

622.24.053  
1073

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Юрич Андрій Романович



УДК 622.24~~X~~.053  
1073 1043

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИКОРИСТАННЯ НЕОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ  
БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

05.15.06 – розробка нафтових та газових родовищ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2011

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

**Івасів Василь Михайлович**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри нафтогазового обладнання

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

**Чернов Борис Олександрович**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри загальної та прикладної фізики

кандидат технічних наук, доцент

**Кунцяк Ярослав Васильович**

ПрАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту», генеральний директор, м. Київ

Захист відбудеться "19" жовтня о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий 15 вересня 2011 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Ковбасюк І.М.



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогодні в Україні частка власної вуглеводневої сировини від загальної потреби становить: близько 10% – для нафти та продуктів її переробки і 25% – для газу. Тому важливим соціально-економічним завданням є нарощування обсягів видобутку вуглеводневої сировини. Як свідчить світова практика, одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є спорудження похило-скерованих (ПС) і горизонтальних свердловин (ГС). Важливим завданням, яке постає в процесі їх будівництва, є дотримання параметрів проектного профілю. Тому поглиблення наукових досліджень для управління траєкторією при бурінні скерованих свердловин є актуальними. Вирішення цієї проблеми потребує проведення комплексних досліджень різних технологічних чинників, одним з яких є напружено-деформований стан (НДС) неорієнтованих компоновок низу бурильної колони (КНБК) в процесі буріння свердловини.

Дослідженням неорієнтованих КНБК займалися Аветисян Н. Г., Белорусов В. О., Васько І. А., Векерик І. А., Вудс Г., Глушич В. Г., Гулізаде М. П., Григулецький В. Г., Гречін Е. Г., Калінін А. Г., Козлов А. В., Лубінський А., Мислюк М. А., Мойсишин В. М., Новіков В. Д., Пovalіхін А. С., Оринчак М. І., Саврей С. Я., Сароян А. С., Сушон Л. Я., Серeda Н. Г., Солодкий К. М., Яремійчук Р. С., Чудик І. І., Янтурін Р. А та інші.

Аналіз опублікованих ними наукових праць показав, що не вирішеним питанням при проектуванні неорієнтованих КНБК залишається врахування особливостей конструкції компоновок та умов взаємодії опорно-центруючого елемента (ОЦЕ) зі стінками свердловини. Розроблені математичні моделі КНБК є надто спрощеними і не відображають достатньою мірою умови роботи компоновки у стовбурі свердловини, зокрема не враховують його кавернозності та наявності локальних нерівностей.

Тому вдосконалення наукових основ проектування та технології використання неорієнтованих КНБК є актуальною проблемою, яка потребує вирішення.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана у відповідності з програмами науково-дослідних робіт, проведених за договорами:

- Д-1-07-Ф “Дослідження нових енергоресурсозберігаючих, екологічно безпечних технологій видобування та транспортування вуглеводнів” (№ держ. реєстр. 0107U001558);

- НДР259/2005 “Забезпечення проектного профілю похило-скерованих свердловин в умовах жолобо- і каверноутворення” (ДАТ “Чорноморнафтогаз”). – № держ. реєстр. 0105U007557;

- Ф27/0055 “Оптимізація глибинного бурового обладнання та технології буріння скерованих свердловин для освоєння важкодоступних нафтогазових покладів шляхом оцінки енергетичних витрат” (№ держ. реєстр. РК 0110U002629).

*an 2218 - an 2219*

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні ефективності буріння свердловин шляхом удосконалення методів вибору та коригування параметрів неорієнтованих КНБК за їх НДС.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Проаналізувати існуючі методи дослідження, проектування та вибору неорієнтованих КНБК.
2. Розробити метод вибору параметрів неорієнтованих КНБК з урахуванням локальних нерівностей стінок свердловини та напружено-деформованого стану компоновки.
3. Провести аналітичні та лабораторні дослідження для встановлення адекватності запропонованої математичної моделі розрахунку КНБК.
4. Розробити конструкцію та виготовити дослідний зразок пристрою для дослідження НДС КНБК.
5. Провести апробацію отриманих наукових результатів та перевірити роботоздатність дослідно-промислового зразка пристрою у промислових умовах.

**Об'єкт дослідження:** забезпечення проектного профілю свердловин при використанні неорієнтованих КНБК.

**Предмет дослідження:** вплив чинників, які визначають напружено-деформований стан неорієнтованих компоновок низу бурильної колони на профіль свердловин.

**Методи досліджень:** комплексне застосування фізичного, математичного та комп'ютерного моделювання об'єктів дослідження для підтвердження адекватності отриманих результатів у лабораторних та промислових умовах. Основні положення дисертаційної роботи, що складають наукову новизну, сформульовані висновки та рекомендації науково обґрунтовано із залученням математичних методів теорії диференціальних рівнянь, статистичних методів обробки й аналізу результатів експериментальних досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше розроблено аналітично-експериментальний метод проектування і вибору параметрів неорієнтованих КНБК за результатами вимірювань деформації елементів компоновки у стовбурі свердловини та її врахування в математичній моделі розрахунку.
2. Удосконалено метод оцінки впливу локальних нерівностей стінок свердловини на напружено-деформований стан КНБК шляхом їх врахування на етапі проектування.
3. Вперше отримано закономірності впливу зенітного кута та осьового навантаження на величину згинального моменту по довжині безопорної КНБК за результатами лабораторних досліджень.

**Основні положення, що захищаються:**

1. Аналітично-експериментальний метод проектування і вибору параметрів неорієнтованих КНБК.

2. Результати аналітичних та експериментальних досліджень впливу дестабілюючих чинників на ефективність роботи КНБК.

**Практичне значення одержаних результатів:**

1. Розроблено конструкцію пристрою для визначення зусиль в колоні бурильних труб та проведено його дослідно-промислове випробування.

2. Розроблено методика кількісної оцінки впливу локальних нерівностей стінок свердловини на напружено-деформований стан КНБК та апробовано її на прикладі свердловини Одеська-10 ДАТ “Чорноморнафтогаз”.

3. Розроблено комп'ютерну програму та технічні рекомендації щодо проектування конструкцій КНБК з урахуванням умов їх роботи, а саме: виробок на стінках свердловини та фактичних значень згинальних моментів, що виникають в КНБК у процесі поглиблення свердловини. Технічні рекомендації та програму впроваджено в ДАТ “Чорноморнафтогаз”.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. В опублікованих у співавторстві роботах автором особисто:

- аналітично перевірено адекватність математичної моделі [3, 5] та досліджено вплив дестабілюючих чинників на ефективність роботи КНБК [1];

- розроблено метод визначення фактичних величин згинальних моментів по довжині КНБК та вибору їх параметрів і режимів експлуатації для наступного довбання за результатами вимірювань [6, 11, 13];

- запропоновано підхід до врахування локальних нерівностей стінок свердловини на етапі проектування КНБК [4];

- запропоновано нові підходи і можливості вибору конструкції КНБК та оцінки її НДС [12];

- за результатами лабораторних та аналітичних досліджень встановлено адекватність запропонованих методів вибору та коригування параметрів неорієнтованих КНБК [2, 9, 10];

- запропоновано конструкції пристроїв для дослідження НДС КНБК [7, 8].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії» (м. Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2008» (м. Одеса, 1-15 жовтня 2008 р.); «Розвиток наукових досліджень 2008» (м. Полтава, 10-12 листопада 2008 р.); XIII міжнародній конференції «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения» (м. Судак, 19-25 вересня 2010 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Підвищення ефективності буріння свердловин та інтенсифікації нафтогазовидобутку на

родовищах України» (м. Івано-Франківськ, 16-18 листопада 2010 р.); спільній геолого-технічній нараді Міністерства палива та енергетики України, Міністерства охорони навколишнього середовища України та Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» (м. Яремче, 31 листопада-03 грудня 2010 р.).

У повному об'ємі результати досліджень доповідалися на наукових семінарах кафедри буріння нафтових і газових свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені в дисертаційній роботі, опубліковано 13 наукових праць, зокрема, 6 статей у фахових виданнях, отримано два патенти України на корисну модель, 5 – у збірниках праць міжнародних та всеукраїнських конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 168 сторінок комп'ютерного набору, у тому числі 13 таблиць, 68 рисунків, та 2 додатки на 3 сторінках. Список використаних літературних джерел налічує 173 найменування.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, висвітлено мету роботи, основні задачі та методи досліджень, наукову новизну і загальну характеристику роботи.

У першому розділі проаналізовано методи досліджень та способи розрахунку параметрів КНБК, а також технічні засоби для оцінки їх НДС. Встановлено, що наявні на сьогодні аналітичні методи розрахунку неорієнтованих КНБК у стовбурі свердловини ґрунтуються на математичних моделях, що не враховують фактичний НДС КНБК, який є важливим чинником у формуванні показників її роботи. Показано, що врахування у ході проектування КНБК інформації про умови взаємодії її елементів з вибоєм та стінками свердловини, отриманої за допомогою спеціальних пристроїв безпосередньо з вибою, підвищить технологічні можливості неорієнтованих КНБК.

В другому розділі вибрано базову модель для проведення досліджень і проаналізовано основні чинники, які впливають на зміну траєкторії стовбура свердловини. За результатами аналітичних досліджень запропоновано варіанти врахування можливих змін в умовах роботи компоновки на вибої та алгоритм для реалізації методу проектування і корегування параметрів КНБК з метою забезпечення проектною траєкторії буріння. Вибрана математична модель КНБК базується на методі диференціальних рівнянь і описується диференціальним рівнянням IV порядку:

$$EI_1 \cdot \frac{d^4 y_i(x)}{dx^4} + P_i \cdot \frac{d^2 y_i(x)}{dx^2} = -q_i \cdot \sin(\alpha),$$

де  $q_i, EI_1$  – вага погонного метра та жорсткість елемента КНБК;

$P_i$  – стискаюче осьове навантаження;

$\alpha$  – зенітний кут нахилу осі свердловини;

$y_i(x)$  – функція прогинів пружної осі КНБК.

Розв'язки рівняння повинні відповідати наступним граничним умовам:

- на долоті  $y_i(0) = 0$ ;  $y_i''(0) = 0$ ;

- на переході з однієї ділянки на іншу:

$y_{i-1}(l_{i-1}) = y_i(0)$ ;  $y_{i-1}'(l_{i-1}) = y_i'(0)$ ;

$y_{i-1}''(l_{i-1}) \cdot EI_{i-1} = y_i''(0) \cdot EI_i$ ;  $y_{i-1}'''(l_{i-1}) \cdot EI_{i-1} = y_i'''(0) \cdot EI_i$ ;

- на ОЦЕ:

$y_{i-1}(l_{i-1}) = r_{ОЦЕ}$ ;  $y_i(0) = r_{ОЦЕ}$ ;  $y_{i-1}'(l_{i-1}) = y_i'(0)$ ;  $y_{i-1}''(l_{i-1}) \cdot EI_{i-1} = y_i''(0) \cdot EI_i$ ;

$y_i'''(0) \cdot EI_i + y_{i-1}'''(l_{i-1}) \cdot EI_{i-1} = R_{ОЦЕ}$ ;

- у верхній точці контакту КНБК зі стінкою свердловини:

$y_i(l_i) = r$ ;  $y_i'(l_i) = 0$ ;  $y_i''(l_i) = 0$ ;

де  $r_{ОЦЕ}$ ,  $r$  – радіальні зазори на ОЦЕ та у верхній точці контакту КНБК із стінкою свердловини відповідно;

$R_{ОЦЕ}$  – реакція на ОЦЕ.

Для кожної конкретної конструкції КНБК згідно з розрахунковими схемами (рис. 1) складається система рівнянь, у результаті розв'язку якої визначається відхиляюче зусилля на долоті ( $Q$ ), довжина останньої ділянки ( $L_n$ ) і  $R_{ОЦЕ}$ .

Проведено аналіз умов роботи компоновок на вибої свердловини. Він показав, що основними причини нестабільності КНБК на проектній траєкторії є:

- широке використання одноопорних КНБК, які є найбільш чутливими до дії дестабілізуючих чинників;
- розширення стовбура свердловини в процесі буріння на 10-25% від номінального діаметра;
- невідповідність реальних умов роботи компоновки на вибої свердловини умовам, які закладались в математичній моделі.

За результатами аналізу запропоновані такі шляхи врахування локальних нерівностей стінок свердловини при розрахунку та проектуванні компоновок:

- безпосереднє введення в граничні умови математичної моделі значення коефіцієнта кавернозності;
- зміна граничних умов за результатами обробки та апроксимації кривих профілеметрії на певному інтервалі буріння;
- безпосереднє врахування діаметра свердловини згідно з функцією апроксимації;
- оцінка впливу дестабілізуючих чинників на ефективність конструкцій КНБК та вибір оптимальної.

Запропоновано методика, яка передбачає проектування та вибір оптимальних параметрів компоновки і їх коригування в процесі буріння.

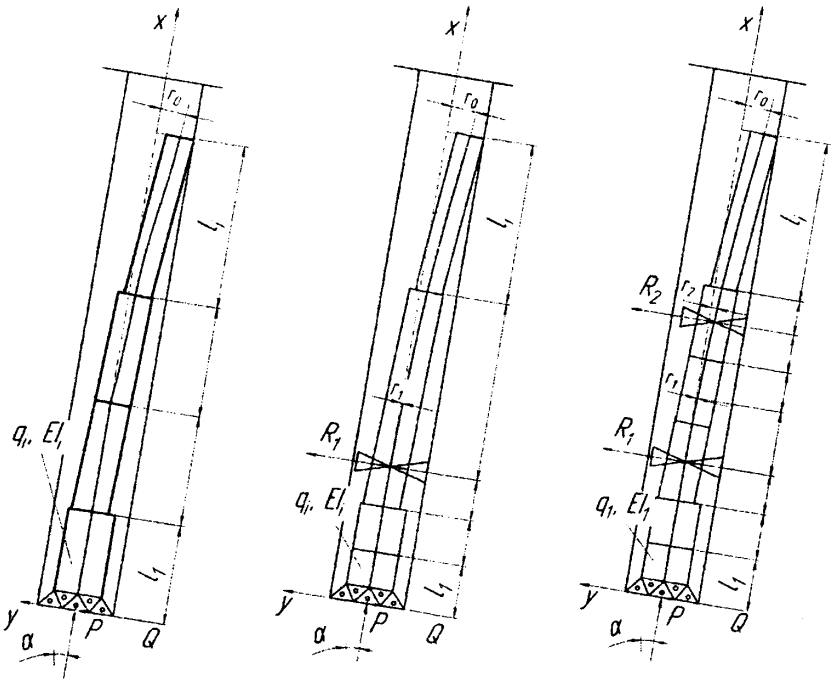


Рис. 1. Розрахункові схеми неорієнтованих КНБК

Реалізація вказаної методики здійснюється в такій послідовності:

- 1) вибирається технологія та технічні засоби для реалізації траєкторії на інтервалі;
- 2) проводиться аналіз дестабілізуючих чинників і встановлюється їх пріоритетність;
- 3) формується вибірка конструкцій КНБК;
- 4) проводиться розрахунок обраних конструкцій КНБК та вибирається найоптимальніша;
- 5) визначаються оптимальні розміри ОЦЕ для зменшення передумов фрезування стінок свердловини їх робочими елементами.

Оскільки умови роботи компоновки в процесі буріння відрізняються від закладених в математичній моделі, то на другому етапі (безпосередньо в процесі буріння) необхідно проводити періодичну оцінку НДС КНБК за допомогою відповідних техніко-технологічних засобів. За результатами проведеної оцінки здійснюється перерахунок вибраної КНБК та оцінка її фактичних розрахункових характеристик в умовах свердловини. У випадку їх невідповідності поставленим завданням, встановлюються причини відхилення та вносяться корективи у конструкцію компоновки або режимні параметри її використання.



Проведено низку аналітичних досліджень впливу локальних нерівностей стінок свердловини на  $Q$ ,  $R_{ОЦЕ}$  та згинальний момент ( $M_{зг}$ ) для різних конструкцій КНБК. Розглянуті безопорна та одноопорні КНБК, в яких ОЦЕ 190,0 мм встановлені на відстані 3 м (№1) та 4 м (№2) від долота. Компонувки містять долото діаметром 190,5 мм, вибійний двигун ДГ-155, обважнені бурильні труби ОБТЗ-146. Дослідження проводилось за таких параметрів: осьове навантаження долото ( $P$ ) – 100 та 140 кН, та zenітний кут ( $\alpha$ )  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  та  $60^\circ$ .

В результаті дослідження безопорної КНБК встановлено, що радіальний зазор має суттєвий вплив на  $Q$ ,  $M_{зг}$ . В числових значеннях для  $Q$  зміна становить від 6 – 12 Н/мм ( $\alpha=10^\circ$ ) до 33 -45 Н/мм ( $\alpha=60^\circ$ ). В діапазоні радіальних зазорів (19-30 мм) приріст  $Q$  становить 10-15% ( $P=100$  кН) та 6-13% ( $P=140$  кН) відносно початкового значення. Значення  $M_{зг, max}$  також зростає зі збільшенням радіального зазору. Зміна його величини складає від 120 – 140 Н·м/мм ( $\alpha=10^\circ$ ) до 219 -237 Н·м/мм ( $\alpha=60^\circ$ ). Так, в розглянутому діапазоні радіальних зазорів (19-30 мм) приріст склав 35-41% ( $P=100$  кН) та 36-41% ( $P=140$  кН) відносно початкового значення.

За результатами розрахунку одноопорної КНБК (рис. 2) встановлено, що при зміні  $r_{ОЦЕ}$  на 13 мм зміна  $Q$  для КНБК№1 коливається в межах 37-111%, а для КНБК№2 17-61% порівняно з початковими значеннями.

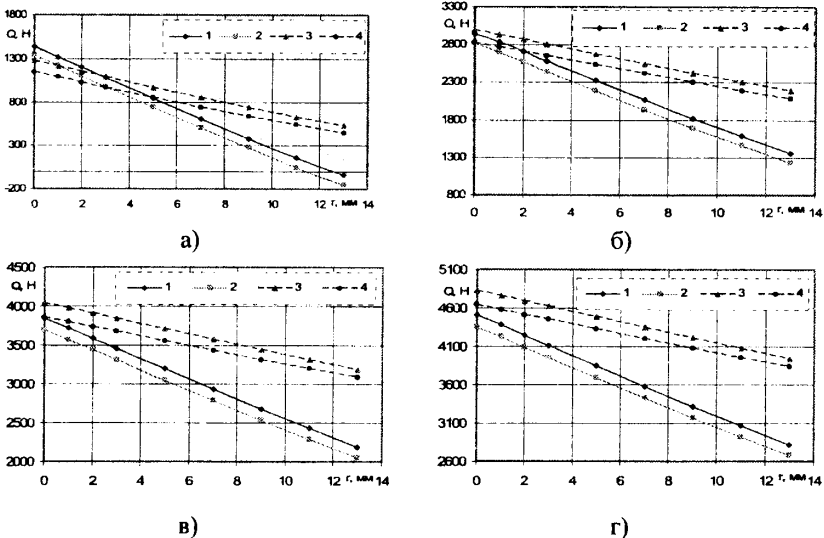
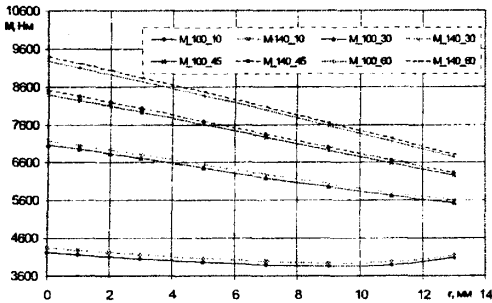


Рис. 2. Порівняльні залежності впливу радіального зазору у місці встановлення ОЦЕ на відхиляюче зусилля на долоті (1,2 – КНБК №1; 3,4 – КНБК №2:  $P=100$  кН та  $P=140$  кН відповідно)

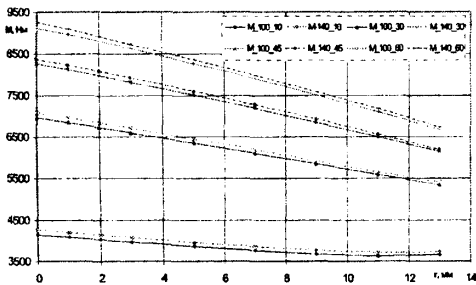
а) при  $\alpha=10^\circ$ ; б) при  $\alpha=30^\circ$ ; в) при  $\alpha=45^\circ$ ; г) при  $\alpha=60^\circ$ .

Найбільший вплив  $r_{ОЦЕ}$  має при  $\alpha=10^\circ$ , при якому в КНБК №1 взагалі змінився напрям дії  $Q$ , КНБК №2 є більш стійкою до зміни  $r_{ОЦЕ}$ . Також встановлено, що зі зростанням zenітного кута інтенсивність зміни  $Q$  зростає.

Що ж стосується  $R_{ОЦЕ}$ , то для КНБК №1 вона зростає на всьому інтервалі зміни радіальних зазорів при  $\alpha=10^\circ$ . При інших значеннях zenітних кутів, за певного зазору, спостерігається її зменшення. Так для zenітних кутів  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  величина  $r_{ОЦЕ}$  становить 12, 11 та 9 мм відповідно. Для КНБК №2  $R_{ОЦЕ}$  зростає при  $\alpha=10^\circ$  в інтервалі зміни радіального зазору 0-11 мм, а при більших значеннях зазору на центраторі зменшується. При  $\alpha=30^\circ$  збільшення  $r_{ОЦЕ}$  до 3 мм практично не впливає на реакцію на ОЦЕ, а більші зазори спричиняють її зменшення. При  $\alpha=45^\circ-60^\circ$  збільшення  $r_{ОЦЕ}$  спричиняє зменшення реакції. Таким чином встановлено, що при більших zenітних кутах реакція на центраторі змінюється більше ніж при менших кутах нахилу осі свердловини, на відміну від КНБК №1. В числовому еквіваленті ця зміна становить 213 Н/мм ( $\alpha=10^\circ$ ) і 826 Н/мм ( $\alpha=60^\circ$ ). Осьове навантаження не значно впливає на значення реакції на центраторі для обох КНБК.



а)



б)

Рис. 3. Залежність максимального згинального моменту від радіального зазору на ОЦЕ  
а) КНБК №1; б) КНБК №2.

Максимальний згинальний момент по довжині КНБК зменшується для обох конструкцій КНБК зі збільшенням  $r_{ОЦЕ}$  (рис.3). Інтенсивність зміни моменту зростає із збільшенням  $\alpha$  ( $\alpha=10^\circ$  146 - 537 Нм/мм,  $\alpha=60^\circ$  2518-2673 Нм/мм). Отримані результати свідчать: зміна радіальних зазорів може суттєво вплинути на параметри, які є основними при формуванні стовбура свердловин ( $Q$ ,  $R_{ОЦЕ}$ ,  $M_{z2}$ ), а також дають підстави зробити попередній висновок про те, що правильний вибір конструкції КНБК зводить до мінімуму вплив цих дестабілізуючих чинників.

Як дестабілізуючі чинники в роботі розглядаються зміна zenітного кута та

радіальних зазорів на долоті, першому та другому центраторі (відповідно показники стабільності  $P(a)$ ,  $P(Dsv)$ ,  $P(Dc1)$ ,  $P(Dc2)$ ). За критерій оптимальності прийнято мінімум зміни  $Q$  при зміні дестабілізуючого чинника на одиницю ( $\Delta\alpha=1^\circ$ ,  $\Delta r=1$  мм).

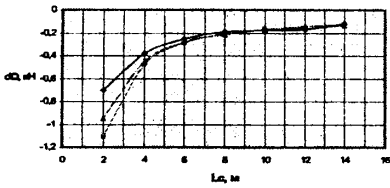
Практичну реалізацію методу вибору параметрів КНБК з двома ОЦЕ діаметрами 311 та 306 мм розглянуто на прикладі свердловини Одеська 10 в інтервалі буріння 490-1736 м. При цьому було встановлено розрахункові характеристики запропонованих компоновок (табл. 1) під дією одного з перелічених дестабілізуючих чинників.

Таблиця 1 – Розрахункові характеристики конструкцій КНБК

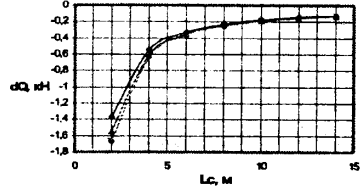
Діаметр першого центратора, мм	Відстань до першого центратора, м	Діаметр другого центратора, мм	Відстань між центраторами, м	Показники стабільності,				Реакція на центраторі, Н	
				$\Delta Q/\Delta\alpha$ , кН/°	$\Delta Q/\Delta r$ , кН/мм				
				$P(a)$	$P(D_{sv})$	$P(Dc_1)$	$P(Dc_2)$	$R_1$	$R_2$
311	2	311	27,6	-0,91	-0,19	0,2	-0,026	306	1115
	4	311	28,4	-0,43	-0,045	0,052	-0,011	391	1116
	6	311	29,7	-0,27	-0,015	0,024	-0,005	484	1123
	8	311	31,6	-0,2	-0,008	0,011	-0,005	595	1137
	10	311	33,7	-0,16	-0,005	0,006	-0,005	705	1159
	12	311	35,9	-0,13	-0,004	0,005	-0,002	811	1190
	14	311	38,2	-0,12	-0,002	0,002	-0,002	918	1229
306	2	306	32,8	-1,2	-0,14	0,15	-0,019	344	1130
	4	306	30,8	-0,6	-0,035	0,042	-0,01	430	1135
	6	306	31,45	-0,35	-0,014	0,02	-0,006	528	1143
	8	306	32,6	-0,24	-0,008	0,011	0,005	630	1155
	10	306	34	-0,2	-0,005	0,006	-0,005	723	1176
	12	306	36,2	-0,16	-0,004	0,005	-0,002	835	1204
	14	306	38,4	-0,13	-0,002	0,002	-0,002	940	1241

Однак у стовбурі свердловини на компоновку діють декілька чинників одночасно. Тому слід розглядати стабільність компоновки під дією комплексу чинників у всіх можливих їх комбінаціях (рис. 4). Побудовані графічні залежності вказують на те, що забезпечити стабільність компоновки, яка перебуває під дією дестабілізуючих чинників внаслідок зміни радіальних зазорів, можна зміною місця розташування ОЦЕ. У разі розташування першого центратора на відстані 8 м і більше від долота можна забезпечити стабільність компоновки з показниками стабільності, меншими 0,01 кН/мм. У випадках коли, одним із дестабілізуючих чинників є зенітний кут нахилу осі свердловини зміною місця встановлення ОЦЕ можливо лише мінімізувати його вплив. Так, для рекомендованих КНБК ( $L_1 = 8$  м) показники стабільності будуть меншими 0,2 кН/°.

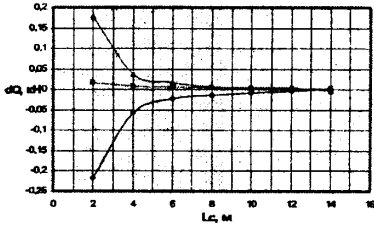
Важливим кроком у проектуванні конструкції КНБК є встановлення оптимальних розмірів ОЦЕ шляхом підбору довжини та ширини їх планок для забезпечення мінімального і рівномірного, вдавлювання центраторів в стінку свердловини (рис. 5).



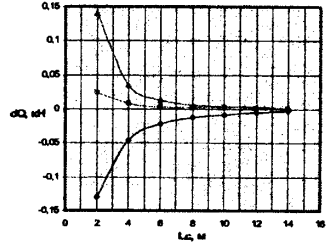
а)



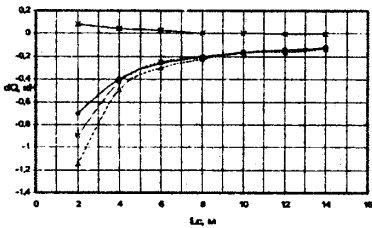
б)



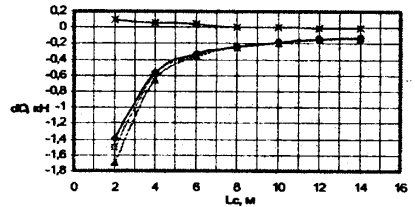
в)



г)



д)



е)

Рис. 4. Показники стабільності КНБК при дії кількох збуджуючих чинників одночасно а), б) – при зміні  $\alpha$  та одного з радіальних зазорів; в), г) – при зміні двох радіальних зазорів; д), е) – при дії трьох і більше чинників: а), в), д) – ОЦЕ діаметром 311 мм; б), г), е) – ОЦЕ діаметром 306 мм.

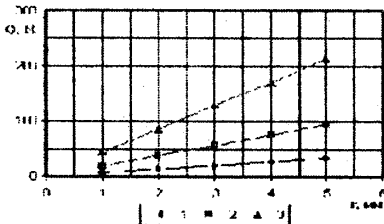


Рис. 5. Залежність відхиляючої сили від зазорів на ОЦЕ для оптимальної КНБК

- 1 –  $r_1 = r_2$ ;
- 2 –  $r_1 = 2r_2$ ;
- 3 –  $r_1 = 4r_2$ .

Результати розрахунку оптимальних розмірів ОЦЕ представлені графічними залежностями (рис. 6), за допомогою яких можна визначити мінімальну довжину лопатей при сталій їх ширині для забезпечення однакових умов взаємодії з гірським масивом.

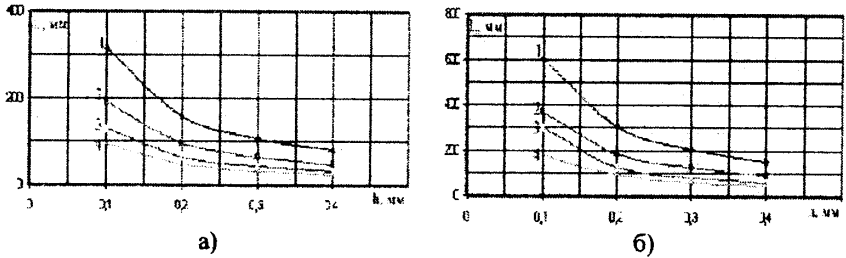


Рис. 6. Залежність довжини планок центратора від величини їх заглиблення в гірську породу:

а) – перший центратор; б) – другий центратор;  
1, 2, 3, 4 – ширина планки 30, 40, 50, 60 мм відповідно.

В третьому розділі наведено конструкцію удосконаленого експериментального стенду для дослідження взаємодії елементів КНБК із стінками свердловини КНБК (рис. 7), методики перерахунку на натурні конструкції КНБК та проведення статистичної обробки отриманих експериментальних результатів.

Вимірювальна схема експериментального стенду при дослідженні КНБК зображена на рис. 8 і складається з таких елементів: давачі для вимірювання, аналого-цифровий перетворювач, блок живлення та реєструючий пристрій.

Дослідження полягають у проведенні серії дослідів на моделях компоновок, які відповідають визначеним навантаженням на долото за різних кутів нахилу осі свердловини і проводились для навантажень з діапазону 100÷140 кН при зенітних кутах від 10° до 60°.

Результати експериментальних досліджень були оброблені методами математичної статистики та перераховані на натурну безопорну КНБК: долото діаметром 190,5 мм, ДГ-155 та ОБТЗ-146.

В результаті досліджень встановлено, що розбіжність теоретичних та експериментальних результатів знаходиться в межах 6 % для  $Q$  і 12 % – для  $M_{32}$ . Зважаючи на необхідність уточнення математичної моделі за результатами лабораторних досліджень вводимо поправочний коефіцієнт. Його значення отримали як середнє арифметичне відхилення результатів аналітичних та експериментальних досліджень. Величина поправочного коефіцієнта становить 0,962 і врахована в математичній моделі для розглянутої КНБК.

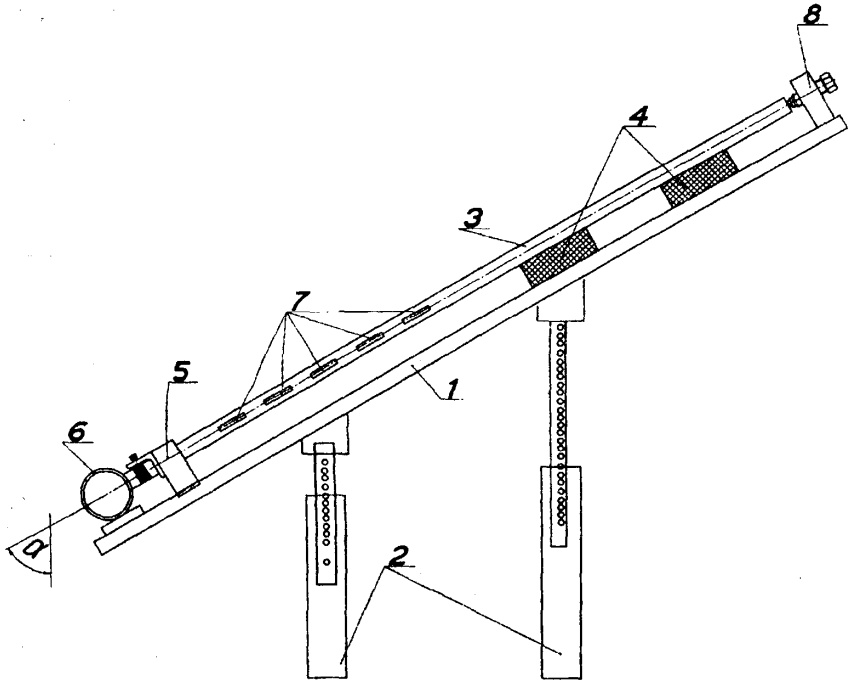


Рис. 7. Схема конструкції експериментального стану:

1 – основа; 2 – телескопічні опори; 3 – модельна трубка; 4 – підставки; 5, 6 – силівимірювальні вузли; 7 – тензодавачі для вимірювання згинального моменту; 8 – навантажувальний блок.

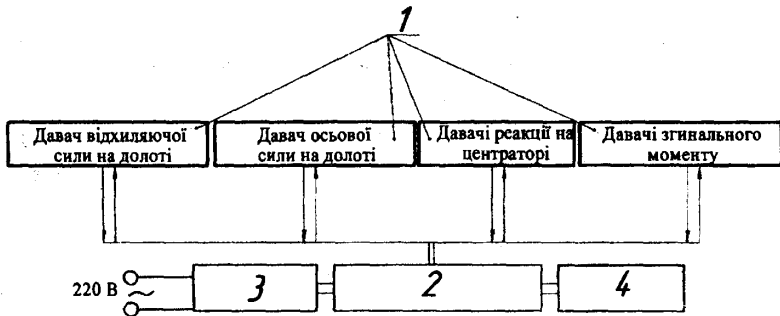


Рис. 8. Вимірювальна схема експериментального стану:

1 – давачі; 2 – АЦП; 3 – блок живлення; 4 – реєструючий пристрій.

В четвертому розділі наведено розроблену конструкцію пристрою для визначення зусиль в бурильній колоні.

За допомогою розрахунків та розроблених лабораторних стендів (рис. 9-10) отримано тарувальну криву для оцінки результатів вимірювань в промислових умовах та встановлено робочі характеристики пристрою.

Зокрема зрушуючий тиск становить 0,75-0,8 МПа, критичний тиск герметичності гідравлічної системи – 1,2 МПа, максимальний крутний момент з умови допустимих деформацій – 28 кНм, максимальний згинальний момент з умови допустимих напружень – 226 кНм.

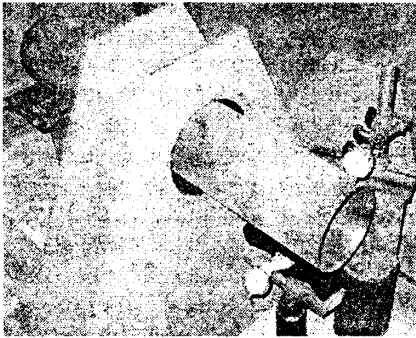


Рис. 9. Загальний вигляд стенду для побудови тарувальної кривої.

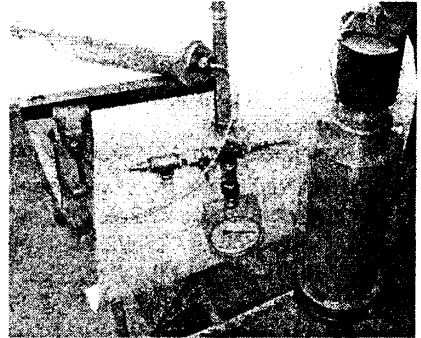


Рис. 10. Загальний вигляд стенду для визначення рушійних тисків та перевірки гідравлічної системи на герметичність.

Дослідно-промислове випробовування розробленої конструкції пристрою проводилось на свердловині Микитинецька І ЗАТ «ГАЗІНВЕСТ».

Експериментально встановлено, що фактичне значення відхиляючої сили на долоті в свердловині відрізнялось від отриманого розрахунковим методом на 8%.

Отримані результати підтверджують роботоздатність розробленої конструкції пристрою.

За результатами досліджень розроблено комп'ютерну програму та технічні рекомендації для проектування конструкцій КНБК з урахуванням умов їх роботи, а саме: виробок на стінках свердловини та фактичних значень згинальних моментів, що виникають в КНБК при поглибленні свердловини. Технічні рекомендації та програму впроваджено в ДАТ «Чорноморнафтогаз».

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведення теоретичних і експериментальних досліджень отримане нове вирішення науково-технічної задачі підвищення ефективності буріння похило-скерованих свердловин шляхом удосконалення методів вибору та коригування параметрів неорієнтованих КНБК за їх НДС в процесі буріння:

1. Розглянуто сучасний стан проблеми проектування та вибору неорієнтованих КНБК. Встановлено, що розроблені на даний час математичні моделі дослідження НДС і КНБК в стовбурі свердловини не враховують в повному обсязі умов її роботи, зокрема наявності на стінках локальних нерівностей.

2. Розроблено метод проектування та коригування параметрів КНБК з метою забезпечення проектної траєкторії стовбура свердловини, який полягає в аналізі дестабілізуючих чинників, що виникають в процесі буріння, встановленні їх пріоритетності щодо забезпечення проектного профілю, виборі оптимальної конструкції та періодичного контролю напружено-деформованого стану з метою коригування її параметрів.

3. Проведено лабораторні дослідження для моделювання взаємодії безпорної КНБК з вибоєм та стінками свердловини, а також розподілу згинальних моментів по довжині компоновки. Результати експериментальних досліджень перераховані на натурну безпорну КНБК (долото діаметром 190,5 мм, ДГ-155 та ОБТЗ-146) та встановлено розбіжність теоретичних та експериментальних результатів у межах 6 % для відхиляючої сили і 12 % – для згинального моменту.

4. Розроблено конструкцію, виготовлено дослідний зразок та встановлено робочі характеристики на лабораторному стенді пристрою для вимірювання зусиль в колоні бурильних труб. Зокрема зрушуючий тиск становить 0,75-0,8 МПа, критичний тиск герметичності гідравлічної системи – 1,2 МПа, максимальний крутний момент з умови допустимих деформацій – 28 кНм, максимальний згинальний момент з умови допустимих напружень – 226 кНм.

5. Результати аналітичних та лабораторних досліджень апробовані в ДАТ «Чорноморнафтогаз». Розроблено комп'ютерну програму та технічні рекомендації для проектування конструкцій КНБК з урахуванням умов їх роботи, а саме: виробок на стінках свердловини та фактичних значень згинальних моментів, що виникають в КНБК при поглибленні свердловини. Проведено дослідно-промислово перевірку роботоздатності конструкції розробленого пристрою на свердловині Микитинецька 1 ЗАТ «ГАЗІНВЕСТ». Встановлено, що різниця між розрахунковим та експериментальним значенням відхиляючої сили на долоті складала 8%.



## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Дослідження впливу зазорів між стінкою свердловини і компоновкою низу бурильної колони на реалізацію профілю похило-скерованих свердловин / А.Р. Юрич, В.М. Івасів, А.І. Різничук, Ю.В. Буй // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2010. – №2(35). – С.45-49.

2 Івасів В. М., Моделювання напружено-деформованого стану та взаємодії КНБК із стінками та вибоєм свердловини в лабораторних умовах / В. М. Івасів, І. І. Чудик, А. Р. Юрич, Л. Д. Мельниченко // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2009. – №4(33). – С. 38-44.

3 Моделювання компоновок низу бурильної колони з опорно-центруючими елементами (ОЦЕ) в похило-скерованому стовбурі свердловини / А.Р. Юрич, І.І. Чудик, В.В. Гриців, Р.В. Рачкевич, А.А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2008. – №2(27). – С.51-55.

4 Чудик І. І. Врахування каверно- і жолобоутворень при проектуванні неорієнтованих КНБК / І. І. Чудик, А. Р. Юрич, А. А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 2 (23). – С. 45 – 50.

5 Юрич А.Р. Математичне моделювання положення безопорних компоновок низу бурильної колони (КНБК) в похило-скерованому стовбурі свердловини / А. Р. Юрич // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2008. – №1(26). – С.40-43.

6 Юрич А.Р. Новий підхід до дослідження напружено-деформованого стану компоновок низу бурильної колони / А. Р. Юрич // Нафтогазова енергетика. – 2008. – №3(8). – С.19-22.

7 Пат. 20126 Україна, МПК 2006 E21B19/00. Пристрій для вимірювання зусиль в колоні бурильних труб / Івасів В.М., Василів М.В., Атрим В.І., Козлов А.А., Чудик І.І., Юрич А.Р.; заявник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – заявка №u200607356; заявл. 03.07.2006; опубл. 15.01.2007. - Бюл. №1.- 40с.: іл.

8 Пат. 27621 Україна, МПК 2006 E21B19/00. Пристрій для вимірювання зусиль в колоні бурильних труб / Івасів В.М., Ногац М.М., Чудик І.І, Андрусів Я.Й., Воробель Р.В., Юрич А.Р.; заявник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – заявка №u200706854; заявл. 18.06.2007; Опубл. 12.11.2007. Бюл. №18. - 37с.: іл.

9 До вибору конструктивних параметрів неорієнтованих компоновок низу бурильної колони / В. М. Івасів, А.Р. Юрич, А.П. Вовк, А. А. Козлов: Матеріали науково-технічної конференції «Підвищення ефективності буріння свердловин та інтенсифікації нафтогазовидобутку на родовищах України», (Івано-Франківськ), 16-18 листопада 2010. - Івано-Франківськ: Факел, 2010. – 195с.

10 Лабораторні дослідження напружено-деформованого стану та взаємодії компоновок низу бурильної колони із стінками та вибоєм свердловини: матеріали міжнародної науково-практичної конференції

«Розвиток наукових досліджень 2008», (Полтава, 24-26 листопада 2008) / А.Р. Юрич, В. Р. Осадца. – Полтава:, Інтерграфіка, 2008. – 145с.

11 Новий підхід до дослідження напружено-деформованого стану (НДС) компоновок низу бурильної колони (КНБК): матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених [«Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії»], (Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008) / А. Р. Юрич. – Ів.-Фр.: Факел, 2008. - 75с.

12 Нові можливості для вдосконалення неорієнтованих компоновок низу бурильної колони / І. І. Чудик, А. Р. Юрич: Сборник научных трудов по материалам тринадцатой международной конференции «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения», (Судак 19-25 вересня), Судак – 2010. – 570 с.

13 Нові можливості контролю навантаженості бурильної колони при бурінні свердловини: сборник науч. трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2008»/ [І. І. Чудик, А. Р. Юрич, В. Р. Осадца] (Одеса 1-15 жовтня 2008 р.). – Одеса: Черноморье, 2008. – 80 с.

## АНОТАЦІЯ

Юрич А. Р. – “Удосконалення методів проектування та технології використання неорієнтованих компоновок низу бурильної колони” - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2011.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності буріння спрямованих свердловин за рахунок вибору оптимальних конструкцій неорієнтованих компоновок низу бурильної колони.

У роботі проведено аналіз факторів, які впливають на стабільність роботи КНБК та зроблено критичний огляд сучасних методів розв’язання проблеми проведення свердловин згідно з проектним профілем.

Автором проведено теоретичні дослідження впливу зміни радіальних зазорів на стабільність компоновок. Для оцінки адекватності запропонованого математичного підходу проведено експериментальні дослідження в лабораторних умовах.

Вдосконалено метод проектування та коригування параметрів КНБК, який відрізняється комплексним аналізом дестабілізуючих факторів, що виникають в процесі буріння (розширення стовбура свердловини, знос ОЦЕ по діаметру, зміна зенітного кута), вибором її оптимальних параметрів та періодичному контролю напружено-деформованого стану з метою їх коригування.

Ключові слова: буріння похило-скерованих свердловин, реалізація проектного профілю, компоновка низу бурильної колони, стовбур свердловини.

## АННОТАЦІЯ

Юрич А. Р. – "Совершенствование методов проектирования и технологии использования неориентированных компоновок низа бурильной колонны" - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 – Разработка нефтяных и газовых месторождений.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2011.

Диссертация посвящена повышению эффективности бурения направленных скважин за счет выбора оптимальных конструкций неориентированных компоновок низа бурильной колонны.

Проанализированы методы исследований и способы расчета параметров КНБК, а также технические средства для оценки их НДС. Установлено, что имеющиеся на сегодня аналитические методы расчета неориентированных КНБК в стволе скважины основываются на математических моделях, не учитывающих фактический НДС КНБК, который является важным фактором в формировании показателей ее работы. Показано, что учет в ходе проектирования КНБК информации об условиях взаимодействия ее элементов с забоем и стенками скважины полученной с помощью специальных устройств непосредственно из забоя повысит технологические возможности неориентированных КНБК.

Выбрано базовую модель для проведения исследований и проанализированы основные факторы, влияющие на изменение траектории ствола скважины. По результатам аналитических исследований предложены варианты учета возможных изменений в условиях работы компоновки на забое и алгоритм для реализации метода проектирования и корректировки параметров КНБК с целью обеспечения проектной траектории бурения. С целью оценки адекватности предложенного математического подхода усовершенствована конструкция экспериментального стенда для исследования взаимодействия элементов КНБК со стенками скважины и проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Результаты аналитических и лабораторных исследований апробированы в ГАО «Черноморнефтегаз». Разработана компьютерная программа и технические рекомендации для проектирования конструкций КНБК с учетом условий их работы, а именно: выработок на стенках скважины и фактических значений изгибающих моментов, возникающих в КНБК при углублении скважины.

Разработана конструкция, изготовлен опытный образец и установлены рабочие характеристики на лабораторном стенде устройства для измерения

усилий в колонне бурильных труб. Проведено опытно-промышленную проверку работоспособности конструкции разработанного устройства.

Ключевые слова: бурение наклонно-направленных скважин, реализация проектного профиля, компоновка низа бурильной колонны, ствол скважины.

### ABSTRACT

Yurych A.R. - "Improvement of design methods and technologies using non-directional bottom-hole assemblies" - Manuscript.

Thesis for the Candidate Degree of Technical Sciences on speciality 05.15.06 - Development of oil and gas fields.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk, 2011.

The dissertation is devoted to improving the directed wells drilling efficiency by choosing the optimal design of non-directional bottom-hole assemblies.

Analysis of factors, influencing the stability of BHA is given in the paper and critical review of modern methods for solving this problem is performed.

The theoretical researches of radial clearance changes impact on the assembly stability are made by the author. To assess the adequacy of the proposed mathematical approach experimental researches in laboratory conditions were conducted.

Methods of the design and adjustment of BHA parameters were upgraded, distinguishing in comprehensive analysis of destabilizing factors that arise during drilling (hole expansion, wear of SCE in diameter, inclination angle changing), choice of optimal parameters and intermittent monitoring of the stress-strain condition for the purpose of their correction.

Keywords: directional drilling, grade line implementation, bottom-hole assemblies, bore hole.



an2219