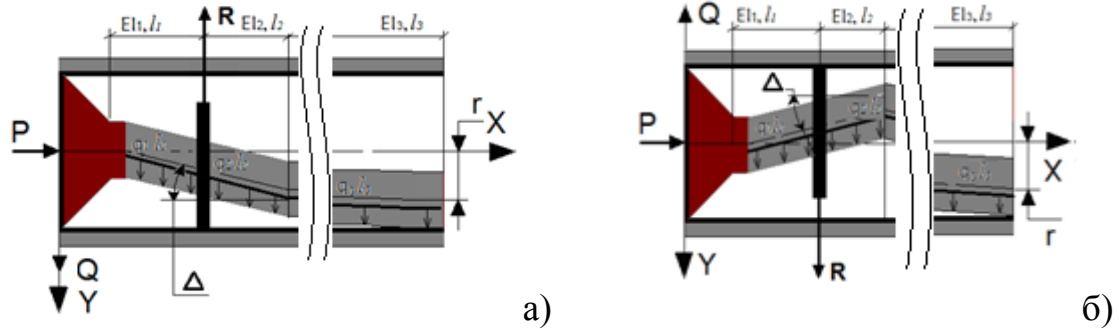


Рисунок 2 – Розрахункові схеми орієнтованої одноопорної КНБК для крайніх верхнього і нижнього положень корпусу ВД

При цьому розрахунки для перших ділянок (між долотом і ОЦЕ) проводять за диференціальним рівнянням (1). Для 2-ї і 3-ї ділянок довжиною l_2 та l_3 застосовують такі рівняння (4) і (5):

$$EI_2 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -[P - q_1 l_1 \cos(\alpha)] y_2(x_2) + Q(x_2 + l_1) - R x_2 + \left(\frac{q_1 l_1^2}{2} + x_2 q_1 l_1 + \frac{q_5 x_2^2}{2} \right) \sin(\alpha); \quad (4)$$

$$EI_3 \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^2 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_3(x_3) + Q \left(x_3 + \sum_{i=1}^2 l_i \right) - R(x_3 + l_2) + \left(\sum_{i=1}^2 \frac{q_i l_i^2}{2} + q_1 l_1 l_2 + x_3 \sum_{i=1}^2 q_i l_i + \frac{q_3 x_3^2}{2} \right) \sin(\alpha). \quad (5)$$

Взаємодія орієнтованої одноопорної КНБК (рис. 2, а і б) зі стінками свердловини характеризується такими граничними умовами (6):

$$\left. \begin{aligned} y_1(0) &= 0 \\ y_1'(l_1) - y_2'(0) &= 0 \\ y_2'(l_2) - y_3'(0) &= \pm \Delta \\ y_2(l_2) &= y_3(0) \\ y_1(l_1) &= y_2(0) \\ y_1(l_1) &= (D_{\text{ДОЛ}} - D_{\text{ОЦЕ}})/2 \\ y_3'(l_3) &= 0 \\ y_3(l_3) &= r \\ y_3''(l_3) &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

де $D_{\text{ОЦЕ}}$ – діаметр ОЦЕ.

Враховуючи те, що взаємодія одноопорної орієнтованої КНБК із вибоєм і

стінками свердловини при суміщеному способі буріння характеризується відповідними граничними умовами (6), за допомогою системи дев'яти нелінійних рівнянь отримано основні розв'язки Q , R та l_3 . Для аналітичного дослідження сил взаємодії двоопорної КНБК із вибоєм і стінками свердловини за аналогією розроблено відповідні розрахункові схеми і математичні моделі, в яких для секції, довжиною l_1 , використовують рівняння (1), для 2-ї і 3-ї – відповідно (4) і (5), а для 4-ї – рівняння (7):

$$EI_4 \frac{d^2 y_4}{dx_4^2} = - \left[P - \sum_{i=1}^3 q_i l_i \cos(\alpha) \right] y_4(x_4) + Q \left(x_4 + \sum_{i=1}^3 l_i \right) \pm \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^3 \frac{q_i l_i^2}{2} + q_1 l_1 l_2 + \\ + l_3 (q_1 l_1 + q_2 l_2) + \\ + x_4 \sum_{i=1}^3 q_i l_i + \frac{q_4 x_4^2}{2} \end{array} \right) \sin(\alpha). \quad (7)$$

Шляхом розв'язку системи рівнянь, складеної за умовами (8), аналогічно отримуємо основні розв'язки Q , R , l_4 .

$$\left. \begin{array}{l} y_1(0) = 0 \quad y_1'(l_1) - y_2'(0) = 0 \\ y_2'(l_2) - y_3'(0) = \pm \Delta \\ y_2(l_2) = y_3(0) \\ y_1(l_1) = y_2(0) \\ y_1(l_1) = \pm (D_{ДОЛ} - D_{ОЦЕ}) / 2 \\ y_3(l_3) = y_4(0) = (D_{ДОЛ} - D_{ОЦЕ}) / 2 \\ y_3'(l_3) = y_4'(0) \quad y_4'(l_4) = 0 \\ y_4(l_4) = r \quad y_4''(l_4) = 0 \end{array} \right\} \quad (8)$$

Вдосконалено методику прогнозування енергетичних витрат на роботу орієнтованих КНБК із різною кількістю опор у стовбурі свердловини, які пов'язані з подоланням опору їх обертанню і осьовому переміщенню в умовах суміщеного способу на основі інформації про гірничо-геологічні і техніко-технологічні умови буріння. Запропоновано до використання показник питомих енергетичних витрат для подолання опору зовнішнього середовища в процесі роботи орієнтованої КНБК для оцінки енергоефективності компоновок різних конструкцій за довільних умов експлуатації. На принципах поєднання статичних характеристик взаємодії долота і ОЦЕ її елементів із вибоєм і стінками свердловин розроблено алгоритм проектування і вибору орієнтованих КНБК на базі ВД. В його основі лежить отримання мінімальних силових параметрів опору їх осьовому переміщенню і моментів на обертання в стовбурі свердловини для забезпечення найменших енергетичних витрат на роботу систем

скерованого буріння при заданих гірничо-геологічних і техніко-технологічних умовах. Математичні моделі орієнтованих КНБК із одним і двома ОЦЕ передбачають установаження першого ОЦЕ, діаметром 212,7 мм на віддалі 0,5 м від долота, діаметром 215,9 мм, а другого ОЦЕ, діаметром 210 мм – після корпусу ВД і визначення силових і енергетичних показників їх роботи в стовбурі свердловини для різноманітних вихідних параметрів.

Для вибору енергоефективної орієнтованої КНБК пропонується використати показник питомих енергетичних витрат на подолання опору осевого переміщення в процесі її роботи:

$$\varepsilon = E_{\Sigma} / L_{\text{КНБК}}, \quad (9)$$

де $L_{\text{КНБК}}$ - довжина КНБК; E_{Σ} - сумарні енергетичні витрати на подолання опору осевого переміщення в процесі роботи неорієнтованих КНБК:

$$E_{\Sigma} = \sum_i^j (\Delta E_{\text{оп}_i} + \Delta E_{\text{об}_i}), \quad (10)$$

де j - кількість обертів долота під час буріння інтервалу Δh ; $\Delta E_{\text{оп}}$ і $\Delta E_{\text{об}}$ - енергетичні витрати на подолання опору осевого переміщення і обертання КНБК, при цьому:

$$\Delta E_{\text{оп}} = \sum_{i=1}^n (F_{\text{оп}_i} \Delta h + \mu R_i), \quad (11)$$

де $F_{\text{оп}_i}$ - сила опору осевого переміщення орієнтованої КНБК у свердловині; μ - коефіцієнт тертя ОЦЕ до стінки свердловини; n - кількість ОЦЕ в КНБК.

$$\Delta E_{\text{об}} = 2\pi (M_{\text{дол}} + \sum_{i=1}^n M_{\text{оце}_i}), \quad (12)$$

де $M_{\text{дол}} = f(Q, D_{\text{дол}})$ і $M_{\text{оце}} = f(R_i, D_{\text{оце}})$ - моменти опору під час обертання долота і ОЦЕ.

Запорукою енергоефективності КНБК є відповідність умов $\varepsilon \rightarrow 0$ при $Q \cong \text{const}$.

У **третьому розділі** досліджено вплив конструктивних характеристик орієнтованих КНБК на базі ВД і техніко-технологічних параметрів процесу суміщеного способу буріння на статичні і енергетичні характеристики їх взаємодії зі стінками скерованої свердловини (на окремих реальних прикладах, рис. 3, а), б), в)).

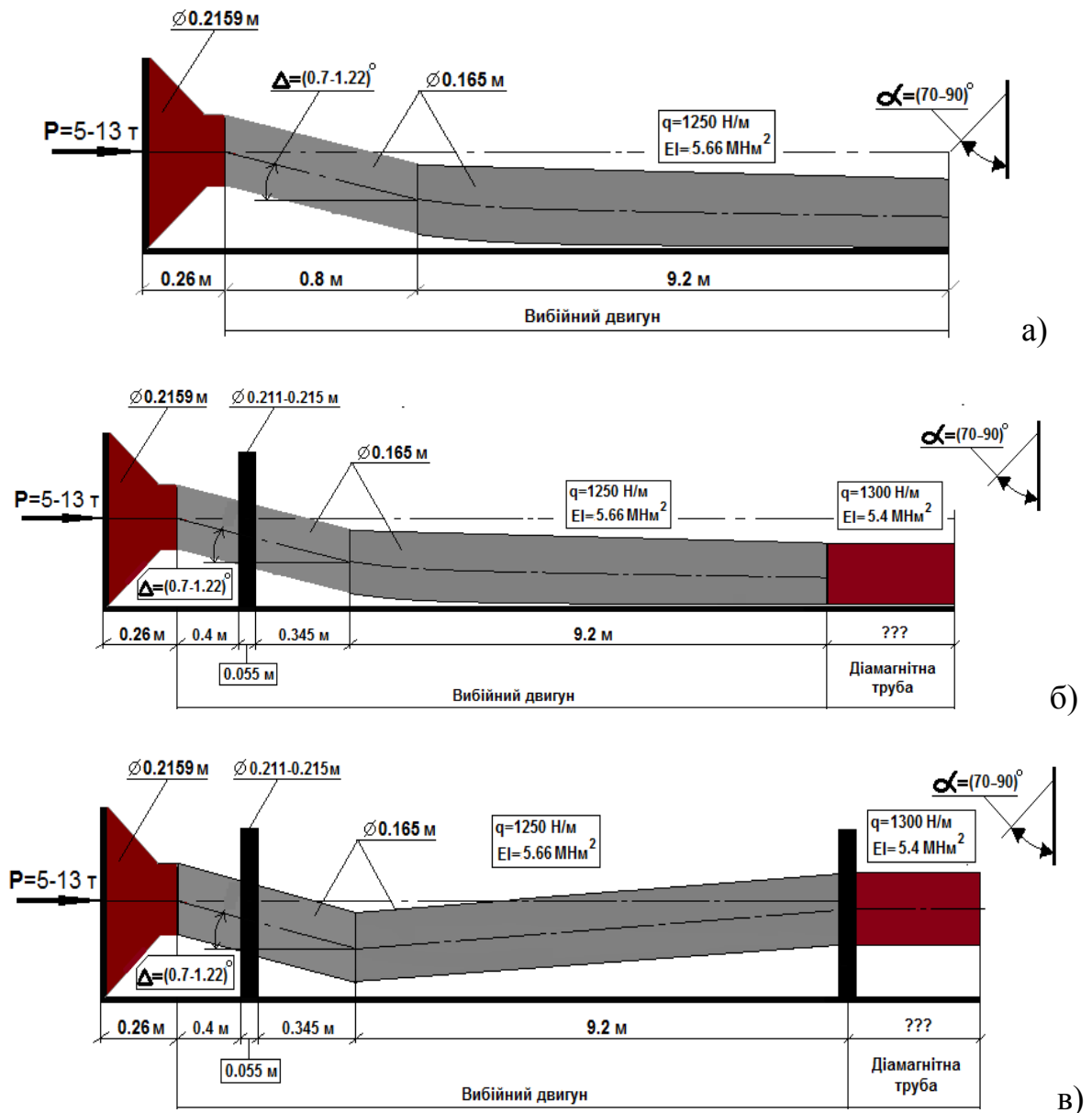


Рисунок 3 – Розрахункові параметри орієнтованих КНБК

За результатами аналітичних досліджень отримано графічні залежності зміни відхиляючого зусилля на долоті $Q(P)$ та кута його повороту $\delta(P)$ для крайових умов розташування компоновок. При цьому відображено зміни $Q(P)$ та $\delta(P)$ для різноопорних орієнтованих КНБК (відповідно рис. 4, а), б).

Цими дослідженнями встановлено, що внаслідок конструктивної приналежності до компоновки кута перекосу Δ у ВД під час її обертання навколо осі стовбура свердловини відбувається циклічна зміна радіального зазору в місці перекосу частин його корпусу.

За результатами аналітичних досліджень статичних характеристик взаємодії орієнтованих КНБК на базі ВД із різною кількістю ОЦЕ при суміщеному способі буріння встановлено:

- зміну радіального зазору в місці перекосу частин корпусу ВД, яка призводить до відповідної зміни довжини верхнього (більшого) плеча КНБК, що сприяє зміні відхиляючого зусилля на долоті Q і кута його повороту δ ;

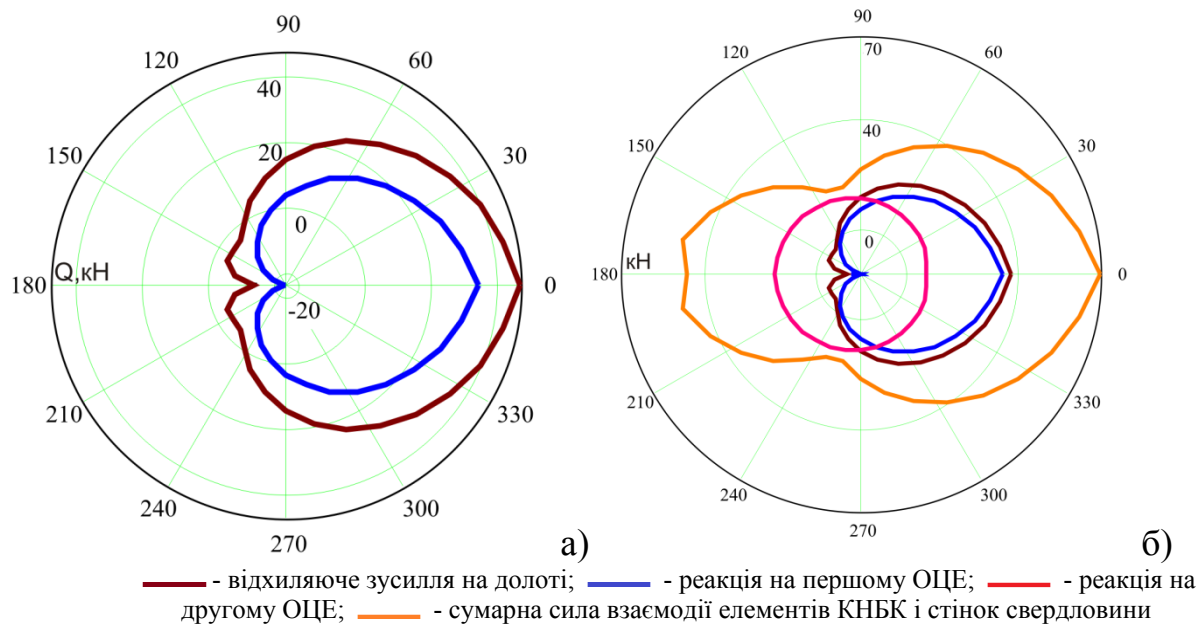


Рисунок 4 – Силві характеристики взаємодії орієнтованих КНБК із вибоєм і стінками свердловини за один оберт ($P = 8 \text{ т}$; $\alpha = 80^\circ$)

– при обертанні без- і одноопорних орієнтованих КНБК відбуваються зміни кута перекосу долота $-0.572^\circ < \delta < 1.24^\circ$ і $-0.11^\circ < \delta < 0.14^\circ$ та здійснюється обертання долота навколо осі стовбура свердловини з радіальною змінною відхиляючою силою на долоті;

– за показниками опору осьового переміщення в стовбурі свердловини, величини згинальних моментів і напружень згину вздовж осі орієнтованих КНБК встановлено, що їх двоопорні конструкції, в порівнянні з одно- і безопорними системами мають обмежене використання як високомоментні і енерговитратні системи.

Розроблено аналітичний метод і запропоновано відповідні критерії оцінки енергоємності роботи орієнтованих КНБК із різною кількістю ОЦЕ при суміщеному способі буріння. Встановлено, що на показники енергоємності орієнтованої компоновки найсуттєвіше впливають величина зенітного кута стовбура свердловини, фізико-механічні характеристики гірської породи, яка його формує, та конструктивні параметри КНБК (кут перекосу шпинделя відносно корпусу, кількість ОЦЕ). Кількість ОЦЕ є домінантним чинником в енерговитратності КНБК (рис. 5).

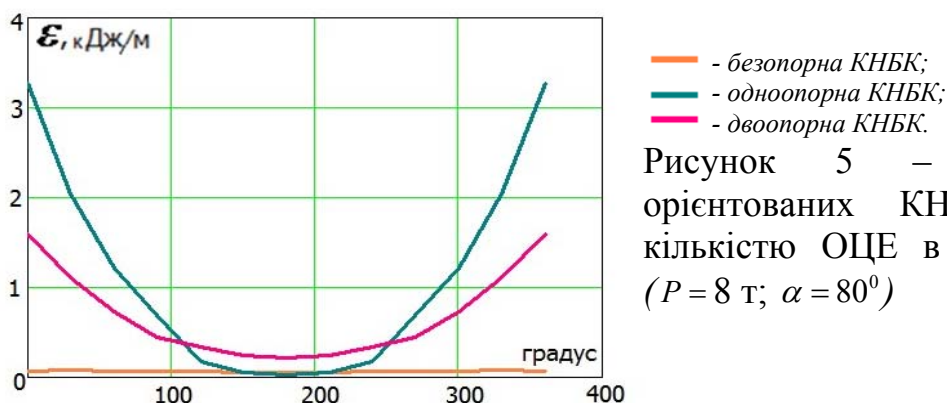


Рисунок 5 – Енергоємність орієнтованих КНБК із різною кількістю ОЦЕ в процесі роботи ($P = 8 \text{ т}$; $\alpha = 80^\circ$)

Шляхом використання цього критерію в математичних моделях орієнтованих КНБК за умови $\varepsilon \rightarrow \min$ проводиться вибір їх енергоефективних конструкцій у відповідних режимно-технологічних параметрах процесу.

Розроблено метод оцінки величини кута закручування БК при суміщеному способі буріння з використанням у нижній частині БК орієнтованих компоновок із різною кількістю ОЦЕ (13).

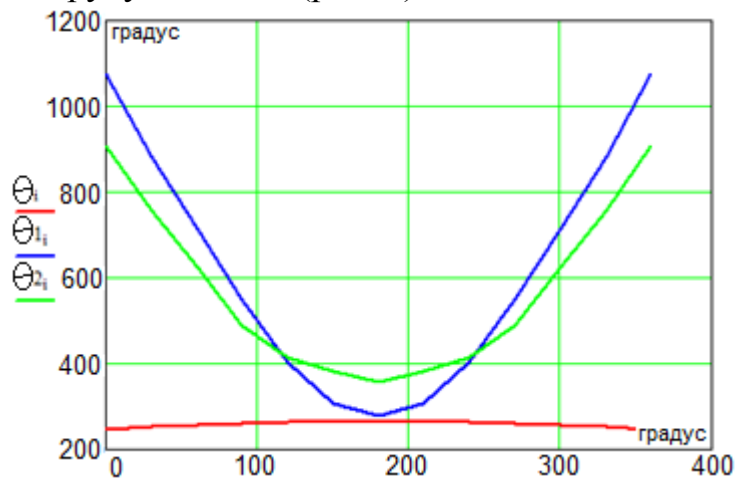
$$\Theta_k = \int_0^{l_k} \frac{\left[M_{KP} - \left(\sum_{i=1}^{k-1} M_{O_i} + M_{O(k-1)} + \frac{M_{O_k}}{l_k} x \right) \right]}{G_k I_{0k}} dx, \quad (13)$$

де k , l_k і $G_k I_{0k}$ – кількість секцій БК, їх довжини і жорсткості на кручення; M_{KP} – крутний момент на роторі для забезпечення обертання БК у свердловині; M_{O_i} , M_{O_k} – моменти опору обертання БК, обумовлені тертям до стінки свердловини.

Під час створення відповідної математичної моделі БК ураховано викривлення стовбура свердловини, додатковий момент опору обертанню в'язкого середовища, зміна сили тертя БК до стінок криволінійного стовбура свердловини за умови, що бурильні труби контактують із нижньою стінкою свердловини по всій довжині. За результатами проведених аналітичних досліджень за фіксованими вхідними даними встановлено моментоемність орієнтованих КНБК та їх вплив на кут закручування БК (рис. 6).

- - безопорна КНБК;
- - одноопорна КНБК;
- - двоопорна КНБК

Рисунок 6 – Зміна кута закручування верхньої частини БК в її компоунванні різними конструкціями орієнтованих КНБК ($P = 8$ т; $\alpha = 80^\circ$)



Збільшення моменту опору і, відповідно, кута закручування при обертанні одно- і двоопорних орієнтованих КНБК (рис. 6), яке обумовлено їх конструктивними особливостями, призводить до зростання величини кута закручування БК Θ розташованої вище. У порівнянні з безопорною конструкцією параметр Θ є більшим понад 3.5 разів, що може стати причиною виникнення заклинювання БК або її «баклін-ефекту».

Четвертий розділ присвячено аналізу технологічних умов і досвіду застосування орієнтованих КНБК у процесі буріння свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини. Розроблено метод оцінки проходження орієнтованих КНБК на базі ВД із різною кількістю ОЦЕ (їх геометричної вписуваності) при виконанні СПО в прямолінійному стовбурі свердловини.

Для безопорної орієнтованої КНБК отримано спрощену аналітичну залежність (14), яка описує величину умовного діаметра одноопорної орієнтованої КНБК із кутом перекосу корпусу ВД Δ :



$$D_{КНБК}^{УМ} = \sqrt{\left[\frac{D_{ДОЛ} - d_{\text{ед}}}{2} \right]^2 + (l_n + l_{\text{д}})^2} \cdot \sin(\Delta) + D_{ДОЛ} \cdot \cos(\Delta), \quad (14)$$

де $l_{\text{д}}$, l_n – відповідно висота долота і довжина верхнього плеча ВД; $d_{\text{ед}}$ – діаметр корпусу ВД.

Так із використанням (14) встановлено, що при куті перекосу корпусу ВД від 0° до 0.77° для ВД 4 3/4" та при куті перекосу від 0° до 1.22° для ВД 6 1/2" спостерігається умовне проходження КНБК без сил притискання її елементів (зокрема долота) до стінок свердловини. Визначено, що подальше збільшення кута перекосу корпусу ВД призводитиме до появи сил притискання елементів орієнтованих КНБК до стінок свердловини і виникнення сил опору осьовому переміщенню вздовж її осі.

Конструкція під дією зовнішніх силових факторів у свердловині (залежно від зенітного кута) набуватиме складних форм згину, які будуть визначальними в процесі виконання СПО в стовбурі скерованої свердловини. Щоб встановити інтенсивність цього впливу на статичні форми рівноваги орієнтованих КНБК у процесі СПО, застосовують метод на основі розв'язування диференціальних рівнянь пружної осі. Отриману величини $D_{КНБК}^{УМ}$ для різних кутів перекосу корпусу ВД, які зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Умовний діаметр орієнтованої безопорної КНБК

Кут перекосу на ВД, градус	умова розташування	$D_{КНБК}^{УМ}$, мм							
		ВД 6 1/2"				ВД 6 1/2"			
		1 ⁰	20 ⁰	50 ⁰	90 ⁰	1 ⁰	20 ⁰	50 ⁰	90 ⁰
		за методом диферівнянь				за формулою (14)			
-2,0		228	217	215,9		240			
-1,6		215,9				224			
-1,2		215,9				215,9			
-0,8		215,9				215,9			
-0,4		215,9				215,9			
0		215,9				215,9			
0,4		215,9				215,9			
0,8		215,9				215,9			
1,2		215,9				215,9			
1,6		224	223	222		224			
2,0		238	236	235		240			

Урахування в цій математичній моделі пружних деформацій елементів КНБК, на відміну від значень, отриманих за формулою (14), дозволило встановити, що для розрахункової вищенаведеної конструкції безопорної КНБК тільки при кутах перекосу в діапазоні $(1.6-2.0)^{\circ}$ її умовний діаметр $D_{КНБК}^{УМ}$ перевищує діаметр долота (з огляду на особливості їх конструкції).

У цьому випадку погіршується «вписуваність» компоновки в стовбур свердловини, зростають сили тертя при осьовому переміщенні і обертанні,

тобто виникають проблеми у процесі СПО і буріння.

Установлено, що саме орієнтування відхилювача компоновки в стовбурі свердловини у процесі її СПО має визначальне значення не тільки для зміни величини відхиляючого зусилля на долоті, але й для її проходження.

У процесі орієнтування площини викривлення компоновки для зменшення зенітного кута (табл. 1) умовний діаметр компоновки характеризується на 10-15% меншими значеннями, ніж при спуску конструкції як відхиляючої системи. Ще одна особливість взаємодії безопорної КНБК зі стінками свердловини виникає при зміні величини відхиляючого зусилля на долоті (рис. 7).

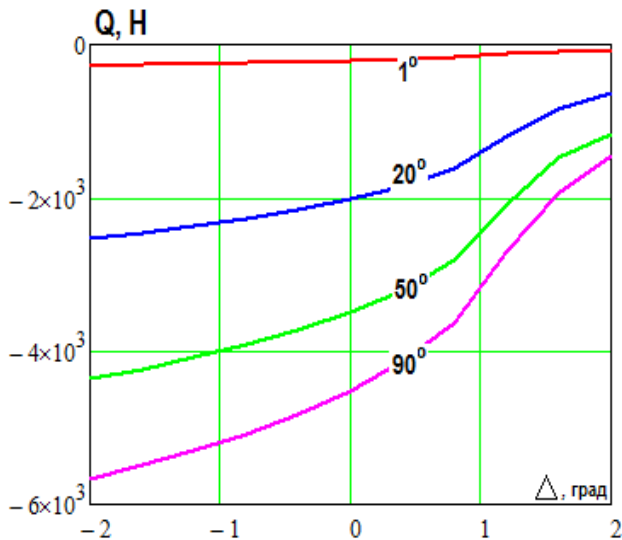




Рисунок 7 – Відхиляюче зусилля на долоті для різних значень кута перекосу Δ і α

Так, незалежно від зміни положення орієнтованої КНБК на α в діапазоні від 1° до 90° під час виконання СПО у свердловині, контактування долота відбуватиметься з її нижньою стінкою. У процесі орієнтування компоновки в певній площині викривлення внаслідок зміни довжини і відповідно ваги компоновки, відхиляюче зусилля на долоті Q характеризується для випрямляючої компоновки в 1,5-2,8 рази меншими значеннями, ніж при спуску конструкції як відхиляючої системи. Це має важливе значення у процесі орієнтування компоновок такого типу в стовбурі свердловини у процесі СПО.

За аналогією проведено дослідження вписуваності одноопорної орієнтованої КНБК у стовбурі скерованої свердловини. При цьому встановлено величину оптимального діаметра ОЦЕ орієнтованої одноопорної КНБК фіксованої конструкції з умови забезпечення безперешкодного проходження низу бурильної колони по стволу свердловини (табл. 2).

За отриманими на першому оціночному етапі розрахунку, даними (табл. 2), по величинах діаметра ОЦЕ можна первинно оцінити їх взаємодію зі стінкою свердловини в залежності від місця встановлення на корпусі ВД. Якщо діаметр ОЦЕ буде меншим за вказане в табл. 2 значення, то можливе його зависання у свердловині (відсутністю контактування зі стінкою). Якщо розглядається діаметр ОЦЕ, що більший за встановлену величини в табл. 2, то необхідно проводити розрахунок вписуваності компоновки із визначенням її оптимального прохідного діаметру.

Таблиця 2 – Діаметр ОЦЕ орієнтованої одноопорної КНБК за умови $Q_{\min} \rightarrow 0$

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

Розроблено підхід щодо прогнозування інтенсивності викривлення стовбура свердловини з використанням орієнтованих КНБК і заданих режимно-технологічних параметрів. Встановлено, що для величини zenітного кута стовбура свердловини $(0-40)^0$, інтенсивність викривлення коливатиметься в діапазоні від $0.11^0/10$ м до $3.0^0/10$ м при куті перекосу шпинделя від 0^0 до 1.22^0 м. З використанням розробленого підходу проведено розрахунок низки конструкцій орієнтованих КНБК для реальних промислових умов використання і доведено їх ефективність у процесі буріння суміщеним способом на свердловинах № 525 Бугруватівського (в інтервалі 3561-3944 м) та № 258 Гнідинцівського (в інтервалі 1463-1856 м) родовищ. Разом з тим проведено успішну промислову апробацію розроблених в дисертаційній роботі методичних підходів щодо проектування і вибору конструкцій орієнтованих КНБК, спроектованих на базі ВД.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі аналізу науково-практичних і промислових даних розроблено математичні моделі розрахунку статичних характеристик взаємодії елементів орієнтованих КНБК і проектування їх конструкцій для використання в скерованих свердловинах у процесі суміщеного способу буріння. Одержано такі основні висновки.

1. На підставі аналізу проблем буріння ПСС і ГС на прикладі Бугроватівського і Гнідинцівського родовищ встановлено ряд обмежень традиційних науково-практичних і техніко-технічних підходів для забезпечення параметрів їх проектного профілю. Сформульовано загальну задачу вибору технологічних рішень для буріння скерованих свердловин суміщеним способом із використанням орієнтованих КНБК на базі ВД. Для проектування і вибору оптимальних параметрів ефективних орієнтованих КНБК із різною кількістю ОЦЕ запропоновано математичні моделі, в основу яких вкладено техніко-технологічні параметри, енергетичні характеристики їх роботи в стовбурі свердловини та систем обмежень для забезпечення параметрів проектного профілю.

2. Науково обґрунтовано статистичні моделі проектування і вибору енергоефективних орієнтованих КНБК на базі ВД із кутом перекосу шпинделя від 0.77° до 1.22° в умовах суміщеного способу буріння у процесі відповідно заданих величин зенітного кута, осьового навантаження на долоті, кількості ОЦЕ і відстані їх встановлення, відносно вибою.

Розроблено математичні моделі орієнтованих КНБК на базі ВД із різною кількістю ОЦЕ. Їх реалізовано у програмному середовищі *MathCad Profeschenal*. В аналітичних моделях враховано особливості конструкцій КНБК, умови взаємодії ОЦЕ зі стінками свердловини, обертання компоновок. Розроблено алгоритм проектування і вибору орієнтованих КНБК, побудований на принципах поєднання статичних характеристик взаємодії її елементів із вибоєм і стінками свердловин, мінімальних силових параметрів опору їх осьовому переміщенню і моментів на обертання в стовбурі свердловини для забезпечення найменших енергетичних затрат на роботу систем скерованого буріння у процесі заданих гірничо-геологічних і техніко-технологічних умов буріння.

3. За результатами аналітичних досліджень оцінено вплив техніко-технологічних параметрів процесу буріння скерованих орієнтованих КНБК суміщеним способом (зенітного кута, кута перекосу осі корпусу ВД, навантаження на долото, кількості ОЦЕ).

Досліджено вплив кута перекосу осі корпусу ВД (від 0.77° до 1.22°), осьового навантаження на долото (від 40 кН до 140 кН), діаметра ОЦЕ (від 211 мм до 215 мм) і місця його встановлення на статичні (відхиляюче зусилля на долоті та кут його повороту, реакція на опорах) і енергетичні показники взаємодії елементів орієнтованої КНБК із вибоєм і стінками свердловини (опір осьовому переміщенню і обертанню в стовбурі свердловини). Встановлено, що орієнтовані КНБК із різною кількістю ОЦЕ (без-, одно- і двоопорні конструкції) за відповідних конструктивних параметрів у процесі суміщеного способу

буріння за відносно рівномірного розподілу відхиляючого зусилля на долоті і куті його повороту забезпечують обертання долота навколо осі стовбура свердловини.

Розширено сукупність оцінок ефективності використання орієнтованих КНБК шляхом визначення величини питомих енергетичних витрат як параметра з оцінки їх коефіцієнта корисної дії. Шляхом оцінки величини роботи, витраченої на керування у процесі суміщеного способу буріння орієнтованими КНБК, параметрами проектного профілю скерованої свердловини, встановлено, що збільшення кількості ОЦЕ в їх складі, величини зенітного кута свердловини і показників фізико-механічних характеристик гірської породи (її стінок) обмежує використання опорних компоновок як високомоментних і енерговитратних систем.

4. Отримано метод оцінки за силовими параметрами взаємодії елементів одно- і безопорної орієнтованих КНБК на базі ВД, ступеня їх прохідності в стовбурі ПСС і ГС при різних варіантах розташування плеча перекосу вкороченої шпindelної секції. Визначено, що в діапазоні зміни зенітного кута $0-90^{\circ}$ стовбура свердловини краща (на 10-15 %) прохідність компоновки з нижнім розташуванням плеча перекосу ВД. Для одноопорної КНБК визначено оптимальні діаметри ОЦЕ, для ефективної прохідності системи в стовбурі свердловини визначено діаметра і кутів перекосу шпінделя 0.8° та 1.22° .

Отримано практичне підтвердження основних результатів дослідження щодо проектування і вибору орієнтованих КНБК у процесі буріння свердловин № 258 Гнідинцівського та № 525 Бугруватівського родовищ.

5. За результатами виконаних досліджень розроблено *«Технологічний регламент на буріння свердловин із похило-скерованими і горизонтальними стовбурами»* ТР 31174865.001:2016, який пройшов апробацію у процесі буріння свердловин і впроваджений у ТОВ «Бурова техніка», а також *«Методика розрахунку орієнтованих компоновок низу бурильної колони для суміщеного способу буріння»* та *«Методика розрахунку зведеного моменту інерції бурильної колони для роторного та суміщеного способів буріння свердловин»*, які впроваджені в ТОВ «Ендейвер».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, в яких опублікуванні основні результати дисертації

1. Лазаренко О.Г., Наритник І.І., Величко О.О., Лівінський А.М., Коваль О.Ф. Комплекс техніко-технологічних рішень для якісного закінчування горизонтальних свердловин. *«Буріння»*. 2012. №1 (9). С. 55-57.
2. Лазаренко О. Г., Лівінський А.М. Досвід буріння горизонтальних свердловин на Гнідинцівському родовищі. *Породоразрушающий и метало-обработывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ. 2014. Вып.17. С. 47-52.
3. Коцкулич Я.С., Лівінський А.М. Відновлення свердловин шляхом забурювання бокових стовбурів – перспективний напрям збільшення обсягів видобутку вуглеводнів. *Породоразрушающий и металообработывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ. 2015. Вып. 18. С. 43-48.
4. Коцкулич Я.С., Вітрик В.Г., Лівінський А.М. Застосування роторно-керованих систем при споруджуванні похило-скерованих свердловин. *Породоразрушающий и металообработывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ. 2016. Вып.19. С. 49-54.
5. Коцкулич Я.С., Лівінський А.М., Лазаренко О.Г., Кирчей О.І. Відновлення свердловин шляхом забурювання нових стовбурів. *Молодий вчений*. 2016. №12.1(40). С.45-49.
6. Чудик І.І., Лівінський А.М., Білецька І.Я. Розширення технологічних можливостей орієнтованих компоновок низу бурильної колони. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2017. № 2 (43). С. 26-32.
7. Чудик І.І., Лівінський А.М. Вивчення технологічних можливостей орієнтованих опорних компоновок низу бурильної колони. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. №3(64). С. 31-39.
8. Ливинский А. М. Исследование устойчивости нижней части бурильной колонны при бурении скважин с наклонно-направленным и горизонтальным стволами. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*. 2018. № 5. С.13-20.
9. Чудик І.І., Лівінський А.М., Аль Танакчі А., Пастух А.М., Нурузаде Е. Оцінка конструктивних параметрів орієнтованих компоновок для забезпечення їх проходження в стовбурі скерованої свердловини. *Нафтогазова енергетика*. 2019. №1(31). С.18-25.
10. Чудик І.І., Лівінський А.М., Аль Танакчі А., Пастух А.М. Особливості застосування орієнтованих КНБК у процесі буріння скерованих свердловин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. №1(70). С. 17-24.

Тези наукових конференцій

11. Лазаренко О. Г., Лівінський А.М. Горизонтальне буріння свердловин. Нафтогазова освіта та наука. Стан та перспективи: матеріали науково-технічної конференції (Івано-Франківськ, 10-12 грудня 2014 р.). Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2014. С.131-132.

АНОТАЦІЯ

Лівінський А. М. Удосконалення технології буріння скерованих свердловин суміщеним способом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2019.

Дисертація присвячена проектуванню і вибору орієнтованих компоновок низу бурильної колони для суміщеного способу буріння скерованих свердловин.

Проведено критичний аналіз існуючого техніко-технологічного забезпечення для буріння скерованих свердловин та їх ефективності на Гнідинцівському і Бугроватівському родовищах. Розроблено математичні моделі орієнтованих КНБК на базі вибійного двигуна в стовбурі скерованої свердловини з різною кількістю опор для суміщеного способу буріння.

Досліджено вплив техніко-технологічних параметрів застосування орієнтованих КНБК на базі вибійного двигуна в умовах суміщеного способу буріння на силові і енергетичні показники їх роботи в стовбурі скерованих свердловин. Вивчено зв'язок між конструктивними параметрами орієнтованих КНБК із різною кількістю опор та умовами проходження в стовбурі скерованих свердловин. Проведено промислову апробацію науково-практичних основ проектування і вибору орієнтованих КНБК у промислових умовах на родовищах Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: статичні характеристики, кут перекосу, відхиляюче зусилля на долоті, реакція на центраторі, орієнтована компоновка низу бурильної колони, опорно-центрувальний елемент.

ABSTRACT

Livinskyi A.M. Improvement of the technology of directional drilling by using combined drilling method. - On the rights of the manuscript.

Dissertation to get a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.15.10 - Drilling of wells. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2019.

Dissertation is devoted to the design and select of oriented BHAs for the combined drilling method in directional wells.

A critical analysis of the existing technical and technological technologies for drilling directional wells and their efficiency at the Gnidyntsiyske and Bugruvativske fields. The mathematical models of the oriented BHAs based on PDM in directional well with different number of stabilizers for the combined drilling method were developed.

The influence of technical and technological parameters of the application of the oriented BHAs based on PDM in the conditions of the combined drilling method to the power and energy indices of their work in directional well was investigated. The interaction between the constructive parameters of the oriented BHAs with different number of stabilizers and conditions of passing in directional well was studied. The industrial testing of scientific and practical bases of designing and selection of

oriented BHAs in industrial conditions on some fields of the Dnipro-Donetsk Valley was carried out.

Key words: static characteristics, bend, side forces on the bit, reaction on the stabilizer, Bottom Hole Assembly (BHA), stabilizer.

АНОТАЦИЯ

Ливинский А. М. Усовершенствование технологии бурения направленных скважин совмещенным способом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2019.

По результатам критического анализа научно-практических и производственно-технологических данных бурения направленных скважин изучен существующий спектр проблем управления параметрами их проектных профилей с использованием традиционных КНБК. Внимание сконцентрировано на ориентированных КНБК на базе забойного двигателя (ЗД), для которых систематизированы математические модели расчетов, критерии их проектирования и выбора. Сформулировано общее задание выбора технологических решений для бурения направленных скважин совмещенным способом с использованием ориентированных КНБК на базе ЗД. Для проектирования и выбора параметров этих компоновок с разным количеством опорно-центрирующих элементов (ОЦЭ) предложено использовать сочетание конструктивных параметров и энергетических характеристик их взаимодействия с забоем и стенками скважины.

Алгоритм проектирования и выбора ориентированных КНБК на базе ЗД базируется на принципах обеспечения соответствующего отклоняющего усилия на долоте и угле его поворота, оптимальной интенсивности искривления ствола скважины, минимальных силовых параметрах сопротивления их осевому перемещению и моментах на вращение в стволе скважины с целью обеспечения наименьших энергетических потерь на работу систем направленного бурения при заданных горно-геологических и технико-технологических условиях.

Установлено технико-технологические характеристики энергоэффективных ориентированных КНБК на базе ЗД с углом прекоса шпинделя от 0.77° до 1.22° при совмещенном способе бурения для заданных условий (при соответствующем режимно-технологических параметрах).

Разработанные математические модели ориентированных КНБК на базе ЗД с одним и двумя ОЦЭ предусматривают установку первого ОЦЭ, диаметром 212,7 мм на расстоянии 0,5 м от долота диаметром 215,9, а второго ОЦЭ, диаметром 210 мм – установленным за корпусом ЗД и определение силовых и энергетических показателей их работы в стволе скважины при различных режимно-технологических параметрах направленного бурения.

По результатам аналитических исследований установлена картина изменений статических характеристик взаимодействия элементов ориентированными КНБК под влиянием различных значений зенитного угла,

угла перекоса оси корпуса ЗД, нагрузка на долото, количества ОЦЭ. Определены диапазоны изменения этих параметров и пути управления ними.

Усовершенствована методика прогнозирования энергетических затрат на работу ориентированных КНБК при разном количестве ОЦЭ в направленном стволе скважины. Введено понятие «показателя удельных энергетических потерь» для преодоления сопротивления внешней среды в процессе работы ориентированной КНБК на базе ЗД. Предложен алгоритм и условия его использования для оценки энергоэффективности компоновок различных конструкций в произвольных условиях эксплуатации.

Исследовано влияние вращения долота вокруг оси скважины при переменных конструктивных параметрах ориентированных КНБК и установлено, что изменения радиального зазора в месте перекоса частей корпуса ЗД приводит к изменению длины верхнего (большого) плеча КНБК, способствуя увеличению отклоняющего усилия на долоте и угла его поворота с переходом их через «нулевое значение». Установлено, что за счет перекоса корпуса и изменения количества ОЦЭ, их диаметров и местоположения в компоновке обеспечивается радиальное распределение по всей поверхности стенки скважины отклоняющего усилия на долоте, что способствует ее разрушению по периферии.

Определены основные факторы формирования удельных энергетических потерь на работу ориентированных КНБК и критерий их энергоэффективности при совмещенном способе бурения при разном количестве ОЦЭ в их составе, переменной величине зенитного угла ствола скважины и физико-механических характеристиках, формируемых горной породой.

Создана математическая модель оценки влияния момента сопротивления при вращении в вязкой среде, сил трения бурильных труб о стенки криволинейного ствола скважины, конструктивных особенностей ориентированных КНБК на закручивание бурильной колонны в искривленном стволе скважины. В математические модели проектирования и выбора ориентированных КНБК введен критерий энергозатратности, использование которого при соответствующих режимно-технологических параметрах процесса бурения наиболее эффективно.

Разработан метод оценки степени проходимости одно- и безопорных КНБК в стволе направленной скважин при различных вариантах расположения плеча перекоса его укороченной шпиндельной секции. Определено, что в диапазоне изменения зенитного угла $(0-90)^{\circ}$ проходимость компоновки в стволе скважины на 10-15 % лучше при нижнем расположении плеча перекоса ЗД.

Основные результаты научных исследований успешно апробированы в промышленных условиях, их практическую ценность подтверждено в плане проектирования и выбора ориентированных КНБК для бурения горизонтальных скважин № 258 Гнединцевского и № 525 Бугруватовского месторождений.

По результатам выполненных исследований разработаны производственные руководящие документы, который прошли апробацию при бурении скважин и внедрен в ООО «Буровая техника» и ООО «Ендейвер».

Ключевые слова: статические характеристики, угол перекоса, отклоняя усилия на долоте, реакция на центраторе, ориентированная компоновка низа бурильной колонны, опорно-центрирующий элемент.