

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

ДОЛИК РУСЛАН МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 622.24.001.57

**ВИБІР
НЕОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ
ДЛЯ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН РОТОРНИМ 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 – 2018

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мислюк Михайло Андрійович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
професор кафедри буріння
нафтових і газових свердловин

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

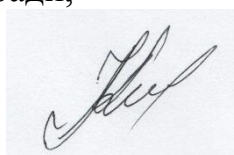
Захист відбудеться «04» жовтня 2018 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Автореферат розісланий «03» вересня 2018 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,

кандидат технічних наук, доцент



І.М. Ковбасюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень. Один із шляхів до енергонезалежності України лежить через нарощування обсягів видобутку вуглеводневої сировини, що вимагає значного збільшення об'ємів буріння пошуково-розвідувальних свердловин.

На даний час спорудження нафтових і газових свердловин здійснюється у важкодоступних місцях та вже в освоєних регіонах країни, що зумовлює необхідність буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин. Вертикальні і похилі ділянки, інакше кажучи стабілізовані, складають більшу частину траєкторії свердловин, які переважно проходять роторним способом буріння.

Буріння стабілізованих ділянок свердловин включає сукупність технологічних операцій, серед яких найбільш вагомою для забезпечення якості є поглиблення свердловини.

Якість стовбура свердловин характеризується геометричними параметрами траєкторії, формою і діаметром поперечного перерізу, залежить від геологічних, технічних і технологічних факторів та оказує вагомий вплив на ефективність спорудження і подальшої експлуатації свердловин.

Ефективність технології буріння стабілізованих ділянок свердловин багато в чому залежить від застосування компоновок низу бурильної колони (КНБК), що визначає якість стовбура свердловини і техніко-економічні показники роботи доліт. Це зумовлює поліфункціональні вимоги до вибору КНБК, які визначаються гірничегеологічними і технічними умовами буріння. Вибір КНБК вимагає інформації про вплив режимно-технологічних параметрів на викривлення свердловини у відповідних умовах буріння.

Проблема вибору КНБК у різних її аспектах вивчалась вітчизняними і закордонними науковцями. Зокрема, слід відмітити наукові праці таких авторів: Александрова М.М., Белорусова В.О., Беляєва В.М., Васька І.А., Воевідка І.В., Гречіна Є.Г., Григулецького В.Г., Гулізаде М.П., Гуляєва В.І., Іоанесяна Р.А., Ішемгужина Е.І., Калініна А.Г., Кауфмана Л.Я., Кунцяка Я.В., Мислюка М.А., Мойсишина В.М., Новікова В.Д., Овсяннікова А.С., Оганова А.С., Поваліхіна А.С., Семака Г.Г., Солодкого К.М., Стефурака Р.І., Султанова Б.З., Фриза І.М., Чудика І.І., Янтурина Р.А., Яремійчука Р.С., Allen M.B., Amara M.H., Bailey J.R., Bernt S., Chandra U., Chen D.C., Dareing D., Dunayevsky V.A., Hoch R., Lubinski A., Millheim K., Mitchell R.F., Walker B.H., Wiley C., Woods H.B. та ін.

Огляд опублікованих наукових праць за даною проблемою дозволив визначитись у методології вибору неорієнтованих КНБК для буріння стабілізованих ділянок свердловин на основі статистичної моделі прийняття технологічних рішень в умовах інформаційної невизначеності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно тематичних планів 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).

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження є покращання характеристик неорієнтованих КНБК для буріння стабілізованих ділянок свердловин роторним способом.

Досягнення поставленої мети пов'язане з вирішенням таких основних завдань досліджень:

1. Розробка моделі вибору неорієнтованих КНБК із урахуванням поліфункціональних вимог для буріння свердловин роторним способом.
2. Дослідження впливу інформаційної невизначеності про умови буріння стабілізованої ділянки свердловини на характеристики неорієнтованих КНБК.
3. Аналіз технологій буріння стабілізованих ділянок свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини.
4. Розробка і апробація рекомендацій з вибору неорієнтованих КНБК для буріння стабілізованих ділянок свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є неорієнтовані КНБК для буріння свердловин роторним способом, а *предметом дослідження* – статичні та динамічні характеристики КНБК в умовах інформаційної невизначеності.

Методи дослідження. Вибір неорієнтованих КНБК обґрунтовано з використанням статистичної моделі прийняття технологічних рішень. Оцінку ефективності КНБК побудовано методом статистичного моделювання (Монте-Карло). Статичні і динамічні характеристики КНБК в умовах інформаційної невизначеності досліджено з використанням методів планування числових експериментів та програмного забезпечення ЗАТ «Агронафта» і програмного середовища «ANSYS». Обробку промислових даних геометричних параметрів стовбура свердловин, відробки бурових доліт і характеристик КНБК виконано на основі статистичних процедур аналізу даних (оцінювання параметрів, кореляційний і регресійний аналізи, перевірка гіпотез).

Наукова новизна одержаних результатів

Формалізовано загальну задачу вибору технологічних рішень для буріння стабілізованих ділянок свердловин і побудовано її декомпозицію як строгої послідовності задач вибору складу та властивостей бурового розчину, способу і режиму буріння, КНБК із використанням відповідних локальних критеріїв оптимальності та систем обмежень.

Удосконалено методу вибору неорієнтованих КНБК із урахуванням поліфункціональних вимог для реалізації ефективних режимів відробки бурових доліт, забезпечення стабілізації напрямку буріння та якості стовбура свердловини.

Уточнено алгоритм розрахунку статичних і динамічних характеристик неорієнтованих КНБК із неповнорозмірними опорно-центрувальними елементами (ОЦЕ), реалізація якого зводиться до вибору розрахункової моделі із мінімальною питомою енергією деформації низу бурильної колони від вибою до точки дотику обважнених бурильних труб (ОБТ) зі стінкою свердловини.

Практичне значення одержаних результатів дисертації полягає у тому, що виконані дослідження складають базу для науково-обґрунтованого вибору неорієнтованих КНБК при бурінні стабілізованих ділянок свердловин з метою

покращання якості стовбура свердловини та підвищення техніко-економічних показників роботи бурових доліт.

За результатами досліджень розроблено і затверджено технологічні рекомендації з вибору неорієнтованих КНБК для буріння свердловин на деяких площах ПрАТ «Нафтогазвидобування» та БУ «Укрбургаз».

Особистий внесок здобувача. Постановку задачі сформульовано науковим керівником професором М.А. Мислюком. Здобувачем самостійно досліджено вплив інформаційної невизначеності на статичні та динамічні характеристики КНБК [6 – 8]. Проведено аналіз технологій буріння стабілізованих ділянок свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини [1, 3, 4, 7 – 10] та розроблено рекомендації з вибору неорієнтованих КНБК для буріння стабілізованих ділянок свердловин роторним способом [2, 3, 5 – 12].

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися й обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: міжнародний паливний конгрес SPE (м. Івано-Франківськ, 10 – 12 грудня 2015 р.); міжнародна конференція «East meets West» (м. Краків, 20 – 22 квітня 2016 р.); міжнародна конференція GeoDrilling II «Буріння і розкриття пластів – 2017» (м. Полтава, 15 лютого 2017 р.); міжнародна науково-практична конференція «Булатовские чтения» (м. Краснодар, 31 березня 2017 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 наукових праць, з яких у співавторстві 6 статей у фахових наукових журналах (в т.ч. 4 статті в іноземних журналах), 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях та отримано 2 патенти України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (151 найменування). Викладена на 187 сторінках машинописного тексту, містить 31 рисунок і 53 таблиці.

Автор висловлює щиру подяку науковому керівнику докт. техн. наук, проф. Мислюку М.А. за цінні поради в науковій роботі, а також дякує за надану промислову інформацію БУ «Укрбургаз» та ПрАТ «Нафтогазвидобування».

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито сутність і стан наукової проблеми та її значущість, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, викладено зв'язок вибраного напрямку досліджень з 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 дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано сучасний стан технологій буріння стабілізованих ділянок свердловин, статичні та динамічні моделі низу бурильної колони, принципи вибору КНБК і системи якості оцінювання технологічних операцій. Відзначено, що тип і параметри КНБК оказують вплив на траєкторію та якість стовбура свердловини, а форма поперечного перерізу є одним із визначальних факторів якості цементування свердловини. Встановлено, що існуючі методики вибору КНБК недостатньо враховують промислову інформацію та інформаційну

невизначеність про zenітний кут свердловини, параметри режиму буріння та параметри свердловини (локальні нерівності стінок, наявність локальних каверн).

У другому розділі розроблено методичні засади прийняття технологічних рішень для буріння стабілізованих ділянок свердловин.

Формалізовано загальну задачу прийняття технологічних рішень у вигляді

$$\begin{cases} K_l(p^v) \rightarrow \min, l \in L, v \in \mathcal{G}, p^v \in D^v; \\ \varphi(p^v) \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $K_l(p^v)$ – локальний критерій оптимальності в класі L ; p^v – вектор параметрів технології буріння для v -ої альтернативи; \mathcal{G} – множина конкурентних альтернатив; D^v – область визначення параметрів p^v ; $\varphi(p^v)$ – система обмежень на параметри технології.

Клас L може включати критерії вартості $K_1(p^v)$, часу $K_2(p^v)$ буріння стабілізованої ділянки свердловини та інші. Система $\varphi(p^v)$ визначає технічні і технологічні обмеження на параметри, в тому числі і для забезпечення якості свердловини.

У загальному випадку процедура побудови розв'язку задачі (1) зводиться до пошуку оптимальних параметрів p_*^v для кожної альтернативи $v \in \mathcal{G}$, а потім із умови

$$\min_v K_q(p_*^v) \Rightarrow (v_*, p_*^{v_*}) \quad (2)$$

визначають оптимальну технологію v_* та її параметри $p_*^{v_*}$. Відзначимо, що критерії $K_1(p^v)$ або $K_2(p^v)$ у поєднанні з системою обмежень $\varphi(p^v)$ забезпечують вибір технологічних рішень у відповідності (2) для досягнення високих техніко-економічних показників буріння і якості стовбура стабілізованих ділянок свердловин.

Застосування моделі (1) для вибору технологічних рішень при бурінні стабілізованих стовбурів свердловин пов'язано з деякими труднощами її інформаційного забезпечення (побудова локальних критеріїв оптимальності та системи обмежень). Для вибору оптимальних параметрів p_* технології буріння стабілізованої ділянки використовують її декомпозицію, тобто строгу послідовність моделей прийняття рішень виду (1) для вибору складу і властивостей бурового розчину, способу і режиму буріння, типу долота, КНБК

$$\begin{cases} k_{ql}(p_q^v, p_{q-1}^{v*}) \rightarrow \min, q = 1, 2, \dots, l \in L_q, v \in \mathcal{G}_q, p_q^v \in D_q^v; \\ \varphi_q(p_q^v, p_{q-1}^{v*}) \leq 0, \end{cases} \quad (3)$$

де p_{q-1}^{v*} – параметри технологічних рішень із попередніх моделей, причому для $q = 1$ маємо $p_{q-1}^{v*} = 0$.

У кожній q -й моделі використовують відповідні (причому різні) класи L_q локальних критеріїв оптимальності $k_{ql}(p_q^v, p_{q-1}^{v*})$ та систем обмежень $\varphi_q(p_q^v, p_{q-1}^{v*})$.

Залежно від інформаційного забезпечення можуть застосовуватись детерміновані, статистичні або нечіткі моделі прийняття рішень (3).

Для вибору КНБК обґрунтовано статистичну модель

$$\begin{cases} R(p^v, a^v) \rightarrow \min, v \in \mathfrak{A}, p^v \in D^v; \\ \varphi(p^v) \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

де $R(p^v, a^v)$ – функція ризику v -ої КНБК із класу \mathfrak{A} альтернатив; $a^v = (a_1^v, a_2^v, \dots, a_m^v)^T$ – вектор відомих параметрів КНБК.

Модель (4) враховує інформаційну невизначеність деяких параметрів (зенітний кут свердловини, параметри режиму буріння, наявність локальних каверн, координати точок контакту ОЦЕ зі стінками свердловини тощо). Клас \mathfrak{A} альтернативних варіантів формується конструктивними особливостями, геометричними параметрами та кількістю елементів КНБК.

Функція ризику $R(p^v, a^v)$ визначає ймовірність порушення в (4) системи обмежень $\varphi(p^v)$ для статичних і динамічних характеристик КНБК в умовах інформаційної невизначеності.

Оцінки характеристик КНБК побудовано з допомогою моделі для плоскої розрахункової схеми. Диференціальне рівняння поперечної деформації елемента низу бурильної колони

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \frac{d}{dx} \left(N(x) \frac{dw}{dx} \right) - \omega^2 \rho_m S w = (\rho_m - \rho_p) g S \sin \alpha, \quad (5)$$

де $w(x)$ – прогин елемента низу бурильної колони як функція координати x ; E – модуль пружності матеріалу на розтяг (стиснення); I – осьовий момент інерції поперечного перерізу; $N(x) = G - \int_0^x (\rho_m - \rho_p) g S \sin \alpha dx$ – поздовжня сила, яка діє у перерізі x осі колони; G – навантаження на долото; ω – кутова швидкість обертання долота; ρ_m, ρ_p – відповідно густина матеріалу труб і бурового розчину; g – прискорення сил тяжіння; S – площа поперечного перерізу труб; α – зенітний кут свердловини. Система рівнянь виду (5) доповнюється граничними умовами на долоті, ОЦЕ і точці дотику низу бурильної колони до стінки свердловини.

Статичний розрахунок $w_c(x)$ виконують при $\omega = 0$ в (5) і зводиться до оцінок відхиляючої сили F_d на долоті, реакцій R_i на ОЦЕ і координати L точки дотику КНБК до стінки свердловини. Динамічний розрахунок $w_d(x)$ виконують з нульовою правою частиною (5) і зводиться до побудови $w_d(x)/a_d$ і власних частот, де a_d – амплітуда збурення на долоті.

Побудова характеристик КНБК із використанням систем рівнянь виду (5) здійснюється методом кінцевих елементів. Вивчено вплив математичної моделі кінцевого елемента (лінійної, квадратичної і кубічної) та його довжини на результати оцінок статичних і динамічних характеристик КНБК. Це дає змогу

обґрунтувати числові параметри моделі кінцевих елементів для розрахунку характеристик КНБК у програмному середовищі «ANSYS».

Уточнено та реалізовано у програмному середовищі «ANSYS» алгоритм розрахунку характеристик КНБК із неповнорозмірними ОЦЕ, який зводиться до вибору моделі, що допускає різні можливі комбінації P контактів неповнорозмірних ОЦЕ зі стінкою свердловини

$$\min_r \Pi(L_r)/L_r \rightarrow \hat{r}, r \in P, \quad (6)$$

де $\Pi(L_r)$ – повна енергія деформації низу бурильної колони від вибою до точки L_r дотику зі стінкою свердловини для r – ої розрахункової схеми.

Умова (6) по суті відображає варіаційний принцип Релея – Рітца, який покладено в основу методу кінцевих елементів.

Із використанням промислових даних і методів планування числових експериментів обґрунтовано алгоритми вибору КНБК в умовах інформаційної невизначеності, які враховують поліфункціональні вимоги і забезпечують необхідні рівні ризиків.

Проілюстровано вибір КНБК з допомогою моделі (4) для таких даних: 295,3-мм долото; зенітний кут свердловини $\alpha = 17^\circ$; осьове навантаження на долото $G = 180$ кН; частота обертання долота $\omega = 80$ хв⁻¹; густина бурового розчину $\rho_p = 1170$ кг/м³; 203-мм ОБТ з внутрішнім діаметром 80 мм довжиною $l_{\text{ОБТ}} = 150$ м; 295,3-мм ОЦЕ з довжиною контактної поверхні $l_k = 600$ мм. Множина \mathfrak{D} допустимих варіантів включає КНБК із трьома і більше повнорозмірними ОЦЕ.

Умови невизначеності задачі вибору КНБК моделювали статистично незалежними випадковими величинами з параметрами: зенітний кут – нормальний закон, $\bar{\alpha} = 17$ град, $\sigma_\alpha^2 = 1$ град²; осьове навантаження – рівномірний закон, $G_a = 170$ кН, $G_b = 190$ кН; частота обертання – рівномірний закон, $\omega_a = 70$ хв⁻¹, $\omega_b = 90$ хв⁻¹; точка контакту ОЦЕ зі стінкою свердловини – рівномірний закон, $x_i \pm l_k/2$ (x_i – координата центру ОЦЕ).

До системи $\varphi(x^v)$ віднесено умову стабілізації напряму свердловини, тобто обмеження на відхиляючу силу на долоті $[F_d] = 1,4$ кН. Передбачено умову динамічної стійкості низу бурильної колони – забезпечення затухання кривої розподілу амплітуд поперечних коливань $a_{\text{ОБТ}}(x)/a_d \leq 1$, причому $a_{\text{ОБТ}}(x)/a_d = 1$, тільки на долоті ($a_{\text{ОБТ}}(x)$ – розподіл амплітуд у нижній частині КНБК). В іншому разі КНБК відноситься до динамічно нестійкої. Оскільки під час буріння свердловини можливе використання трьохшарошкових доліт і доліт РДС із різними частотами збурювальних сил, то КНБК мають відповідати умовам динамічної стійкості для цих доліт. Для моделювання впливу локальних каверн стовбура на ефективність КНБК у задачі (4) система обмежень додатково включає умови забезпечення стабілізації напряму і динамічної стійкості низу при відсутності контакту одного (причому довільного) ОЦЕ зі стінкою свердловини.

Із використанням запропонованого алгоритму підібрано КНБК, що включає п'ять ОЦЕ з такими координатами розташування їх центрів: $x_1 = 1,3$ м; $x_2 = 2,8$ м;

$x_3 = 5,5$ м; $x_4 = 11,0$ м; $x_5 = 16,0$ м. Статичні характеристики КНБК: $F_D = -0,01$ кН, $R_1 = 2,09$ кН, $R_2 = -2,06$ кН, $R_3 = 6,49$ кН, $R_4 = -8,47$ кН, $R_5 = 17,90$ кН, $L = 30,50$ м. Результати вказують на динамічну стійкість КНБК для трьохшарошкового долота і долота PDC.

Оцінки ризиків КНБК побудовано методом статистичного моделювання неточної інформації. Кількість статистичних експериментів 100.

На рис. 1 показано точкову діаграму динамічної стійкості КНБК у координатах частота обертання долота – зенітний кут свердловини, а на рис. 2 – діаграму умов стабілізації в координатах навантаження на долото – зенітний кут свердловини.

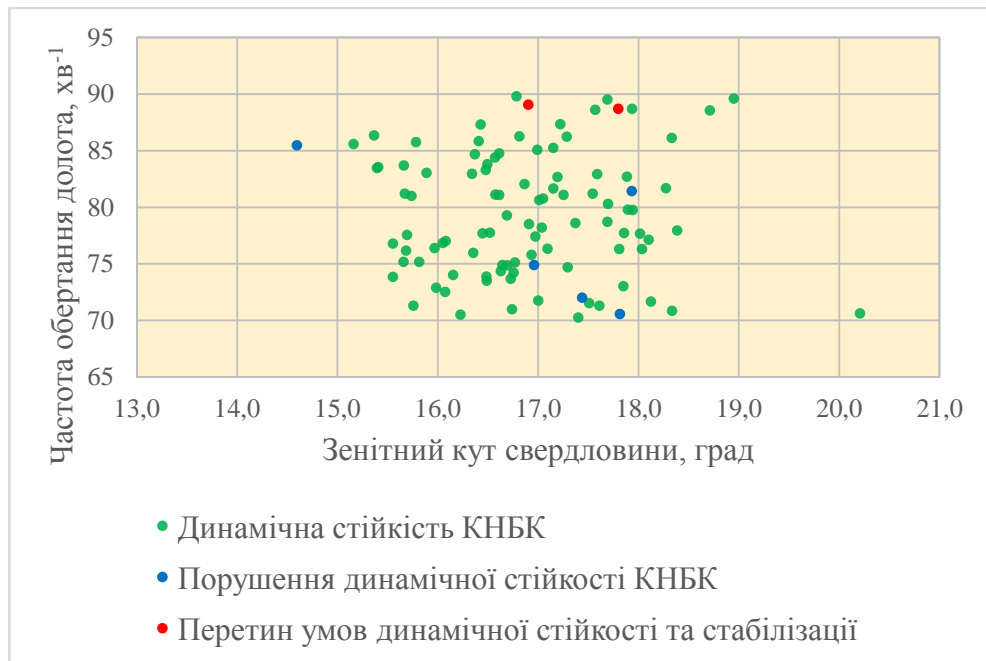


Рисунок 1 – Діаграма динамічної стійкості КНБК

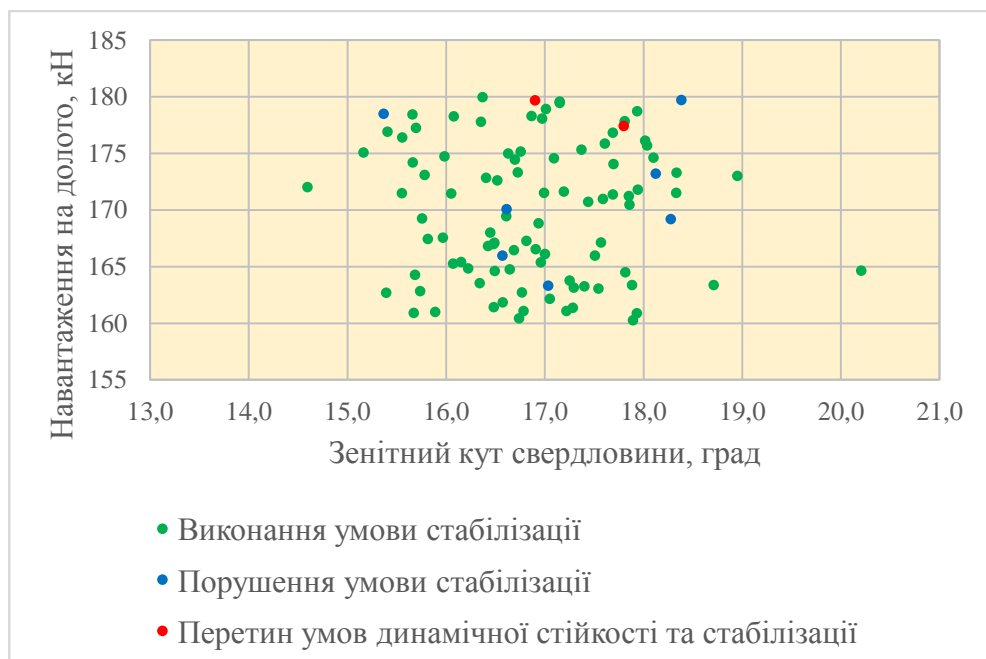


Рисунок 2 – Діаграма умов стабілізації зенітного кута свердловини

Аналіз результатів статистичного моделювання характеристик запропонованої КНБК в умовах інформаційної невизначеності вказує на те, що загальні ризики під час буріння трьохшарошковими долотами становлять 0,14, в т.ч. ризики умови стабілізації напрямку стовбура – 0,09 і динамічної стійкості – 0,07. Під час буріння з долотами PDC загальні ризики КНБК становлять 0,09 (умови стабілізації напрямку стовбура 0,09 і динамічної стійкості 0).

У **третьому розділі** досліджено вплив параметрів ОЦЕ на статичні та динамічні характеристики КНБК в умовах інформаційної невизначеності.

Із використанням методу статистичного моделювання оцінено вплив невизначеності координат точок контакту ОЦЕ зі стінкою свердловини на характеристики КНБК, які застосовувались при бурінні вертикальної та похилої ділянок св. 172 Мелехівська.

В табл. 1 наведено результати розрахунків статичних (відхиляюча сила на долоті F_D , реакції на ОЦЕ R_i , координата L точки дотику низу бурильної колони до стінки свердловини) і динамічних ($a_{\text{обт}}/a_D$) характеристик КНБК для координат дотику в центрі ОЦЕ (дослід 0), а також деяких змодельованих координат ОЦЕ для рівномірних законів їх розподілів (досліди 1 – 50). Моделювання виконано для зенітних кутів викривлення стовбура свердловини 1° (вертикальна ділянка) і 16° (похила ділянка).

Залежно від умов буріння (зенітний кут викривлення свердловини, кількість та розміщення ОЦЕ, їх конструктивні особливості, параметри режиму буріння) відзначено вагомий вплив координат точок контакту ОЦЕ зі стінками свердловини на деякі статичні та, в окремих випадках, динамічні характеристики КНБК.

Вивчено вплив інформаційної невизначеності про зенітний кут викривлення свердловини, навантаження на долото, частоти обертання долота, точок контакту ОЦЕ зі стінкою свердловини та наявності локальних каверн на характеристики КНБК, яка використовувалась при бурінні вертикальної ділянки св. 73 Семиренківська. Встановлено, що інформаційна невизначеність про умови буріння значною мірою впливає на статичні та динамічні характеристики КНБК.

Із використанням методів планування числових експериментів досліджено вплив зносу ОЦЕ на характеристики підібраних за допомогою моделі (4) багатоопорних КНБК для буріння умовно вертикальної та похилої ділянок свердловини. Наведено приклад дослідження КНБК для буріння умовно вертикальної ділянки, що включає 393,7-мм долото, ОБТ-203 з внутрішнім діаметром 80 мм і довжиною 150 м та чотири ОЦЕ з координатами їх центрів розташування $x_1 = 3$ м, $x_2 = 6,5$ м, $x_3 = 11,0$ м, $x_4 = 16,0$ м. Для забезпечення якісного формування стовбура свердловини прийнято перший від долота ОЦЕ повнорозмірним, а інші – неповнорозмірними. Використовували латинський план числового експерименту для трьох змінних факторів на п'яти рівнях: $\delta_2 = (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0)$ мм, $\delta_3 = (0; 0,75; 1,50; 2,25; 3,00)$ мм, $\delta_4 = (0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0)$ мм. Для обробки отриманих результатів досліджень використано регресійні моделі $F_D(\delta_2, \delta_3, \delta_4)$ у вигляді поліномів другого порядку.

Таблиця 1 – Фрагменти результатів статистичного моделювання характеристик КНБК

Дослід	Координати ОЦЕ, м			Характеристики КНБК					
	x_1 , м	x_2 , м	x_3 , м	F_D , кН	R_1 , кН	R_2 , кН	R_3 , кН	L , м	a_{OBT}/a_D
КНБК для вертикальної ділянки									
0	2,25	12,75	23,25	-0,80	1,55	-1,84	2,86	58,0	1,7
1	2,16	12,58	23,55	-0,85	1,61	-1,77	2,79	58,2	2,2
...
33	1,90	12,62	23,06	-0,99	1,73	-1,84	2,87	57,8	2,1
...
41	1,99	12,78	23,41	-0,94	1,67	-1,79	2,84	58,1	2,4
42	2,57	12,44	22,92	-0,67	1,45	-1,90	2,88	57,6	1,3
43	1,92	12,77	23,35	-0,98	1,72	-1,79	2,84	58,1	2,4
...
50	2,05	12,68	23,05	-0,90	1,64	-1,85	2,88	57,8	1,8
КНБК для похилої ділянки									
0	3,91	22,45	–	-0,95	0,46	6,72	–	33,8	1,0
1	3,86	22,46	–	-1,00	4,61	6,73	–	33,8	1,0
...
7	3,72	22,50	–	-1,15	4,76	6,73	–	33,9	1,0
...
18	3,98	22,32	–	-0,85	4,45	6,69	–	33,6	1,0
19	3,86	22,36	–	-0,97	4,56	6,71	–	33,7	1,0
...
50	4,07	22,29	–	-0,77	4,37	6,66	–	33,6	1,0

Побудовано залежності, які дають можливість оцінити допустимі зноси ОЦЕ для забезпечення умови стабілізації стовбура свердловини. Так, на рис. 3 показано вплив зносу другого та третього ОЦЕ на показники відхиляючої сили на долоті при різних значеннях діаметра четвертого ОЦЕ.

Результати досліджень вказують, що знос ОЦЕ призводить до зміни показника відхиляючої сили на долоті та майже не впливає на показник динамічної стійкості КНБК. Під час додаткових досліджень виявлено, що у більшості випадків знос спричиняє відсутності контакту одного (другого або третього) ОЦЕ зі стінкою свердловини.

Вивчено вплив довжини калібрувальної поверхні ОЦЕ на показники ризику багатоопорної КНБК, підібраної за допомогою моделі (4) для буріння похилої ділянки свердловини. Для досліджень скористались планом повного факторного експерименту на двох рівнях зміни довжини калібрувальної поверхні ОЦЕ для чотирьох факторів: $l_{\kappa 1} = (0,24; 0,59)$ м, $l_{\kappa 2} = (0,24; 0,59)$ м, $l_{\kappa 3} = (0,24; 0,59)$ м, $l_{\kappa 4} = (0,24; 0,59)$ м. Для кожного дослідження проводилась оцінка ризиків, що враховувала неточну інформацію про зенітний кут свердловини, навантаження на

долото, частоту обертання долота і точку контакту ОЦЕ зі стінкою свердловини. Кількість статистичних експериментів в одному дослідженні 50. Для обробки результатів досліджень використано регресійні моделі $R(l_1, l_2, l_3, l_4)$ у вигляді поліномів першого порядку.

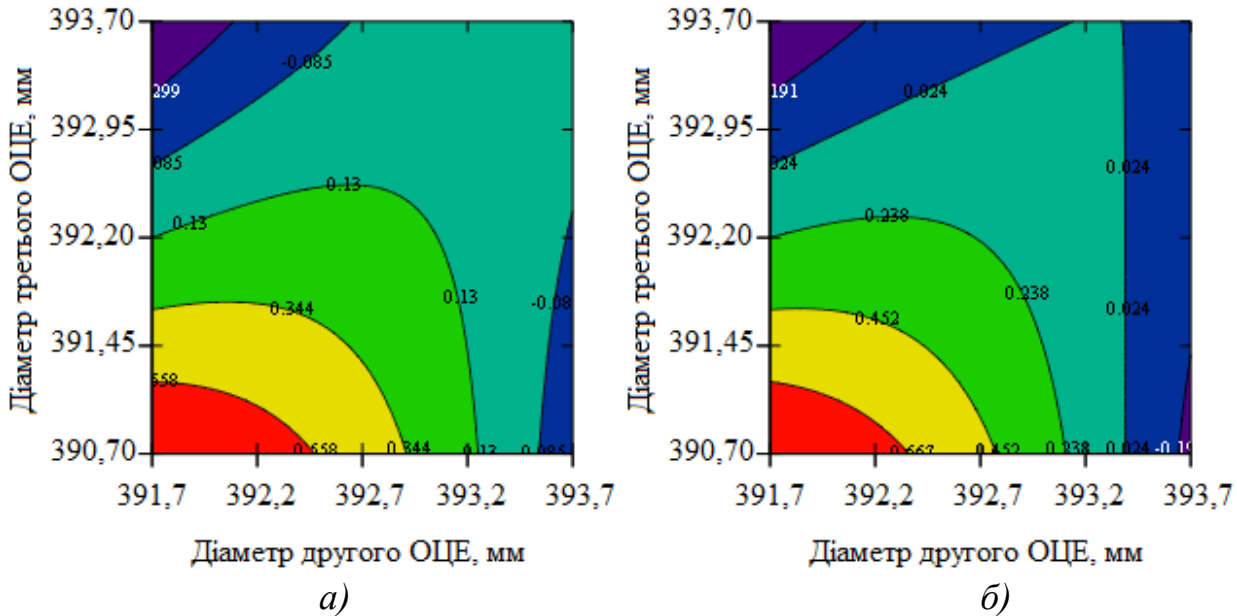


Рисунок 3 – Вплив зносу другого та третього ОЦЕ на відхиляючу силу на долоті для фіксованого діаметра четвертого ОЦЕ (а – 393,7 мм; б – 392,7 мм)

Встановлено, що збільшення довжини калібрувальної поверхні першого від долота ОЦЕ підвищує показник ризику внаслідок порушення умови стабілізації, а зміна довжини калібрувальної поверхні інших ОЦЕ майже не впливає на показники ризику.

Досліджено статичні і динамічні характеристики КНБК зі здвоєними повнорозмірними ОЦЕ. Вивчали відхиляючу силу на долоті та криву розподілу амплітуд поперечних коливань (трьохшарошкове долото та долото PDC) для трьох розмірів доліт (295,3; 215,9; 165,1 мм). Дослідження проводили для трьох конфігурацій КНБК, до складу яких входили:

A – долото, ОБТ, здвоєний ОЦЕ, ОБТ, ОЦЕ, ОБТ, ОЦЕ, ОБТ;

B – долото, ОБТ, ОЦЕ, ОБТ, ОЦЕ, ОБТ, здвоєний ОЦЕ, ОБТ;

B – долото, ОБТ, здвоєний ОЦЕ, ОБТ, здвоєний ОЦЕ, ОБТ.

Дослідження характеристик КНБК виконано за допомогою латинського плану числового експерименту для п'ятих змінних факторів на п'яти рівнях: α – zenітний кут свердловини; x_1 – відстань від долота до першого ОЦЕ; x_2 – відстань від першого до другого ОЦЕ; x_3 – відстань від другого до третього ОЦЕ; x_4 – відстань від третього до четвертого ОЦЕ. Для обробки отриманих результатів досліджень використано регресійні моделі $F_d(\alpha, x_1, x_2, x_3, x_4)$ у вигляді поліномів другого порядку.

Із умови мінімуму відхиляючої сили на долоті отримано оптимальні довжини здвоєних ОЦЕ, які для умов досліджень становлять 0,5 м, причому в усіх випадках динамічні характеристики КНБК відносяться до стійких.

Четвертий розділ присвячено аналізу ефективності застосування неорієнтованих КНБК при бурінні свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини. Це дає змогу обґрунтувати систему обмежень $\varphi(p^v)$ на відповідні параметри КНБК в моделі (4) та її реалізувати у подібних геолого-технічних умовах буріння.

На основі промислової інформації про буріння деяких свердловин на Мелехівському, Хрестищенському, Семиренківському та Опішнянському родовищах методами кореляційного аналізу оцінено вплив відхиляючої сили на долоті на показники їх роботи (проходка на долото, час механічного буріння, механічна швидкість буріння). Аналізу підлягали КНБК із використанням трьохшарошкових доліт та доліт РДС діаметрами: 444,5; 393,7; 295,3; 215,9; 165,1; 139,7 мм. Встановлено, що при бурінні вертикальних ділянок 444,3- і 393,7-мм долотами існує значущий кореляційний зв'язок між проходкою на долото і механічною швидкістю буріння та відхиляючою силою на долоті (зі збільшенням відхиляючої сили на долоті показники роботи доліт погіршуються).

За даними буріння похилих та вертикальних ділянок деяких свердловин на Яблунівському, Мелехівському та Семиренківському родовищах проаналізовано статичні (відхиляюча сила на долоті, реакції на ОЦЕ, точка дотику ОБТ зі стінкою свердловини) і динамічні (відношення амплітуд поперечних коливань низу бурильної колони до долота) характеристики КНБК. Встановлено, що у більшості випадках КНБК мають задовільні статичні характеристики та відносяться до динамічно нестійких із високими значеннями відношень амплітуд a_{OBT}/a_D .

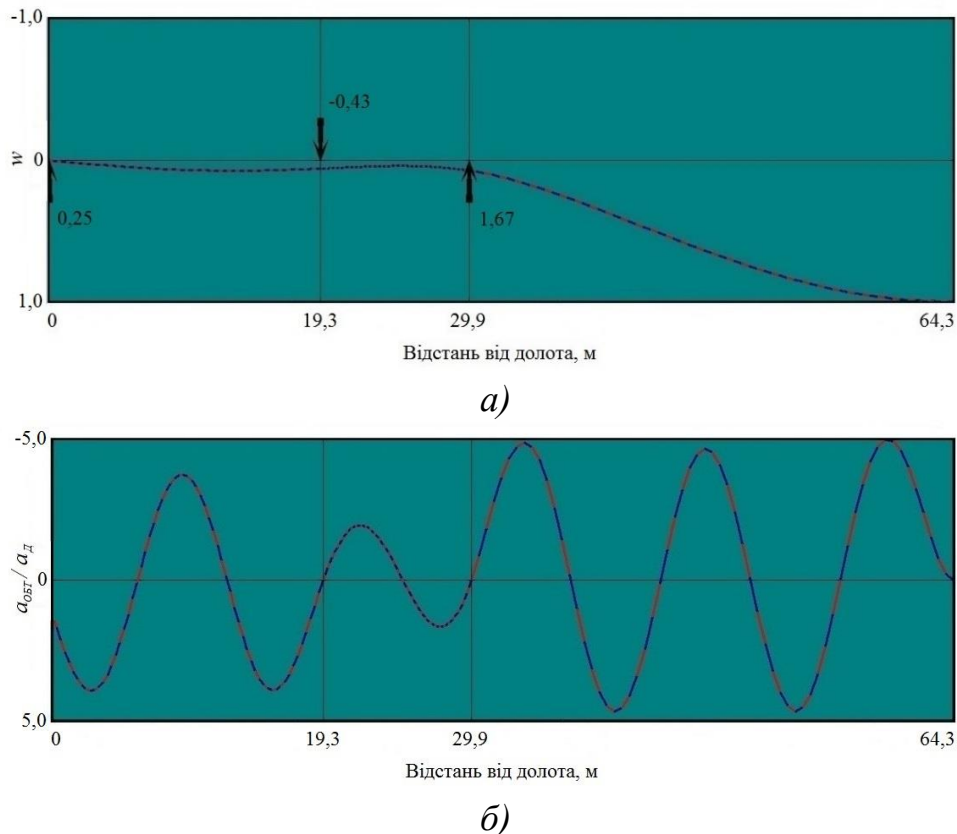


Рисунок 4 – Статичні (а) і динамічні (б) характеристики КНБК (св. 71 Семиренківська, глибина 1925 м)

Для прикладу на рис. 4 показано статичні (а) та динамічні (б) характеристики КНБК: форма пружної лінії w (поперечні зміщення, віднесені до радіального зазору між ОБТ та стінкою свердловини) деформованої осі КНБК, відхиляюча сила на долоті і реакції на ОЦЕ (кН), а також розподіл амплітуд $a_{обт} / a_d$ для динамічно нестійкої КНБК.

Для вертикальних ділянок свердловин Яблунівського родовища побудовано статистичні оцінки відхиляючої сили і зенітного кута, а для похилих ділянок – регресійні моделі інтенсивності викривлення від відхиляючої сили на долоті та реакцій на ОЦЕ.

За даними буріння деяких свердловин Мелехівського та Семиренківського родовищ побудовано статистичні оцінки відхиляючої сили на долоті, показників якості стовбура свердловини та встановлено між ними значущий кореляційний зв'язок. Для свердловин Семиренківського родовища на основі аналізу даних виявлено статистичний зв'язок між показниками якості стовбура свердловини і цементування обсадних колон із відхиляючою силою на долоті.

У п'ятому розділі за результатами аналізу промислових даних наведено рекомендації з вибору технологічних рішень для буріння вертикальних і похилих ділянок свердловин на Яблунівському, Мелехівському та Семиренківському родовищах.

Описано методику вибору неорієнтованих КНБК, яка ґрунтується на результатах аналізу статичних і динамічних характеристик КНБК для заданих умов буріння. Кількість ОЦЕ та координати місць їх розташування вибирають з урахуванням інформаційної невизначеності про параметри свердловини (зенітний кут, наявність локальних каверн), параметри режиму буріння (осьове навантаження, частота обертання) і координати точок дотику ОЦЕ до стінки свердловини для забезпечення ефективності буріння і якості стовбура свердловини з використанням моделі (4).

Для КНБК із неповнорозмірними ОЦЕ важливою вимогою є забезпечення їх контакту зі стінками свердловини та включення у склад першого (від долота) повнорозмірного ОЦЕ. Для затухання кривої розподілу амплітуд поперечних коливань рекомендується встановлювати здвоєний ОЦЕ над долотом.

Дослідження свідчать, що надмірний знос ОЦЕ погіршує статичні характеристики підібраних за (4) КНБК. Тому після кожного довбання необхідно контролювати діаметри ОЦЕ та оцінювати ефективність КНБК відповідно до моделі (4). У випадку високих значень показників ризику слід підібрати нову конфігурацію КНБК із існуючими ОЦЕ або замінити їх на повнорозмірні без повторного підбору. Важливою умовою є контакт неповнорозмірних ОЦЕ зі стінкою свердловини, в іншому випадку ОЦЕ не виконують своїх функціональних можливостей.

Для мінімізації показника ризику КНБК довжину калібрувальної поверхні першого (від долота) ОЦЕ слід приймати мінімально допустимою, для інших ОЦЕ довжина калібрувальних поверхонь може прийматись довільною, оскільки суттєво не впливає на показники ризику.

Обґрунтовано вибір КНБК для буріння вертикальних (діаметри доліт 444,5; 393,7; 311,1; 295,3; 215,9; 165,1 мм) та похилих ділянок (діаметри доліт 295,3; 215,9;

139,7 мм) свердловин згідно статистичної моделі (4) для критерію мінімуму функції ризику. Запропоновано варіанти багатоопорних КНБК для забезпечення якості стовбурів свердловин, які містять від двох до семи повнорозмірних ОЦЕ.

У табл. 2 наведено статичні та динамічні характеристики рекомендованих КНБК, а в табл. 3 – показники їх ризиків для моделі (4).

Таблиця 2 – Статичні та динамічні характеристики рекомендованих КНБК

Діаметр долота, мм	F_D , кН	Реакції на відповідних ОЦЕ							L, м	$\frac{a_{OBT}}{a_D}$
		R_1 , кН	R_2 , кН	R_3 , кН	R_4 , кН	R_5 , кН	R_6 , кН	R_7 , кН		
Яблунівське ГКР										
393,7	0,19	1,21	2,77	7,84	8,23	–	–	–	51,0	≤ 1
295,3	0,21	0,43	1,57	8,10	9,05	–	–	–	36,7	≤ 1
	0,61	0,40	4,95	11,02	15,45	–	–	–	30,6	≤ 1
	0,24	0,46	1,50	0,56	6,02	12,61	19,33	–	31,1	≤ 1
	0,41	0,12	2,15	0,26	9,06	22,85	28,12	–	28,3	≤ 1
215,9	0,09	0,26	0,97	3,41	3,54	–	–	–	28,7	≤ 1
	0,18	0,14	0,96	0,01	2,68	5,96	9,74	–	27,4	≤ 1
165,1	0,06	0,11	0,79	1,38	1,38	–	–	–	22,8	≤ 1
Мелехівське ГКР										
215,9	0,29	0,18	0,98	1,61	1,90	2,20	12,09	16,13	50,1	≤ 1
139,7	0,08	0,28	0,44	0,42	0,50	0,73	2,76	4,10	36,5	≤ 1
215,9	0,15	0,45	0,01	0,88	1,01	1,11	8,96	11,29	53,1	≤ 1
139,7	0,03	0,22	0,51	0,48	1,26	–	–	–	25,1	≤ 1
215,9	0,39	0,64	0,74	1,64	2,47	13,82	18,62	–	37,3	≤ 1
139,7	0,08	0,26	0,40	0,38	0,46	0,67	-2,68	3,92	36,7	≤ 1
295,3	0,32	1,07	0,42	1,74	2,48	4,66	23,08	30,55	41,4	≤ 1
295,3	0,34	1,14	0,45	1,85	2,66	4,92	23,79	31,71	41,1	≤ 1
295,3	0,25	0,80	1,01	1,77	2,05	4,75	22,83	31,87	39,9	≤ 1
215,9	0,23	0,50	0,70	0,75	2,26	2,51	6,87	–	36,3	≤ 1
Семиренківське ГКР										
444,5	0,64	0,44	4,66	–	–	–	–	–	66,7	≤ 1
	0,06	13,64	16,76	7,91	–	–	–	–	52,3	≤ 1
	0,55	3,96	6,39	7,90	–	–	–	–	54,6	≤ 1
	0,23	1,53	2,75	32,95	36,40	–	–	–	54,2	≤ 1
311,1	0,33	1,87	3,38	3,86	–	–	–	–	43,1	≤ 1
	0,14	0,57	1,73	4,85	5,62	–	–	–	44,0	≤ 1

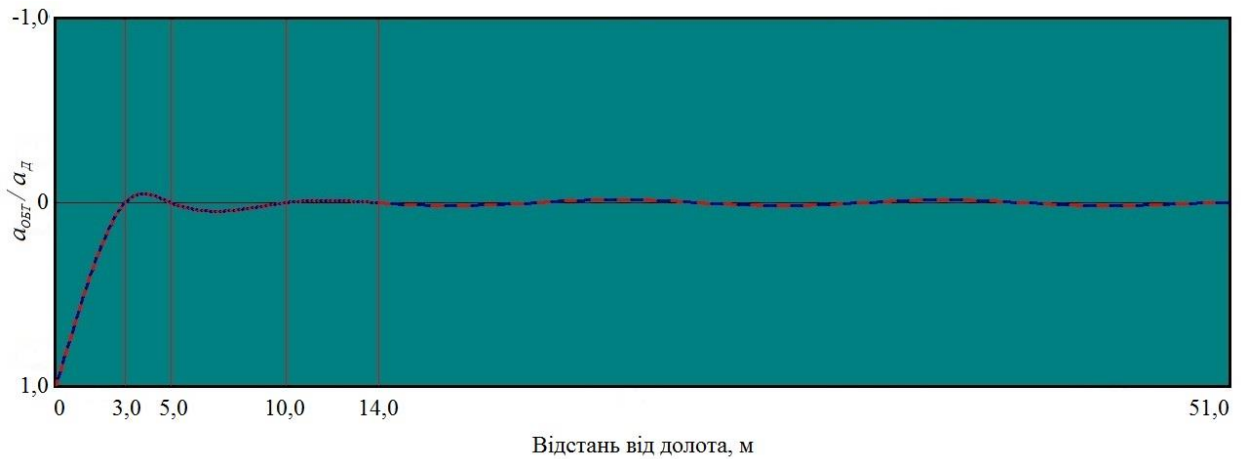
Таблиця 3 – Показники ризиків рекомендованих КНБК

Діаметр долота, мм	r_d	r_s	$r_d \wedge r_s$	$r_d \vee r_s$
Яблунівське ГКР				
393,7	0,03 / 0,02	0,07	0 / 0,01	0,10 / 0,09
295,3	0,00 / 0,05	0	0 / 0	0 / 0,05
	0,01 / 0,00	0	0 / 0	0,01 / 0
	0,01 / 0,00	0	0 / 0	0,01 / 0
	0,00 / 0,00	0	0 / 0	0 / 0
215,9	0,01 / 0,01	0	0 / 0	0,01 / 0,01
	0,00 / 0,00	0	0 / 0	0 / 0
165,1	0,00 / 0,07	0	0 / 0	0 / 0,07
Мелехівське ГКР				
215,9	0,07 / 0,00	0	0 / 0	0,07 / 0,00
139,7	0,07 / 0,02	0	0 / 0	0,07 / 0,02
215,9	0,03 / 0,04	0	0 / 0	0,03 / 0,04
139,7	0,08 / 0,03	0	0 / 0	0,08 / 0,03
215,9	0,02 / 0,01	0	0 / 0	0,02 / 0,01
139,7	0,08 / 0,02	0	0 / 0	0,08 / 0,02
295,3	0,02 / 0,00	0	0 / 0	0,02 / 0,00
295,3	0,00 / 0,00	0	0 / 0	0,00 / 0,00
295,3	0,01 / 0,01	0	0 / 0	0,01 / 0,01
215,9	0,07 / 0,01	0	0 / 0	0,07 / 0,01
Семиренківське ГКР				
444,5	0,12	0	0	0,12
	0	0	0	0
	0,08	0	0	0,08
	0,02	0	0	0,02
311,1	0,06 / 0,04	0	0 / 0	0,06 / 0,04
	0 / 0,02	0	0 / 0	0 / 0,02

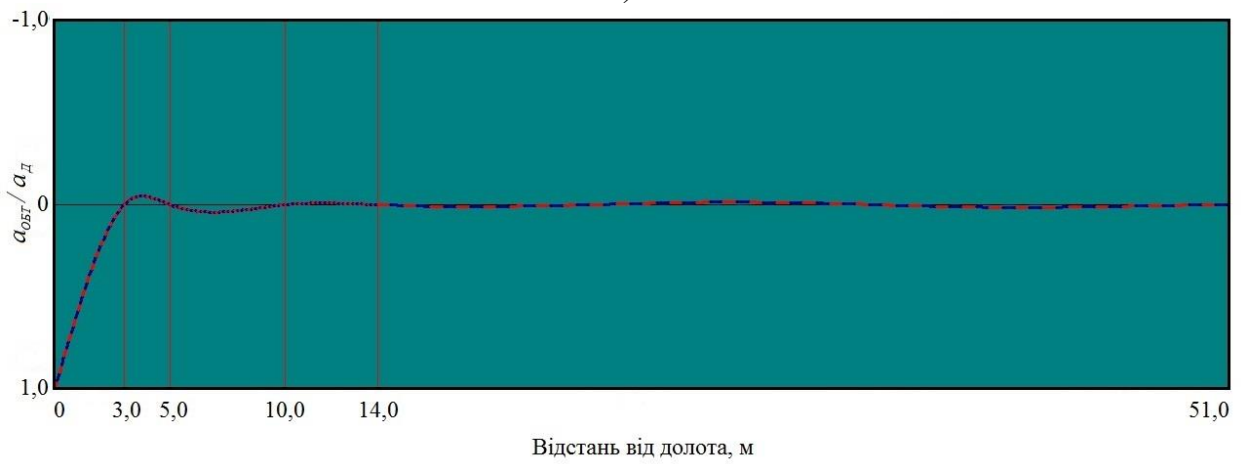
Примітки: 1. r_d , r_s – показники ризиків відповідно за динамічними та статичними характеристиками КНБК. $r_d \wedge r_s$, $r_d \vee r_s$ – перетин та об'єднання показників ризиків.

2. В чисельнику наведено значення показників ризиків для трьохшаршкових доліт, а в знаменнику – для доліт PDC.

На рис. 5 показано характер розподілу амплітуд $a_{\text{обт}} / a_{\text{д}}$ динамічно стійкої КНБК для буріння вертикальних ділянок свердловин 393,7-мм трьохшаршковим долотом (а) та долотом PDC (б) на Яблунівському ГКР.



а)



б)

Рисунок 5 – Динамічні характеристики КНБК для буріння вертикальних ділянок свердловин 393,7-мм долотом ($\alpha=1,00^\circ$, $G=210$ кН, $\omega=90$ хв $^{-1}$, $\rho=1140$ кг/м 3)

Запропоновані КНБК мають покращені статичні і динамічні характеристики для трьохшарошкових доліт і доліт PDC, а в умовах інформаційної невизначеності – низькі показники ризиків. Їх використання забезпечить підвищення техніко-економічних показників буріння та якості стовбура свердловин.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі аналізу промислових даних розроблено модель вибору неорієнтованих КНБК з урахуванням інформаційної невизначеності під час буріння свердловин роторним способом. Одержано такі основні висновки.

1. Сформульовано загальну задачу вибору технологічних рішень для буріння вертикальних та похилих ділянок свердловин із умови оптимальності критеріїв вартості або часу їх буріння. Для вибору оптимальних параметрів технології буріння запропоновано декомпозицію загальної задачі у вигляді строгої послідовності окремих задач із використанням відповідних класів локальних критеріїв оптимальності та систем обмежень.

2. Науково обґрунтовано статистичну модель вибору неорієнтованих КНБК для буріння свердловин роторним способом в умовах інформаційної невизначеності (зенітний кут свердловини, параметри режиму буріння, координати точок контакту ОЦЕ зі стінкою свердловини, наявність локальних каверн). Модель забезпечує реалізацію ефективних технологій буріння та якість стовбура свердловини.

Уточнено та реалізовано у програмному середовищі «ANSYS» алгоритм розрахунку статичних і динамічних характеристик неорієнтованих КНБК з неповнорозмірними ОЦЕ, особливість якого полягає у виборі геометричної моделі в класі можливих варіантів контактів неповнорозмірних ОЦЕ зі стінкою свердловини з умови мінімальної питомої енергії деформації низу бурильної колони. Із використанням евристичних ідей та методів планування числових експериментів побудовано алгоритм проектування КНБК для заданих умов буріння. Пошук оптимального варіанту здійснюється з допомогою методу статистичного моделювання у деякому класі багатоопорних КНБК із умови мінімізації ризику порушення статичних і динамічних характеристик.

3. За результатами статистичного моделювання оцінено вплив інформаційної невизначеності про зенітний кут свердловини, навантаження на долото, координати точок дотику ОЦЕ зі стінкою свердловини та наявності локальних каверн на статичні і динамічні характеристики КНБК.

На основі методів планування числових експериментів досліджено вплив зносу ОЦЕ та довжини їх калібрувальної поверхні на показники ризиків КНБК. Встановлено, що знос ОЦЕ оказує значущий вплив на статичні характеристики, а збільшення довжини калібрувальної поверхні першого від долота ОЦЕ призводить до підвищення показників ризиків КНБК.

Вивчено характеристики КНБК для трьох різних конфігурацій розташування здвоєних ОЦЕ та отримано їх оптимальні довжини з умови $\min(F_D^2)$, які дорівнюють 0,5 м для доліт діаметрами 295,3, 215,9 і 165,1 мм та відповідних умов буріння.

4. На основі промислових даних буріння стабілізованих ділянок свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини побудовано статистичні оцінки впливу відхиляючої сили на долоті на показники їх відробки. Встановлено, що для доліт діаметрами 444,3 та 393,7 мм зі збільшенням відхиляючої сили на долоті зменшуються проходка на долото і механічна швидкість буріння.

Вивчено статичні та динамічні характеристики КНБК, побудовано статистичні оцінки відхиляючої сили на долоті та показників якості стовбура свердловини. Показано, що у більшості випадках КНБК відносяться до динамічно нестійких. Встановлено статистичний зв'язок між статичними характеристиками КНБК та показниками якості стовбура свердловини і цементування обсадних колон.

Розроблено рекомендації щодо вибору неорієнтованих КНБК для буріння стабілізованих ділянок свердловин роторним способом на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини. На основі аналізу промислових даних запропоновано варіанти багатоопорних КНБК із низькими показниками ризику. Наведено фрагменти вибору технологічних рішень для буріння похило-скерованих ділянок свердловин.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- 1 Мыслюк М. А., Дольк Р. Н. Анализ неориентированных компоновок низа бурильной колонны при бурении скважин на Яблунковском газоконденсатном месторождении. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2014. №4. С. 26–33.
- 2 Мыслюк М. А., Дольк Р. Н. Выбор компоновок низа бурильной колонны для бурения скважин на Яблунковском газоконденсатном месторождении. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2014. №8. С. 8–14.
- 3 Мыслюк М. А., Дольк Р. Н. О выборе технологических решений для бурения наклонных участков скважин. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2016. №4. С. 4–13.
- 4 Оценка эффективности компоновок низа бурильной колонны при бурении глубоких скважин на Семиренковском газоконденсатном месторождении / М. А. Мыслюк и др. Бурение и нефть. 2016. №12. С. 22–27.
- 5 Мыслюк М. А., Долик Р. М. Принципи вибору компоновок низу бурильної колони для буріння похилих ділянок. Нафтогазова галузь України. 2014. №5. С. 7–15.
- 6 Мыслюк М. А., Долик Р. М. Вибір стабілізованих компоновок низу бурильної колони для буріння свердловин. Нафтогазова галузь України. 2016. №1. С. 26–34.
- 7 Мыслюк М. А., Долик Р. М. Вибір технологічних рішень для буріння стабілізованих ділянок свердловин. Міжнародна конференція GeoDrilling II «Буріння і розкриття пластів – 2017» : матеріали конференції. Полтава, 2017. С. 43–47.
- 8 Мыслюк М. А., Дольк Р. Н. О повышении эффективности бурения стабилизированных стволов скважин. Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.) : в 5 т. : сборник статей. Т.3. Краснодар. 2017. С. 187–194.
- 9 Dolyk R. Selection of non-steerable bottom hole assemblies for rotary well drilling. International Fuel Congress: Congress book, Ivano-Frankivsk, 10–12 December 2015. Ivano-Frankivsk, 2015. P. 26.
- 10 Dolyk R. Principles of making technological decisions for drilling inclined well sections. East meets West : 7th edition of International Student Petroleum Congress & Career Expo, Krakow, 20–22 April 2016. Krakow, 2016. P. 55.
- 11 Компоновка низу бурильної колони: пат. 113814 Україна. №: u201609468 ; заявл. 12.09.16 ; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3.
- 12 Компоновка низу бурильної колони: пат. 123595 Україна. № u201711214 ; заявл. 16.11.17 ; опубл. 26.02.2018, Бюл. №4.

АНОТАЦІЯ

Долик Р.М. Вибір неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для буріння свердловин роторним 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, 2018.

Дисертація присвячена вибору неорієнтованих компоновок низу бурильної колони в умовах інформаційної невизначеності для буріння свердловин роторним способом.

Сформульовано загальну задачу вибору технологічних рішень для буріння стабілізованих ділянок свердловини і запропоновано її декомпозицію у вигляді строгої послідовності задач вибору бурового розчину, типу долота і режиму буріння, КНБК. Для вибору КНБК запропоновано статистичну модель, яка ґрунтується на використанні промислової інформації, враховує поліфункціональні вимоги та інформаційну невизначеність.

Вивчено статичні та динамічні характеристики КНБК за даними буріння свердловин на деяких родовищах Дніпровсько-Донецької западини. Побудовано статистичні оцінки відхиляючої сили на долоті, показників якості стовбура свердловини та цементування обсадних колон. Обґрунтовано вибір неорієнтованих КНБК для буріння вертикальних та похилих ділянок свердловин. Запропоновано варіанти багатоопорних КНБК для забезпечення якості стовбура свердловини.

Ключові слова: динамічні характеристики, інтенсивність викривлення, інформаційна невизначеність, компоновка низу бурильної колони (КНБК), критерій вибору, опорно-центрувальні елементи (ОЦЕ), оцінка ризиків, показники відробки доліт, система обмежень, статичні характеристики, якість стовбура свердловини, якість технологічних операцій.

ABSTRACT

Dolyk R.M. Selection of non-steerable bottom hole assemblies for rotary well drilling. – Manuscripts copyright.

Dissertation for obtaining an academic degree of candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in major 05.15.10 – Well drilling. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2018.

The dissertation is devoted to the selection of non-steerable bottom hole assemblies (BHA) in conditions of information uncertainty for rotary well drilling.

General task of making technological decisions for drilling vertical and inclined well bore sections has been formulated. The decomposition of general task has been proposed in the form of task sequence of selection drilling fluid, drill bit type, drilling parameters and BHA. A statistical model that takes into account multifunctional requirements, information uncertainty and field data has been proposed for selection BHA.

BHA static and dynamic characteristics have been studied based on field data of well drilling on some fields of Dnieper-Donets Rift. The statistical estimations of the bit side force, the quality indices of the wellbore quality and the casing columns cementation

have been constructed. Selection of non-steerable BHA for drilling vertical and inclined well bore sections has been substantiated. Variants of multi-supported BHA for ensuring the well bore quality.

Keywords: dynamic characteristics, dogleg severity, information uncertainty, bottom hole assembly (BHA), selection criteria, supporting and centralizing element, risk assessment, indexes of drilling bit wear, system of constraints, static characteristics, wellbore quality, quality of technological operations.

АНОТАЦИЯ

Долык Р.Н. Выбор неориентированных компоновок низа бурильной колонны для бурения скважин роторным 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, 2018.

Диссертация посвящена выбору неориентированных компоновок низа бурильной колонны (КНБК) для бурения скважин роторным способом в условиях информационной неопределенности.

Сформулировано общую задачу принятия технологических решений для бурения стабилизированных участков скважин. С использованием соответствующих локальных критериев и систем ограничений построено декомпозицию общей задачи как строгой последовательности задач выбора состава и свойств бурового раствора, способа и режима бурения, КНБК.

Предложено статистическую модель выбора неориентированных КНБК в условиях информационной неопределенности (зенитный угол скважины, параметры режима бурения, координаты точек контакта опорно-центрирующих элементов (ОЦЭ) со стенкой скважины, наличие локальных каверн). Поиск оптимального варианта осуществляется с помощью метода статистического моделирования в некотором классе многоопорных КНБК из условия минимизации риска нарушения ограничений на статические и динамические характеристики.

В программной среде «ANSYS» изучено влияние модели и длины конечного элемента на характеристики КНБК. Уточнен алгоритм расчета статических и динамических характеристик неориентированных КНБК с неполноразмерными ОЦЭ, реализация которого сводится к задаче выбора расчетной модели в классе возможных сочетаний контактов неполноразмерных ОЦЭ со стенкой скважины.

Предложено алгоритмы выбора КНБК для заданных условий бурения. Первый подход построен на основе промысловых данных, а второй реализуется с помощью методов планирования численных экспериментов.

На примере данных бурения вертикального и наклонного участков скв. 172 Мелеховская отмечено существенное влияние координат точек контакта ОЦЭ со стенками скважины на некоторые статические и, в отдельных случаях, динамические характеристики. Изучено влияние информационной неопределенности о зенитном угле скважины, нагрузке на долото, частоты вращения долота, точек контакта ОЦЭ со стенкой скважины и наличия локальных

каверн на характеристики КНБК, применяемой при бурении скв. 73 Семиренковская. Установлено, что информационная неопределенность об условиях бурения в значительной степени влияет на статические и динамические характеристики КНБК.

С использованием методов планирования численных экспериментов исследовано влияние износа ОЦЭ на характеристики подобранных с помощью модели выбора многоопорных КНБК для бурения условно вертикального и наклонного участков скважины. Изучено влияние длины калибровочной поверхности ОЦЭ на показатели риска многоопорных КНБК.

Исследованы характеристики КНБК со сдвоенными ОЦЭ для трех размеров долот (295,3; 215,9 и 165,1 мм) и конфигураций их расположения (над долотом, в средней и верхней частях). Из условия минимума отклоняющей силы на долоте получены оптимальные длины сдвоенных ОЦЭ.

На основе анализа промысловых данных построены статистические оценки влияния отклоняющей силы на долоте на показатели их работы (проходка на долото, время механического бурения, механическая скорость бурения).

Изучены статические и динамические характеристики применяемых КНБК по данным бурения вертикальных и наклонных участков скважин на Яблунковском, Мелеховском и Семиренковском ГКМ. Для вертикальных участков построены статистические оценки отклоняющей силы и зенитного угла, а для наклонных участков – регрессионные модели интенсивности угла искривления от отклоняющей силы на долоте и реакций на ОЦЭ при бурении скважин на Яблунковском ГКМ.

По данным бурения некоторых скважин Мелеховского и Семиренковского ГКМ построены статистические оценки отклоняющей силы на долоте и показателей качества ствола скважины. Для скважин Семиренковского ГКМ установлена корреляционная связь между показателями качества ствола скважины и цементирования обсадных колонн с отклоняющей силой на долоте.

Обосновано выбор неориентированных КНБК для бурения вертикальных и наклонных участков скважин на Яблунковском, Мелеховском и Семиренковском ГКМ. Предложенные варианты КНБК содержат от двух до семи полноразмерных ОЦЭ. В условиях информационной неопределенности рекомендованные КНБК имеют улучшенные статические и динамические характеристики с низкими показателями риска.

По результатам исследований разработаны и утверждены технологические рекомендации для выбора неориентированных КНБК при бурении скважин на месторождениях ЧАО «Нефтегаздобыча» и БУ «Укрбургаз».

Ключевые слова: динамические характеристики, интенсивность искривления, информационная неопределенность, качество ствола скважины, качество технологических операций, компоновка низа бурильной колонны (КНБК), критерий выбора, опорно-центрирующие элементы (ОЦЭ), оценка рисков, показатели отработки долот, система ограничений, статические характеристики.