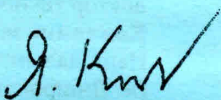


622.243.23(043)
К 91

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

КУНЦЯК ЯРОСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 622.243.23



РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ І
ТЕХНОЛОГІЙ БУРІННЯ ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ І ГОРИЗОНТАЛЬНИХ
СВЕРДЛОВИН (ДЛЯ УМОВ НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ)

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ-2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України та приватному акціонерному товаристві «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту»



Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор
Коцкулич Ярослав Степанович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
професор кафедри буріння нафтових і
газових свердловин

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кожевников Анатолій Олександрович,
Національний гірничий університет
(м. Дніпропетровськ),
професор кафедри техніки розвідки
родовищ корисних копалин

доктор технічних наук, професор
Гошовський Сергій Володимирович,
Український державний
геологорозвідувальний інститут,
директор

доктор технічних наук, професор
Калініченко Олег Іванович,
Донецький національний технічний
університет,
професор кафедри технології і техніки
геологорозвідувальних робіт

Захист відбудеться «04» липня 2013р. 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 ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий «31» травня 2013р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

І.М.Ковбасюк



an2383

ГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

емн. Україна належить до енергодефіцитних країн, що задовольняє свої потреби в паливно-енергетичних ресурсах менш ніж на 50%, тому досягнення максимально можливого рівня забезпеченості цими ресурсами є головним завданням національної економіки України, без вирішення якого неможливий стабільний економічний і соціальний розвиток суспільства та збереження енергетичної безпеки і державної незалежності.

Характерною особливістю нафтових і газових родовищ України є значна виснаженість основних запасів та наявність великої кількості залишкових запасів у тупикових і слабкодренованих зонах нафтових об'ємів газоподібних покладів та водогазових покладах нафти з низькопроникними колекторами. Існує багато потужних нафтових об'єктів, розташованих під зонами недоступності (болота, заплави, водойми, гірський рельєф тощо) у межах державних природних заповідників, охоронних зон, під населеними пунктами та ін.

В цих умовах надзвичайно актуальним і важливим є створення і впровадження вітчизняних технологій, технічних засобів, інструментів та матеріалів для підвищення ефективності бурових робіт, спрямованих на збільшення видобутку нафти і газу.

Основними складовими цього комплексу є створення сучасних технологій відновлення недіючого фонду свердловин, новітніх матеріалів та породоруйнівних інструментів, підвищення інформативності буріння при розкритті покладів нафти і газу шляхом розроблення й впровадження сучасної керновідбірної техніки.

Провідні нафтогазовидобувні держави світу (США, Канада, Росія, Італія, Велика Британія, Франція, Норвегія, Нідерланди) широко застосовують буріння горизонтальних свердловин ще з середини другої половини минулого століття, на противагу Україні, де ці технології досі не знайшли широкого застосування і не мають відчутного впливу на обсяги видобування вуглеводневої сировини.

Починаючи з останнього десятиріччя минулого століття, спостерігається тенденція до зростання зацікавленості проблемою вдосконалення техніки і технології буріння похило-скерованих (ПС) і горизонтальних свердловин (ГС) та активні кроки бурових підприємств України щодо практичної реалізації комерційних проектів із застосуванням буріння ПС і ГС як на суходолі, так і в акваторіях Чорного і Азовського морів.

Сучасне буріння ПС і ГС охоплює надзвичайно широке коло питань, всебічно вирішити які з урахуванням специфіки кожного геологічного регіону практично неможливо. Вивченню проблем буріння ПС і ГС та їх вирішенню присвячено багато досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема Алієва М.А., Аскерова В.Б., Агасва Г.Х., Балденко Д.Ф., Битто Р., Безухова Н.І., Булатова А.І., Васька І.А., Григоряна А.М., Глушича В.Г., Іоанесяна Р.А., Каррисона Х., Краузе К., Крилова В.І., Калініна А.Г., Козлова А.В., Коцкулича Я.С., Мессера А.Г., Мислюка М.А., Морри В., Муслімова Р.Х., Оганова О.С., Оганова Г.С., Поваліхіна А.С., Саковича Е.С., Сьювел М., Тахаутдінова Ш.Ф., Фурментро Д., Чернова Б.О., Чудика І.І., Хісамова Р.С., Ясова В.Г. та ін.

Проте, як свідчить практика, розроблені технології і технічні засоби не повністю задовольняють вимогам в процесі буріння ПС і ГС на нафтових і газових родовищах України з горизонтами, що складені нестійкими гірськими породами.

Тому для вирішення даної проблеми необхідно провести комплекс теоретичних, експериментальних і промислових досліджень, оскільки розвиток буріння ПС і ГС на нафтових і газових родовищах України сприятиме раціональному використанню запасів цих родовищ та стане основою зростання власного видобутку вуглеводнів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати наукових досліджень, конструкторських та дослідно-промислових робіт взаємопов'язані і є складовими частинами Державних цільових програм: "Національна програма "Нафта і газ України до 2010 року" (реєстраційний номер 019), "Програма освоєння вуглеводних ресурсів Українського сектору Чорного та Азовського морів" (реєстраційний номер 024), "Програма створення та організація виготовлення бурового, нафтогазопромислового, нафтопереробного устаткування і техніки для будівництва нафтогазопроводів з науково-технічною частиною на період до 2010 року" (реєстраційний номер 091) і "Національна енергетична програма України до 2010 року" (реєстраційний номер 025).

Дисертаційна робота споріднена з комплексом досліджень, що проводяться ДП "Науканафтогаз" НАК "Нафтогаз України" з проблеми "Узагальнення світового досвіду технології буріння горизонтальних свердловин та його застосування в умовах нафтових і газових родовищ України".

Під час виконання роботи автор співпрацював з провідними фахівцями Всеросійського науково-дослідного інституту бурової техніки і його Пермської філії в напрямі розробки, конструювання, виготовлення та промислового випробування спеціального обладнання та інструменту для буріння горизонтальних свердловин.

Мета і задачі дослідження. Головною метою дослідження є розробка та впровадження комплексу вискоелективних технічних засобів і технологій для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин у складних геологічних умовах залягання гірських порід, схильних до осипання, обвалювання та звуження стовбура.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких завдань:

1. Проведення аналізу сучасного стану вітчизняної та зарубіжної техніки і технологій буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин.
2. Розробка теоретичних засад забезпечення стійкості похилого стовбура свердловини для різних гірничо-геологічних умов буріння.
3. Розробка методики проектування раціонального профілю стовбура свердловини з горизонтальним закінченням в умовах геологічного розрізу, складеного нестійкими дезінтегрованими породами.
4. Розробка конструкцій спеціального обладнання, інструменту та елементів КНБК для буріння похилих і горизонтальних ділянок стовбурів свердловин.
5. Створення обладнання і технології відбору керна в похило-скерованих і горизонтальних ділянках стовбура з одночасною можливістю управління траєкторією свердловини при забезпеченні високого відсотку (90-100%) виходу керна.
6. Розробка безглинистої біополімерної промивальної рідини з високими реологічними і експлуатаційними властивостями для забезпечення ефективного очищення вибою, підвищення стійкості стінок стовбура свердловини в нестійких горизонтах за незначної глибини кольматації продуктивного горизонту.

7. Розробка технології і технічних засобів для забурювання бокових стовбурів у ліквідованих, виснажених і малодобітних свердловинах, обсаджених колонами труб діаметром від 146 мм і більше.

8. Удосконалення і впровадження технологій буріння ПС і ГС з управлінням траєкторією із застосуванням розроблених технічних засобів і вітчизняних телеметричних систем.

Зазначені теоретичні, експериментальні і промислові дослідження створюють цілісний науково обґрунтований техніко-технологічний комплекс для буріння ПС і ГС у складних гірничо-геологічних умовах.

Об'єктом дослідження є похило-скеровані та горизонтальні свердловини, що буряться в нестійких породах.

Предметом дослідження є техніко-технологічний комплекс для буріння ПС і ГС суцільним і кільцевим вибоями.

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

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше одержано аналітичні і експериментальні залежності для визначення впливу зенітного кута та інтенсивності викривлення похило-скерованої свердловини, часу буріння і типу промивальної рідини на технічні показники буріння та стійкість стінок стовбура при проходженні інтервалів, представлених нестійкими породами, а також вперше встановлено наявність критичних значень зенітного кута та інтенсивності викривлення стовбура свердловини з умов збереження стійкості її стінок та величину цих значень для конкретних геологічних умов буріння на родовищах України.

2. Вперше виконано математичне обґрунтування та розроблено математичні моделі для:

- оптимізації форми профілю робочої поверхні долота різальної дії з умови мінімізації енергоємності, моментоемності, коефіцієнта динамічності та визначення кількості лопатей і різальних елементів;
- визначення місця розташування центруючих елементів керноприймального пристрою в процесі буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин (ПС і ГС) з відбором керна;
- розрахунку сил опору при переміщенні бурильної колони та обґрунтування конструкції її низу з умови передачі ефективного осьового навантаження на долото в процесі буріння ПС і ГС;
- визначення величин радіальних і колових напружень у гірській породі на стінках похилого стовбура свердловини та удосконалення методики проектування траєкторії ПС і ГС.

3. Вперше для умов буріння ПС і ГС запропоновано, теоретично та експериментально обґрунтовано наукові основи та загальні технічні рішення для розробки серій нових конструкцій породоруйнівного і опорно-центруючого

інструменту з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід і пониженою моментосемністю буріння, бурильних головок, лопатевих калібраторів, центраторів та інших інструментів.

4. Дістали подальший розвиток принципи та методи розробки високоефективних конструкцій протиприхоплюючих компоновок низу бурильної колони для буріння ПС і ГС із раціональним розміщенням ексцентричних перехідників, керноприймальні пристрої для відбору керна в ПС і ГС зі збільшеною корисною довжиною та можливістю орієнтованого відбору керна, а також універсальні перехідники із регульованим кутом перекосу.

5. Удосконалено рецептуру безглинистої біополімерної промивальної рідини «БЮКАР» шляхом застосування композитних кольматантів, утворених на основі раціональних співвідношень жорстких і пружних реагентів-наповнювачів, що підвищує універсальність їх застосування в колекторах з різними ємнісно-фільтраційними властивостями.

6. Вперше на основі запропонованих техніко-технологічних рішень розроблено комплекс техніки і технології буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин з врахуванням особливостей геолого-технічних умов родовищ України.

Практичне значення одержаних результатів.

За результатами теоретичних досліджень, експериментальних і дослідно-промислових робіт розроблено рекомендації щодо проектування траєкторії похило-скерованих і горизонтальних ділянок стовбурів свердловин із забезпеченням їх стійкості в складних гірничо-геологічних умовах. Сформульовано рекомендації щодо проектування породоруйнівних інструментів різальної дії з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід, розроблено їх конструкції, виготовлено і успішно випробувано серію бурових доліт і бурильних головок семи типорозмірів: АП-120 МС; АП-123 МС; АП-144,4 МС; АП-214,3 МС; АП-118/52 МС; АП-123/52 МС; АП-212,7/100 МС.

Досліджено і випробувано на надійність роботи в промислових умовах серії КНБК для буріння і відновлення свердловин похило-скерованими і горизонтальними стовбурами. Вирішено проблему розроблення, дослідження, виготовлення і впровадження низки керноприймальних пристроїв для відбору керна при бурінні ПС і ГС.

Безглиниста промивальна рідина «БЮКАР» пройшла успішне промислове випробування та впроваджена під час буріння ПС і ГС на родовищах Дніпроводо-Донецької западини (ДДз).

Результати виконаних досліджень підтвердили високу ефективність створеного техніко-технологічного комплексу та удосконаленої технології для буріння ПС і ГС у нестійких гірських породах при будівництві та відновленні більш ніж 40 похило-скерованих та горизонтальних свердловин на 12 родовищах ДДз та шельфі Чорного моря.

Особистий внесок здобувача.

Здобувачем особисто проведено теоретичні і експериментальні дослідження стійкості стінок свердловини залежно від геометрії стовбура [15,21,32], інтенсивності викривлення в похило-скерованих ділянках стовбура [14,22], напрямків нашарування нестійких порід, гідростатичного тиску на стінку свердловини [5,13], тривалості буріння в інтервалі залягання нестійких порід і

фізико-хімічних властивостей промивальної рідини [7]. Проведено теоретичні і експериментальні дослідження пружно-деформованого стану гірських порід у похило-скерованих і горизонтальних ділянках стовбура свердловини [14] та удосконалено методику проектування їх траєкторії [19,27]. Математично обґрунтовано геометрію різальної частини долота з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід [11,12,20], визначено шляхи вдосконалення КНБК для буріння ПС і ГС, досліджено раціональне розміщення опорно-центруючих елементів при відборі керна в ПС та ГС та особливості КНБК для ефективної передачі осьового навантаження в процесі буріння похило-скерованих і горизонтальних ділянок стовбурів [13, 21, 22, 39]. Запропоновано технічні рішення щодо розробки технічних засобів для відбору керна в процесі буріння ПС і ГС [9,18,23,35,42,43].

Розроблено серії компоновок низу бурильної колони для буріння ПС і ГС у нестійких гірських породах [39,42].

У співавторстві виконано роботи з конструювання доліт різального типу з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід і бурильних головок, стендові і промислові випробування розроблених конструкцій; розробка технічних засобів і технології зарізання бокових стовбурів у недіючих свердловинах [10,31,37,40,41]; удосконалення технології буріння похило-скерованих і горизонтальних ділянок стовбурів свердловин в умовах залягання нестійких гірських порід [25,26]; телеметричний контроль за траєкторією свердловини та засобами її коригування [29]. Розроблено серії конструкцій спеціальних технічних засобів і технологій для буріння з відбором керна в ПС і ГС, у тому числі з можливістю відбору просторово орієнтованих взірців керна [6,13,17,18,23,24,28].

Удосконалено рецептуру безглинистої промивальної рідини «БЮКАР» для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин та розкриття продуктивних горизонтів [7].

Коллективним надбанням є всебічна перевірка та впровадження розроблених технічних засобів і технологічних процесів при бурінні свердловин на родовищах України і Російської Федерації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення наукових розробок і досліджень, які в подальшому були включені в матеріали дисертаційної роботи, доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми буріння нафтових і газових свердловин на родовищах України, шляхи удосконалення підготовки фахівців» (м. Івано-Франківськ, 1995р.), Всеросійській науково-технічній конференції «Проблеми научно-технического прогресса в бурении геологоразведочных скважин», (г. Томск, 1998г.), Міжнародній науково-практичній конференції «Стан і перспективи розвідувального буріння і закінчення свердловин в Україні» (м. Харків, 1998р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Геопетрол» (м. Краків, 2002р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Нафта і газ України-2002» (м. Київ, 2002р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения» (м. Київ, 2002р.), Міжнародних науково-технічних конференціях «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применение» (Крим, Морське, 1998, 2003, 2006, 2012 р.р.), Міжнародній технічній конференції «10-ти річчя НДКБ бурового інструменту» (м. Київ, 2003р.),

Міжнародній науковій конференції «Сучасні досягнення в науці і освіті» (м. Будва (Чорногорія), 2010р.). Результати досліджень доповідались на науково-технічних радах ПрАТ «НДКБ бурового інструменту» з проблем будівництва похило-скерованих і горизонтальних свердловин, інтенсифікації й відновлення видобутку в малодобітних та недіючих свердловинах шляхом буріння бокових стовбурів (м. Київ, 2003÷2012 рр.), Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовка фахівців для нафтогазової галузі» (м. Івано-Франківськ, 2012р.), розширеному науковому семінарі кафедри буріння ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ, 2013р.).

Публікації. За результатами досліджень по темі дисертації загалом опубліковано 79 наукових праць: 50 публікацій у фахових виданнях (з них 4 одноосібно і 13 публікацій в іноземних виданнях); 2 монографії; 6 тез конференцій; 14 патентів України і 4 патенти Російської Федерації; 3 авторських свідоцтва СРСР.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, семи розділів, висновків, списку використаної літератури, який включає 218 джерел та 14 додатків. Матеріали викладено на 388 сторінках комп'ютерного набору і містить 106 рисунків та 35 таблиць.

Автор широко вдячний колективу ПрАТ «НДКБ бурового інструменту», науковому консультанту д.т.н., професору Коцкуличу Я.С. та д.т.н., професору Чернову Б.О. Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за допомогу в роботі над матеріалами дисертації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, основні завдання та методи досліджень, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи, відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

У першому розділі на основі аналізу літературних і патентних джерел та промислових даних наведено гірничо-геологічну характеристику нафтогазоносних регіонів України і надано їх порайонну геологічну будову. Встановлено, що на родовищах ДДз і Чорноморського шельфу основні продуктивні горизонти знаходяться на значних глибинах і супроводжуються пропластками порід, складених нестійкими породами. Це зумовлює основні особливості геолого-технічних умов, ускладнення і аварії при бурінні ПС і ГС із застосуванням існуючих технологій і технічних засобів та унеможливує успішне закінчування свердловин. Проведено аналіз причин ускладнень і систематизовано їх для процесу буріння ПС і ГС у нестійких породах.

Показано, що однією з найбільш важливих проблем є забезпечення стійкості стінок свердловини під час буріння ПС і ГС на родовищах ДДз та шельфі Чорного моря внаслідок осипання і обвалювання стінок в нестійких породах за великих значень зенітних кутів (більше 50°), інтенсивного набору кривизни, недосконалості конструкцій КНБК, низької механічної швидкості буріння та застосування промивальних рідин, які не відповідають геолого-технічним умовам.

Встановлено, що на даний час практично відсутні ефективні технології для будівництва ПС і ГС в умовах нестійких гірських порід, науково обґрунтовані рекомендації щодо розроблення бурових доліт, оснащених полікристалічними

елементами різання та з пониженою енергоємністю роботи для умов буріння ПС і ГС, недостатньо вивчено вплив чинників на пружно-деформований стан гірської породи та стійкість стінок стовбура. Існуючі технічні засоби для відбору керна в горизонтальних свердловинах не забезпечують необхідної ефективності робіт, а рецептури промивальних рідин на глинистій основі не забезпечують успішне будівництво ПС і ГС на родовищах з наявними горизонтами нестійких порід.

На основі проведеного аналізу виділено основні групи геолого-технічних і технологічних чинників, що впливають на ефективність буріння ПС і ГС.

Зроблено висновок, що для розробки техніко-технологічного комплексу і технології буріння ПС і ГС у нестійких породах необхідні теоретичні, експериментальні і промислові дослідження для визначення ступеня впливу вказаних чинників.

Виходячи із сучасного стану проблеми, сформульовано мету і завдання досліджень.

В другому розділі наведено опис розроблених стендів та конструкцій експериментальних і натурних зразків породоруйнівних інструментів для дослідження їх енергетичних характеристик, елементів компоновок низу бурильної колони, вузлів керноприймальних пристроїв для дослідження на втому і зносостійкість, а також зразків і вимірювального обладнання для дослідження напружено-деформованого стану гірських порід та визначення стійкості стінок у нестійких горизонтах ПС і ГС. Під час встановлення функціональних залежностей, обробки експериментальних і промислових даних та визначення енергетичних характеристик породоруйнівних інструментів, втомних характеристик елементів КНБК і вузлів керноприймальних пристроїв, міцнісних характеристик гірської породи використано методи математичної статистики. Наведено методики експериментальних і промислових досліджень.

Обробку статистичних даних проведено за допомогою комп'ютерних програм, які дозволяють в повному об'ємі визначити необхідні параметри.

У третьому розділі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень впливу геолого-технічних чинників на стійкість стінок ПС і ГС.

Оскільки в процесі буріння ПС і ГС в інтервалі ділянок з великими значеннями зенітного кута та інтенсивності викривлення стовбура під дією фізичних, фізико-хімічних, механічних і гідродинамічних чинників виникає найбільше ускладнень, пов'язаних із осипанням і обвалованням стінок свердловини, складених нестійкими гірськими породами, досліджено їх вплив на пружно-деформований стан гірської породи та стійкість викривленого стовбура свердловини.

На основі результатів проведених наукових досліджень одержано аналітичні залежності для визначення величини радіальних і колових напружень в породі на стінках похилого стовбура свердловини. Свердловина змодельована циліндром із безмежною товщиною стінки, де r – поточний радіус, який охоплює всю товщину стінки циліндра. Враховуючи, що згасання збурень у пристовбурній зоні свердловини в напрямку, перпендикулярному до її стінок, відбувається за експоненціальним законом, зону напружень прийнято за двомірну кільцеву область Ω , що складається із зон пластичних Ω_1 і пружних Ω_2 деформацій.

Характеристики напружено-деформованого стану гірської породи на викривлених ділянках стовбура свердловини в зоні Ω_2 знаходились як розв'язки системи диференціальних рівнянь Ляме в циліндричних координатах:

$$\left. \begin{aligned} (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} - \mu \left(\frac{U}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \mu \Delta U + X &= 0; \\ (1 + \mu) \frac{1}{r} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \theta} - \mu \left(\frac{V}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial U}{\partial \theta} \right) + \mu \Delta V + Y &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$ - оператор Лапласа; $\varepsilon = \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{U}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta}$ - відносна зміна об'єму; $U = U(r, \theta)$ і $V = V(r, \theta)$ - відповідно радіальне і тангенціальне зміщення; $X = X(r, \theta)$ і $Y = Y(r, \theta)$ - компоненти вектора об'ємного навантаження; λ і μ - пружні константи Ляме.

Граничні умови на внутрішній L_1 і зовнішній L_2 границях досліджуваної області Ω прийнято такими:

$$\sigma_r |_{L_1} = \varphi_1(\theta); \quad \tau_{r,\theta} |_{L_1} = \varphi_2(\theta); \quad (2)$$

$$U |_{L_2} = \psi_1(\theta); \quad V |_{L_2} = \psi_2(\theta). \quad (3)$$

Вздовж межі L розділу областей Ω_1 і Ω_2 , для визначення форми якої на основі умови пластичності Сен-Венана сформульовано і розв'язано окрему задачу, повинні виконуватись умови:

$$\sigma_r^{(1)} |_L = \sigma_r^{(2)} |_L; \quad \tau_{r,\theta}^{(1)} |_L = \tau_{r,\theta}^{(2)} |_L; \quad \sigma_\theta^{(1)} |_L = \sigma_\theta^{(2)} |_L, \quad (4)$$

де $\sigma_r^{(1)}$, $\sigma_\theta^{(1)}$, $\tau_{r,\theta}^{(1)}$ та $\sigma_r^{(2)}$, $\sigma_\theta^{(2)}$, $\tau_{r,\theta}^{(2)}$ - напруження відповідно в областях Ω_1 і Ω_2 .

Після розв'язування системи рівнянь (1) з урахуванням граничних умов (2)-(4) одержано аналітичні залежності для визначення компонента тензора напружень.

Радіальні σ_r та колові σ_θ напруження визначаються формулами:

$$\sigma_r = 2G \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{Re} \left\{ a_m^k h^2 [\delta(\beta_k) \cos(m\theta) + \rho \sin(m\theta)] I_m'(\beta_k r) - 2\nu m \times \right. \right. \quad (5)$$

$$\left. \left. \times \cos(m\theta) I_n(\beta_k r) \right\} + r^2 n b_m^k \left[I_m'(\lambda_k r) / r - I_m(\lambda_k r) / r^2 \right] \cos(k\pi\rho) \right\} \cos(m\theta);$$

$$\sigma_\theta = 2G \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{Re} \left\{ -2\mu m a_m^k \cos(m\theta) I_m(\beta_k r) + h^2 a_m^k [\rho \sin(m\theta) + \delta(\beta_k) \cos(m\theta)] \times \right. \right. \quad (6)$$

$$\left. \left. \times \left[I_m'(\beta_k r) - m^2 I_m(\beta_k r) / r \right] / r \right\} + \right.$$

$$\left. + m h^2 b_m^k \cos(k\pi\rho) \left[I_m(\lambda_k r) / r^2 - I_m'(\lambda_k r) / r \right] \right\} \cos(m\theta),$$

де G - модуль зсуву; r - радіус, що знаходиться в межах $R_1 < r < R_2$; h - елемент довжини свердловини; $I_m(\beta_k r)$ - модифікована функція Бесселя; a, b - безрозмірні коефіцієнти, які залежать від спектральних параметрів.

На основі одержаних аналітичних залежностей проведено розрахунки радіальних і колових напружень, що виникають в породі на стінках стовбура свердловини при значеннях зенітного кута в межах від 45° до 90° з інтервалом 5° , оскільки аналізом промислових досліджень встановлено, що аварії і ускладнення відбуваються за великих значень зенітного кута (вище 50°).

Результати теоретичних досліджень зображено на рисунку 1. З рисунку 1 видно, що із зміною зенітного кута від 45 до 65 градусів спостерігається інтенсивне зростання колових напружень в породі, досягаючи максимуму при значеннях 64° - 67° , а після даного інтервалу спостерігається зменшення значень колових напружень.

Радіальні напруження зі зміною зенітного кута зростають більш плавно, досягаючи максимальних значень в інтервалі 60° - 70° .

З аналізу одержаних результатів теоретичних досліджень випливає, що колові σ_{θ} і радіальні σ_r напруження набувають максимальних значень при величині зенітного кута 64° - 67° , в межах якого існує висока ймовірність руйнування стінок стовбура свердловини при бурінні нестійких гірських порід.

З метою підтвердження результатів теоретичних досліджень проведено експериментальні дослідження концентрації напружень методом двовісного стиску на зразках гірської породи циліндричної форми з різними кутами залягання (різними зенітними кутами стовбура свердловини відносно горизонтально розміщеного пласта) в межах від 45° до 90° з інтервалом 15° . Вздовж бічної поверхні досліджуваного зразка у профрезерованих канавках наклеювалися за спеціальною схемою тензометричні давачі, показники деформації яких реєструвалися тензометричною станцією ТОПАЗ-3М. Результати експериментальних досліджень зображено на рисунку 2.

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, встановлено, що максимальні значення колових σ_{θ} та радіальних σ_r напружень виникають за значень кута зустрічі породоруйнівного інструменту з гірською породою в межах 64° - 67° . Таким чином, результати теоретичних досліджень добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень.

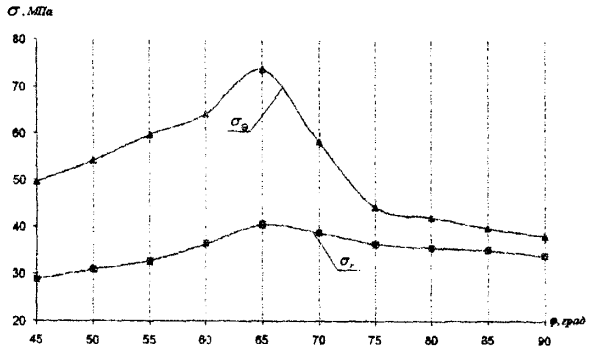


Рисунок 1 - Залежність колових σ_{θ} і радіальних σ_r напружень від значень зенітного кута

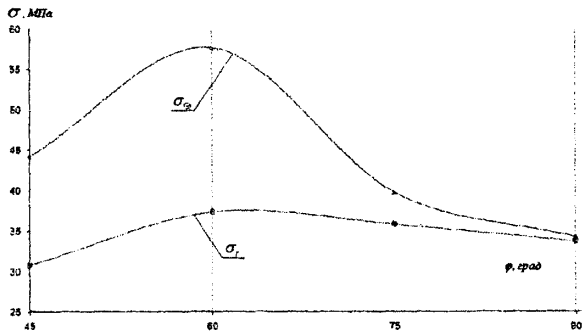


Рисунок 2 - Експериментальні залежності колових σ_{θ} і радіальних σ_r напружень від значень зенітного кута

Для перевірки одержаних результатів досліджень щодо впливу зенітного кута на стійкість стінок свердловини в інтервалі залягання нестійких порід, проведено експериментальні дослідження механічних властивостей методом одновісного стиснення на циліндричних зразках, виготовлених із керна під різними кутами нашарування гірської породи з кроком 15° від 0° до 90° . Результати експериментальних досліджень наведено на рисунку 3.

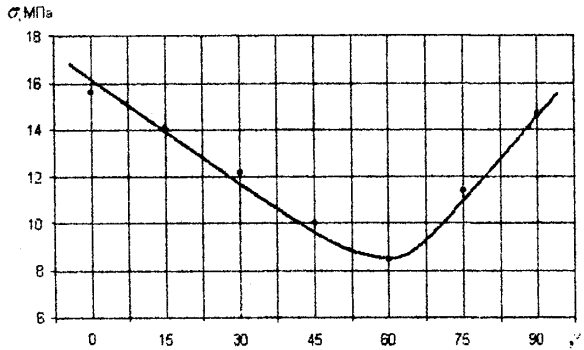


Рисунок 3 - Залежність міцності гірської породи від кута залягання

За результатами досліджень руйнування гірських порід встановлено, що межа міцності анізотропних гірських порід залежить від кута залягання породи. Так, при куті 0° межа міцності становить 16 МПа, у міру збільшення кута залягання від 0° до 60° межа міцності зменшується до 8,6 МПа, а далі знову зростає, набуваючи при куті 90° максимального значення.

Таким чином, результатами експериментальних досліджень підтверджено теоретичні висновки стосовно наявності критичних значень зенітного кута в діапазоні 64° – 67° , при яких існують передумови втрати стійкості стінок свердловини. Тому під час проектування профілю ПС і ГС необхідно виходити з того, що величина зенітного кута нахилу свердловини в інтервалі залягання нестійких порід повинна знаходитись поза межами критичного значення.

Для підтвердження достовірності результатів теоретичних і експериментальних досліджень проведено промислові дослідження впливу зенітного кута та інтенсивності викривлення стовбура на стійкість стінок свердловини при бурінні в нестійких породах. Дослідження проводились під час будівництва свердловини №545-Бугруватівська, профіль якої приведено на рисунку 4.

Буріння свердловини №545 характеризувалось низкою ускладнень і аварій, спричинених осипанням та обвалуванням її стінок.

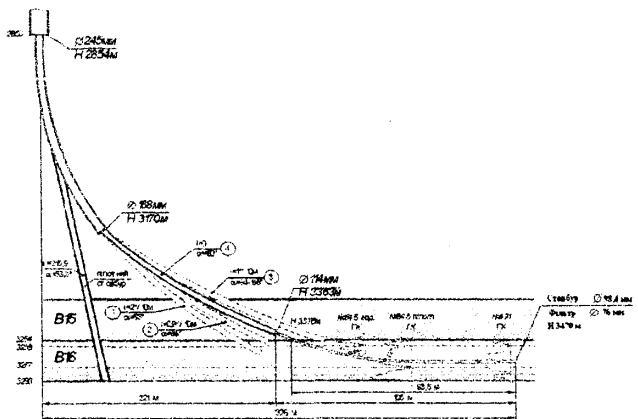


Рисунок 4 - Профіль свердловини № 545 Бугруватівського родовища

Всього пробурено чотири стовбури, три з яких були втрачені через обвалювання стінок свердловини. Аналіз аварій і ускладнень при бурінні трьох стовбурів виявив, що аварії у всіх стовбурах відбулися при проходженні інтервалу 3220+3260 м горизонту нестійких гірських порід, практично при однакових значеннях зенітного кута $65^{\circ}\pm 68^{\circ}$ та інтенсивності викривлення стовбура $i \approx (3,5\pm 4)^{\circ}/10\text{м}$.

Те саме відбувалося і під час буріння двох похило-скерованих стовбурів свердловини № 553 на цьому ж родовищі за сервісного супроводу фірми «Шломберже». Буріння двох стовбурів супроводжувалось постійними проробками стовбура свердловини, посадками та затягуваннями бурового інструменту, і при досягненні зенітного кута від $64,3^{\circ}$ до $66,8^{\circ}$ за інтенсивності викривлення стовбура свердловини $i \approx (3,5\pm 4)^{\circ}/10\text{м}$ внаслідок осипання та обвалювання стінок свердловини відбулося прихоплення інструменту з втратою циркуляції промивальної рідини.

На основі аналізу результатів теоретичних, експериментальних і промислових досліджень скориговано траєкторію четвертого стовбура свердловини №545 таким чином, що буріння горизонту нестійких гірських порід проходило нижче значень критичного кута $64^{\circ}\pm 67^{\circ}$ із мінімальною інтенсивністю викривлення стовбура $i \approx 1^{\circ}/10\text{м}$, що забезпечило успішне буріння четвертого стовбура даної свердловини. Одержані результати досліджень лягли в основу удосконалення технології буріння ПС і ГС у нестійких гірських породах.

Одним з основних чинників, що впливають на стійкість стовбурів свердловин ПС і ГС, є технологія їх промивання. На основі теоретичних досліджень взаємодії потоку промивальної рідини зі стінками свердловини одержано аналітичні залежності з визначенням сил нормального тиску, які створюються потоками промивальної рідини в колоні бурильних труб та затрубному просторі свердловини. Встановлено, що сумарний тиск на стінку свердловини, який виникає внаслідок взаємодії потоків промивальної рідини, призводить до деформування гірської породи. Із збільшенням інтенсивності викривлення стовбура збільшується ступінь деформування породи та, відповідно, ймовірність порушення стійкості стінок свердловини. Отже, з метою збереження стійкості стінок свердловин у нестійких відкладах їх розкриття необхідно проводити з мінімальною інтенсивністю викривлення стовбура.

Практика показала, що проблеми, притаманні бурінню ПС і ГС, такі як стійкість гірських порід, винесення шлама на поверхню, накопичення шару осаду та утворення дюн на нижній стінці свердловини, не можуть бути вирішені при використанні традиційних глинистих промивальних рідин.

Для вирішення цих проблем удосконалено рецептуру безглинистої промивальної рідини «БЮКАР», що є колоїдним розчином розгалужених полісахаридних полімерів з яскраво вираженими псевдопластичними властивостями (рисунок 5), наявністю миттєвої тиксотропної структури і відсутністю серед складників активного глинистого компонента. Реологічні властивості системи «БЮКАР» забезпечують ефективне очищення вибою свердловини, причому гідравлічне тертя та робочі тиски залишаються на значно нижчому рівні, ніж у випадку застосування глинистих промивальних рідин.

Як видно з одержаних аналітичних залежностей, це сприяє зменшенню ступеня деформації породи внаслідок послаблення силової дії на стінку свердловини в місцях її локального викривлення. Важливим чинником уникнення ускладнень та забезпечення високої якості розкриття пластів є обмеження фільтрації через пористе середовище гірських порід. В системі безглинистих промивальних рідин це досягається завдяки застосуванню спеціальних реагентів-блокаторів – мармурової крихти, розмір часток якої підбирається відповідно до розмірів пор колектора (рисунок 6). При цьому ефективно блокування каналів фільтрації відбувається лише у вузькому діапазоні співвідношень між їх розмірами та розмірами часток блокаторів. Як бачимо, в умовах українських родовищ, що є неоднорідними за глибиною та простиланням, підбір оптимального гранулометричного складу блокаторів є практично неможливим і малоефективним.

Ефективне ізолювання каналів фільтрації колекторів із застосуванням промивальної рідини «БІОКАР» відбувається внаслідок запропонованого використання композитних блокаторів, що містять у своєму складі як жорсткі кольматанти – мелену мармурову крихту, так і пружні органічні матеріали рослинного походження.

При композитному використанні пружні і жорсткі блокатори доповнюють один одного, що дає змогу незалежно від ємнісно-фільтраційних властивостей колекторів створювати міцний і еластичний кольмататійний шар незначної товщини (рисунок 6).

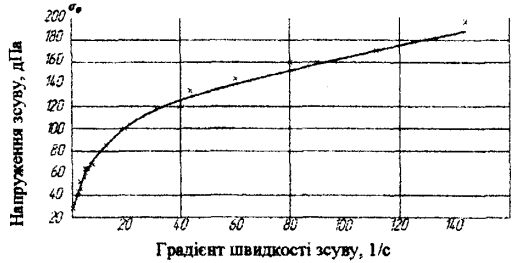
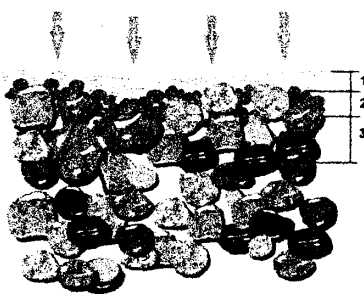


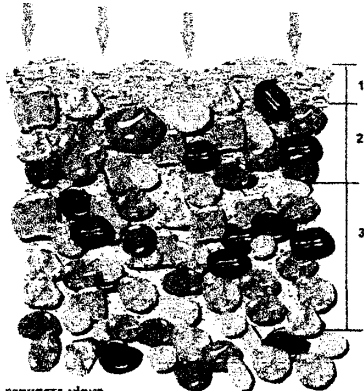
Рисунок 5 – Реологічна характеристика промивальної рідини «БІОКАР»

Безглинистий біоплімерний розчин



- 1 - зовнішній шар полімеру
- 2 - зовнішній кольмататійний шар
- 3 - внутрішній кольмататійний шар (зона проникнення)

Полімер-глинистий буровий розчин



- 1 - глиниста кірка
- 2 - зона кольмататів
- 3 - зона проникнення

Рисунок 6 – Схема утворення зон пониженої проникності в поровому середовищі колекторів при їх розкритті розчинами різних типів (зони 1, 2 і 3)

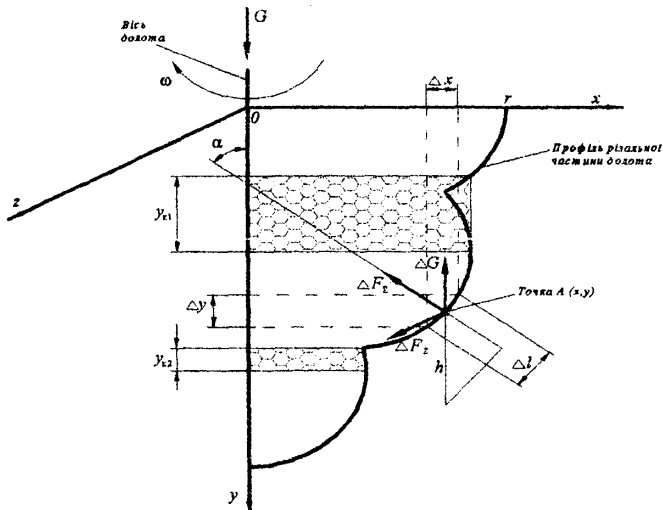
Проведеними лабораторними дослідженнями підтверджена універсальність дії композитного блокатора як на модельних піщаних фільтрах різної проникності, так і на реальному керновому матеріалі. Визначено типи та оптимальні співвідношення вмісту в розчині жорстких і пружних кольматантів. При застосуванні композитних блокаторів промивальна рідина «БЮКАР» забезпечує відновлення проникності колекторів на рівні 92,5-93,9% (дослідження Інституту нафти і газу, м. Краків, Польща).

Промисловими випробуваннями промивальної рідини «БЮКАР» підтверджено результати експериментальних досліджень та доведено її високу ефективність в процесі буріння ПС і ГС та розкритті продуктивних горизонтів на родовищах України.

Четвертий розділ присвячено дослідженню умов роботи та розробленню наукових положень і принципів створення і удосконалення породоруйнівних та опорно-центруючих інструментів, обов'язкових та спеціальних елементів КНБК, їх взаємного розміщення в КНБК та моделюванню зусиль, що діють на ці елементи.

Виявлено, що для підвищення ефективності буріння ПС і ГС із застосуванням гвинтових вибійних двигунів слід розробити конструкцію породоруйнівного інструменту різальної дії з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід із застосуванням математичного моделювання.

В основу математичної моделі покладено взаємодію озброєння долота різальної дії з гірською породою під дією осьового навантаження і крутного моменту. Розрахункова схема для побудови математичної моделі наведена на рисунку 7.



$f(x)$ — функція, що описує профіль різальної частини інструменту; $\Psi(x)$ — функція, що визначає кількість різців на одиницю довжини різальної кромки та характеризує розміщення різальних елементів на робочій частині долота; r — радіус долота; G — осьове навантаження на породоруйнівний інструмент; ω — кутова швидкість обертання долота; Δl — довжина малої ділянки робочої кромки різця; α — кут між нормаллю до Δl і віссю обертання долота; ΔF_z — складова сили різання вздовж осі z ; ΔF_R — сила реакції з боку гірської породи; ΔF_C — складова сили різання по нормалі до Δl .

Рисунок 7 – Розрахункова схема до побудови математичної моделі

Одержано аналітичні залежності для розрахунку механічної швидкості, питомої об'ємної роботи руйнування гірської породи і крутного моменту.

Прогнозне значення крутного моменту на долоті визначається із залежності:

$$M = \frac{k_{c_2} \omega^b G \int x^{b+1} \left[\Psi(x) \sqrt{1 + f^2(x)} \right]^{1-a} dx}{I_1 + k_a \omega^b I_2}, \quad (7)$$

де k_a, k_{c_2} - коефіцієнти пропорційності; a і b - показники степеня; I_1, I_2 - умовні позначення заданих виразів:

$$\int \Psi(x)^{1-a} [1 + f^2(x)]^{(1-a)/2} dx = I_1, \\ \int \Psi(x)^{1-a} [1 + f^2(x)]^{(1-a)/2} x^b dx = I_2.$$

Прогнозне значення механічної швидкості v_m :

$$v_m = \frac{\omega}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{k_R (I_1 + k_a \omega^b I_2)}}, \quad (8)$$

де k_R - коефіцієнт пропорційності.

Прогнозне значення питомої об'ємної роботи руйнування A_v визначається за формулою:

$$A_v = \frac{4\pi k_{c_2} \omega^b G \int x^{b+1} \left[\Psi(x) \sqrt{1 + f^2(x)} \right]^{1-a} dx}{(I_1 + k_a \omega^b I_2)^{\frac{1}{a}} \left(\frac{G}{k_R} \right)^{\frac{1}{a}} r^2}. \quad (9)$$

З метою визначення величини енергетичних параметрів роботи бурових доліт з полікристалічними алмазними різцями (ПАР) проведені з використанням математичного моделювання, попереднього дослідження трьох базових конструкцій – плоскої, зворотньо-конусної та еліптичної (остання є найбільш поширеною з умови зносостійкості) та запропонованої (кругло-ступінчастої) конструкції різальної частини.

Аналіз даних розрахунку прогнозних значень параметрів роботи доліт з дослідними профілями різальної частини, одержаних на основі вище наведених залежностей при осьовому навантаженні $G = 25 \text{ кН}$ та частоті обертання $\omega = 2c^{-1}$, показав, що найбільші значення механічної швидкості забезпечує долото з плоским профілем лопатей, а найменші – з еліптичним. Механічна швидкість v_m для першого варіанту профілю на 12% більша, ніж другого. Найбільші значення крутного моменту і енергоємності буріння має долото з еліптичним профілем лопатей, найменші - з плоским. Величини M і A_v для еліптичного (традиційного) профілю різальної частини відповідно в 1,3 і 1,5 рази більші, ніж для плоского. Породоруйнівний інструмент з плоским профілем різальної частини має пониженою зносостійкістю внаслідок обмеженої площі для розміщення достатньої кількості озброєння, яке формує вибій свердловини.

Запропонована математична модель дозволяє розрахувати прогнозні значення технічних і енергетичних показників роботи доліт різальної дії з різною формою робочої поверхні різальної частини та оптимізувати їх форму для різних умов і задач буріння. Визначення дійсних значень коефіцієнтів k_R, k_C, k_{C_2} та показників ступеня

a і b проведено на основі експериментальних досліджень моделей доліт на натурних зразках порід (розділ 5).

Важливим питанням є вирішення проблеми забезпечення управління траєкторією свердловини при одночасному виконанні спеціальних робіт в процесі буріння ПС і ГС суцільним і кільцевим вибоями.

В процесі буріння з відбором керна в ПС і ГС, особливо при великій протяжності горизонтальних ділянок стовбура, виникає проблема стабілізації зенітного кута осі свердловини, що вимагає розроблення ефективних стабілізуючих компоновок низу бурильної колони, оскільки в існуючих математичних моделях не враховано наявність телеметричної системи, що унеможливило спостереження за значенням зенітного кута в процесі буріння.

В зв'язку з цим, розроблено математичну модель конструкції бурильної колони для відбору керна в ПС і ГС, в компоновку якої включено телеметричну систему «ГУОБИТ-172», що монтується після гідравлічного вибійного двигуна (ГВД) Д-172. Розрахункова схема математичної моделі наведена на рисунку 8.

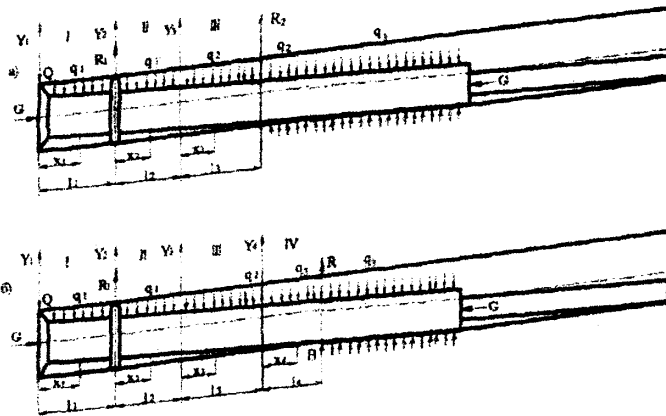


Рисунок 8 - Розрахункова схема до розв'язання задачі з визначення поперечних зусиль

Для випадку, коли колона лягає на стінку свердловини ГВД, диференціальне рівняння пружної лінії колони на I, II, III ділянках записуються так:

$$EI_1 \frac{d^2 y_1^2}{dx_1^2} = -Gy_1 - Qx_1 - \frac{1}{2} q_1 x_1^2, \quad (10)$$

$$EI_1 \frac{d^2 y_2^2}{dx_2^2} = -Gy_2 - Q(l_1 + x_2) + R_1 x_2 - \frac{1}{2} q_1 (l_1 + x_2)^2, \quad (11)$$

$$EI_2 \frac{d^2 y_3^2}{dx_3^2} = -Gy_3 - Q(l_1 + l_2 + x_3) - q_1 (l_1 + l_2) \left(\frac{l_1 + l_2}{2} + x_3 \right) + R_1 (l_2 + x_3) - \frac{1}{2} q_2 x_3^2. \quad (12)$$

Граничні умови на кінцях і в точках спряження ділянок:

$$y_1 \Big|_{x_1=0} = 0; \quad \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} \Big|_{x_1=0} = 0; \quad (13)$$

$$y_1 \Big|_{x_1=\ell_1} = -r_1; \quad y_2 \Big|_{x_2=0} = -r_1; \quad (14)$$

$$\frac{dy_1}{dx_1} \Big|_{x_1=\ell_1} = \frac{dy_2}{dx_2} \Big|_{x_2=0}; \quad (15)$$

$$y_2 \Big|_{x_2=\ell_2} = y_3 \Big|_{x_3=0}; \quad \frac{dy_2}{dx_2} \Big|_{x_2=\ell_2} = \frac{dy_3}{dx_3} \Big|_{x_3=0}; \quad (16)$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} \Big|_{x_3=\ell_3} = 0; \quad \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} \Big|_{x_3=\ell_3} = 0; \quad (17)$$

$$y_3 \Big|_{x_3=\ell_3} = -r_2. \quad (18)$$

Розв'язуючи залежності (10)-(12) з врахуванням граничних умов (13)-(18), одержуємо систему алгебраїчних рівнянь для визначення довільних сталих, невідомих реакцій і довжини. Для розв'язання цієї системи рівнянь розроблено комп'ютерну програму.

Підставляючи чисельні значення для різних типів КНБК, визначасмо залежності між техніко-технологічними чинниками.

У випадку, коли компоновка дотикається до стінки свердловини в точці В телеметричною системою, яка розташована за гвинтовим вибійним двигуном, розрахункова схема має 4 ділянки (рис. 8, б). Диференціальні рівняння і їх розв'язок для I, II, III ділянок залишаються без змін.

Для IV ділянки диференціальне рівняння пружної осі колони має вигляд:

$$EI_3 \frac{d^2 y_4^2}{dx_4^2} = -Gy_4 - Q(l_1 + l_2 + l_3 + x_3) + R_1(l_2 + l_3 + x_4) - \\ - q_1(l_1 + l_2) \left(\frac{l_1 + l_2}{2} + l_3 + x_4 \right) - q_2 l_3 \left(\frac{l_3}{2} + x_4 \right) - \frac{q_3 x_4^2}{2} + R_2 x_4, \quad (19)$$

де EI_3 - жорсткість телеметричної системи, яка входить в компоновку;

q_3 - поперечна складова від ваги одиниці довжини телеметричної системи;

l_3 - довжина гвинтового вибійного двигуна;

R_1, R_2 - реакції стінки свердловини відповідно в точці дотику з центратором і з гвинтовим вибійним двигуном;

l_4 - відстань від початку телеметричної системи до точки дотику її із свердловиною.

Граничні умови (13)-(18) залишаються без змін, а додаткові умови записуються так:

$$y_3 \Big|_{x_3=\ell_3} = -r_2; \quad y_4 \Big|_{x_4=0} = -r_2; \quad (20)$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} \Big|_{x_3=\ell_3} = \frac{dy_4}{dx_4} \Big|_{x_4=0} = 0; \quad (21)$$

$$\left. \frac{dy_4}{dx_4} \right|_{x_4=l_4} = 0;$$

$$\left. \frac{d^2 y_4}{dx_4^2} \right|_{x_4=l_4} = -r_3, \quad (22)$$

$$y_4(l_4) = -r_3, \quad (23)$$

де r_3 - радіальний зазор між трубами і стінкою свердловини.

Підставляючи граничні умови, одержимо систему алгебраїчних рівнянь для визначення довільних сталих, невідомих реакцій і відстані від початку телеметричної системи до точки дотику її з свердловиною. Задавшись одержаними значеннями, розв'язуємо лінійну систему рівнянь.

Одержані аналітичні залежності та методика розрахунку раціональних компоновок визначають місце встановлення центратора для забезпечення стабілізації зенітного кута в процесі буріння ПС і ГС з відбором керна.

На основі аналізу результатів промислових даних встановлено, що за великих значень зенітного кута стовбура свердловини існуючі вітчизняні і зарубіжні технічні засоби не забезпечують необхідних показників по виходу керна. Ресурс керноприймального пристрою залежить від працездатності кулькової підвіски та пристроїв для відбору і утримування керна. На підвіску керноприймального пристрою в процесі буріння діють осеві та радіальні навантаження, які виникають при терті зразка керна до стінок керноприймальної труби, а їх величина зростає зі збільшенням зенітного кута свердловини. Згинальні навантаження спричинюють перекіс упорних підшипників кулькової підвіски, що призводить до руйнування або зменшення терміну служби вузла загалом.

Конструкції керноприймальних пристроїв для відбору керна в ПС і ГС повинні забезпечувати можливість вільного проходження компоновки бурильного інструменту в свердловині з різними радіусами викривлення стовбура, а деталі та вузли керноприймального пристрою – ефективне центрування керноприймального пристрою в корпусі. З умови вписування в криволінійну траєкторію стовбура свердловини, довжина керноприймального пристрою повинна бути обмежена.

Відповідно до вказаних особливостей і умов роботи з використанням спеціальних стендів і методик нами було досліджено і запропоновано такі принципи рішення:

- зменшення загальної довжини керноприймального пристрою за рахунок зменшення довжин і суміщення функцій окремих вузлів;
- центрування керноприймальної труби знімними підшипниками, які розташовуються на розрахункових позиціях;
- розроблення способів і конструктивних рішень для орієнтованого відбору керна (наприклад, застосування розрізної різномасової або біметалічної керноприймальної труби тощо);
- удосконалення відповідно до умов роботи окремих вузлів і деталей керноприймальних пристроїв.

Ці технічні рішення було реалізовано шляхом розробки і виготовлення багатьох варіантів конструкцій вузлів і деталей керноприймальних пристроїв для відбору керна в ПС і ГС.

Удосконалені кулькові підвіски, розрізні біметалічні керноприймальні труби, знімні центруючі підшипники керноприймальних труб, керновідривачі з



удосконаленими конструкціями елементів, а також всі інші запропоновані елементи керноприймальних пристроїв для відбору керна в ПС і ГС в різному поєднанні успішно пройшли помислові випробування та забезпечили якісний відбір керна на родовищах ОАО "Татнефть" та ПАТ "Укрнафта".

Промисловими дослідженнями встановлено, що ефективність буріння ПС і ГС суттєво залежить від доведення до долота ефективного осьового навантаження. Для розрахунку ефективного осьового навантаження, яке передається на долото, запропонована схема компоновки низу бурильної колони (рисунок 9), яка складається з долота 1, лопатевого спірального калібратора 2, гвинтового двигуна 3, телеметричної системи 4, бурильних труб 5 і опорно-центруючих перехідників ексцентричної форми 6.

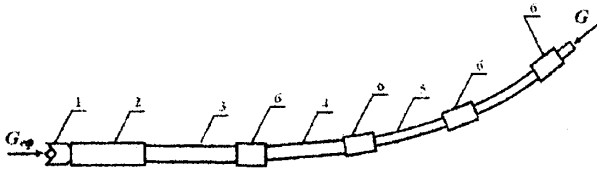


Рисунок 9 - Схема компоновки бурильної колони.

Інтенсивність викривлення свердловини задається в межах від одного до трьох градусів на 10 метрів. Верхня частина компоновки низу бурильної колони стискається обважненими бурильними трубами, які створюють осьову силу G .

Задача зводиться до визначення ефективної сили $G_{\text{эф}}$, яка передається долотом на вибій свердловини при відомій осьовій силі створеній компоновкою бурильної колони. Розрахункова схема дії сил при згинанні колони в свердловині зображена на рисунку 10.

Бурильна колона розбивається на ділянки, які являють собою прямолінійні стрижні, що шарнірно дотикаються до стінок свердловини в точках, де знаходяться опорно-центруючі елементи. До першої ділянки OO_2 відноситься калібратор OO_1 і гвинтовий двигун O_1O_2 . До другої ділянки O_2O_3 , яка утворює кут β з ділянкою O_1O_2 , відноситься телеметрична система. Третя

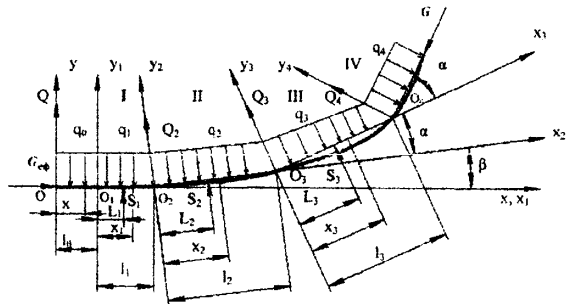


Рисунок 10 - Розрахункова схема дії сил при згинанні колони в свердловині.

та всі наступні ділянки - бурильні труби, причому кожна наступна ділянка утворює з попередньою кут α . Введемо такі позначення: q_0, q_1, q_3, q_4 - відповідно поперечна складова від ваги одиниці довжини калібратора, гвинтового двигуна, телеметричної системи і бурильних труб; Q_1, Q_2, Q_3 - поперечні реакції на долоті і на опорно-центруючих елементах; S_1, S_2, S_3 - реакції стінки свердловини в точках її контакту відповідно з 1, 2, 3 ділянками колони; l_0, l_1, l_2, l_3 - довжини калібратора, гвинтового двигуна, телеметричної системи, бурильних труб.

Розглянемо ділянку II – від точки O_2 до точки дотику колони з свердловиною. Диференціальне рівняння пружної лінії має вигляд:

$$EJ \frac{d^2 y_1}{dx_2^2} = -G_2 y_2 + Mo_2 + Q_2' x_2 - \frac{q_2 x_2^2}{2}, \quad (24)$$

де G_2, Q_2', Mo_2 , - відповідно осьова сила, поперечна сила і згинаючий момент на початку другої ділянки.

Інтегруючи (24), маємо:

$$y_2(x_2) = a_2 \sin k_2 x_2 + b_2 \cos k_2 x_2 + c_2 x_2 + \frac{1}{G_2} \left(-\frac{q_2 x_2^2}{2} + \frac{q_2}{k_2^2} + Mo_2 \right), \quad (25)$$

де a_2, b_2, c_2 – нові довільні сталі; $k_2 = \sqrt{\frac{G_2}{EJ}}$; $c_2 = \frac{Q_2'}{G_2}$.

Граничні умови:

$$\left. \begin{array}{l} \text{якщо } x_2 = 0, \text{ то } y_2 = 0, y_2' = \theta = y_1'(l_1) - \beta \\ \text{якщо } x_2 = L_2, \text{ то } y_2 = -r_1, y_2' = 0 \end{array} \right\} \quad (26)$$

На основі граничних умов, отримаємо систему чотирьох алгебраїчних рівнянь для визначення невідомих a_2, b_2, c_2 і довжини L_2 :

$$\left. \begin{array}{l} b_2 + \frac{q_2}{G_2 k_2^2} + \frac{Mo_2}{G_2} = 0 \\ a_2 k_2 + c_2 = \theta \\ a_2 k_2 \cos k_2 L_2 - b_2 k_2 \sin k_2 L_2 + c_2 = \frac{q_2 L_2}{G_2} \\ a_2 \sin k_2 L_2 + b_2 \cos k_2 L_2 + c_2 L_2 + \frac{1}{G_2} \left(-\frac{q_2 L_2^2}{2} + \frac{q_2}{k_2^2} + Mo_2 \right) = -r_1 \end{array} \right\} \quad (27)$$

Після цього розглядаємо ділянку II – від точки дотику телеметричної системи до точки O_3 .

Диференціальне рівняння пружної лінії колони матиме вигляд:

$$EJ \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -G_2 y_2 + Mo_2 + Q_2' x_2 - \frac{q_2 x_2^2}{2} + S_2 (x_2 - L_2). \quad (28)$$

Інтегруючи (28), маємо:

$$y_2(x_2) = a_3 \sin k_2 x_2 + b_3 \cos k_2 x_2 + \frac{1}{G_2} \left[S_2 (x_2 - L_2) - \frac{q_2 x_2^2}{2} + \frac{q_2}{k_2^2} + Q_2' x_2 + Mo_2 \right], \quad (29)$$

де a_3, b_3 - довільні сталі.

Граничні умови:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } x_2 = L_2 \quad y_2(L_2) = -r_1, \quad y_2'(L_2) = 0 \\ \text{при } x_2 = l_2 \quad y_2 = 0 \end{array} \right\} \quad (30)$$

Підставляючи (29) в (30), одержимо лінійну систему трьох алгебраїчних рівнянь, з якої визначаємо невідомі a_3, b_3 та S_2 . З побудованої епюри пружної лінії колони на ділянці II, випливає, що колона має з свердловиною тільки одну точку контакту, що підтверджує достовірність попереднього розрахунку.

Аналогічно записуються рівняння для інших ділянок. Для розв'язання системи рівнянь розроблено комп'ютерну програму, за якою визначаються всі сили і реакції на наступних ділянках.

В таблиці 1 наведено результати розрахунку величини осьової сили на початку кожної ділянки.

Таблиця 1 - Значення осьової сили в залежності від компоновки колони

№ ділянки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Зенітний кут , град	90	89,13	86,7	84,27	81,84	79,41	76,98	74,55	72,12	69,69	67,26	64,83	62,4	59,97	57,54	55,11	52,68	50,25	47,82	45,39
G_z , кН	78,48	78,88	80,57	81,11	81,53	81,84	82,02	82,07	82,01	81,82	81,5	81,07	80,51	79,83	79,04	78,12	77,09	75,95	74,7	73,33

Аналізуючи результати розрахунків встановлено, що осьова сила в напрямку з 1-ї до 7-ї ділянки G_z зростає, а далі спадає. Це пов'язано з тим, що з 1-ї до 7-ї ділянки рівнодійна сил тертя на кожній ділянці перевищує рівнодійну осьових сил на цій ділянці, а з 8-ї по 20-ту ділянку, навпаки – сили тертя зменшуються, а осьові сили збільшуються.

За допомогою розробленої комп'ютерної програми визначається $G_{оп}$ і оптимальні значення зенітного кута.

У п'ятому розділі подаються результати експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів на роботоздатність запропонованих породоруйнівних інструментів різальної дії, елементів КНБК для буріння ПС і ГС, а також експериментальне визначення величин емпіричних коефіцієнтів для математичної моделі визначення раціональної форми ріжучої поверхні лопатевого долота.

Для підвищення ефективності буріння ПС і ГС із застосуванням гвинтових вибійних двигунів запропоновано ексцентричне одношарошкове долото (рисунк 11). Долото складається з ніпеля 1, цапфи 2, на якій за допомогою двох кулькових підшипників 28 встановлено шарошку 11, що виконана у вигляді частини кулі з нижньою і верхньою основами. Діаметр нижньої основи є найбільшим діаметром шарошки і по периферії цієї основи розміщено твердосплавні зубки Г-подібної форми Г-25 діаметром 5x7 мм з однаковою відстанню між ними. Під час збирання долота кульки закладаються у підшипник через спеціальний отвір, який закривається пальцем б і фіксується штифтом 10. Ніпель з цапфою з'єднується за допомогою гайок. Крутний момент передається за допомогою шпонок 15, що

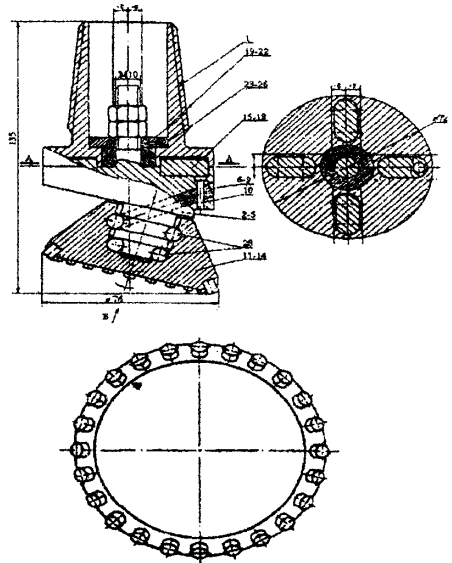


Рисунок 11 - Експериментальний взірець одношарошкового долота

закладаються в пази ніпеля і цапфи. Ексцентричні кільця 19 і 22 забезпечують потрібну величину зміщення осі шарошки відносно осі долота. Варіанти виготовлення дослідних взірців передбачали виконання шарошок з одним і двома вінцями озброєння, а також виготовлення цього озброєння як шляхом армування твердосплавними зубками, так і монтажем грифельних вставок.

Проведено експериментальні дослідження конструктивних параметрів збірно-розбірної моделі одношарошкового долота різальної дії: зміщення осі шарошок (e); кута нахилу осі шарошки (ϕ); кількості зубків в кожному вінці шарошки та кількості вінців озброєння на шарошці проведено на спеціально розробленому стенді СПБ-1.

На основі результатів експериментальних досліджень взірців одношарошkových доліт різальної дії з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід визначено залежності передаточного числа шарошки, щільності збурення вибою озброєнням шарошки, середньої величини ковзання озброєння від відносного зміщення осі шарошки і долота. Встановлено, що при зміні відносного зміщення осі шарошки і долота $\frac{e}{R_d}$ в діапазоні $0,026 \div 0,237$ передаточне число

шарошки ($i_{ш} = \frac{n_{ш}}{n_0}$) зростає у $7,8 \div 36,5$ разів, а щільність збурення ρ збільшується для

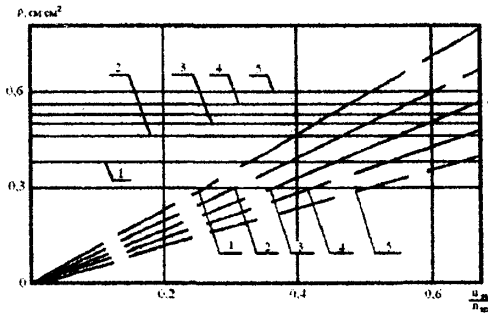
усіх ділянок вибою внаслідок збільшення величини ковзання окремого зубка на вибої. При збільшенні кута ϕ між віссю шарошки і долотом з 5° до 15° передаточне число $i_{ш}$ зростає в 6 разів. Найбільше зношування зубків спостерігається на середній ділянці вибою і для підвищення зносостійкості породоруйнівного інструменту рекомендовано збільшення елементів озброєння на даній ділянці.

Оптимізація конструкції ексцентричного одношарошкового долота з метою забезпечення рівномірності збурення вибою і участі озброєння в його руйнуванні здійснюється за рахунок розміщення на периферійній частині шарошки додаткового вінця, що руйнує вибій та полегшує роботу його зубків за рахунок калібрування стовбура свердловини при безпосередньому наближенні до вибою або розміщенням вінців шарошки на різних рівнях таким чином, щоб вони формували ступінчастий вибій (центральна і периферійна ділянки якого руйнувались озброєнням периферійного, а середній - внутрішнього вінців). Для визначення раціонального співвідношення величини конструктивних параметрів ексцентричного шарошкового

долота побудовано номограму, що поєднує параметри ρ , $\frac{n_{ш}}{n_m}$ і $\frac{e}{R_d}$, де $n_{зп}$ - кількість елементів озброєння внутрішніх вінців; $n_{зп}$ - кількість елементів озброєння периферійних вінців (рисунок 12).

За номограмою визначається раціональне співвідношення параметрів $\frac{n_{ш}}{n_m}$ і $\frac{e}{R_d}$ породоруйнівного інструменту.

З врахуванням вказаних результатів досліджень розроблено і виготовлено дослідні партії конструкцій шарошkových бурових доліт різальної дії, які успішно випробувані в процесі буріння ПС і ГС з використанням гвинтових вибійних двигунів.



e : 1 - 0,026; 2 - 0,079; 3 - 0,132; 4 - 0,184; 5 - 0,237.

R_d
 — — — — — периферійний вінець,
 - - - - - внутрішній вінець.

Рисунок 12 - Номограма для визначення параметрів відносного зменшення осей шарошки і співвідношення кількості елементів озброєння її віncів

В процесі промислового випробування дослідних взірців доліт було відмічено стабільність роботи вибійних двигунів, що позитивно вплинуло на технічні показники буріння.

Подальші експериментальні дослідження стосувалися оптимізації форми різальної поверхні лопатевих доліт, оснащених ПАР, з умов досягнення мінімальної енергоємності руйнування гірських порід, мінімальної моментоемності конструкції долота та зменшення коефіцієнта динамічності по крутному моменту. Метою досліджень було визначення величин емпіричних коефіцієнтів запропонованої математичної моделі розрахунку робочої поверхні лопатевого долота.

Для проведення експериментальних досліджень сконструйовано і виготовлено збірно-розбірне лопатеве долото діаметром 146 мм з чотирма варіантами комплектів лопатей з різними профілями різальної частини з умов формування вибою в осьовому січненні долота (плоского, обернено-конусного, еліптичного і кругло-ступінчастого). Долото складається з корпусу 1 з промивальним каналом 2 і лопаті 3 (рисунок 13). В кругло-ступінчастому варіанті різальна частина лопатей 3 виконана сполученими між собою ступінчастими сегментами 4. Точка сполучення 5 сусідніх сегментів розташована відносно осі обертання долота на відстані, меншій величини найбільших радіусів. Остання ступінь кожної лопаті переходить в калібрувальну поверхню 7. Різальна частина лопатей армована циліндричними породоруйнівними елементами 8. Конструкція долота передбачає встановлення 3, 6 та 12 лопатей кожного з 4-х варіантів. Згідно аналізу результатів теоретичних розрахунків, перевагами запропонованого кругло-ступінчастого профілю робочої частини долота є зменшення енергоємності руйнування породи та крутного

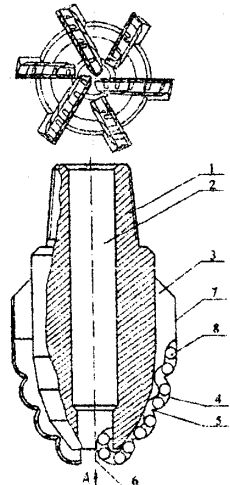


Рисунок 13 - Конструкція дослідного бурового долота з полікристалічними алмазними різцями

моменту на долоті за рахунок дискретного та зменшеного контакту бокової різальної поверхні кожної ступені зі стінкою свердловини.

Експериментальні дослідження проведено на вдосконаленому буровому стенді БШ-145 при використанні як вибою мармуру та цементних блоків.

У результаті проведених експериментальних досліджень отримано залежності енергетичних і динамічних параметрів буріння долотами з дослідними варіантами різальної частини від осьового навантаження й частоти обертання долота.

Результати експериментальних досліджень дослідних варіантів доліт при однаковому режимі буріння (осьове навантаження $G=25$ кН; кутова швидкість обертання $\omega = 2$ с⁻¹; витрата промивальної рідини $V_c=0,015$ м³/с, (вибій мармур) зображені на рисунку 14.

Аналізуючи одержані результати, встановлено, що:

- величина питомої об'ємної роботи руйнування для долота з плоским профілем різальної частини в 1,65 рази менша, ніж для долота з еліптичним профілем;

- найбільшу величину крутного моменту отримано для еліптичної форми лопатей, що в 1,33 рази відрізняється від плоскої;

- найвищу механічну швидкість буріння має долото з плоским, а найнижчу з еліптичним профілем різальної частини. Показник v_m для першого варіанту в 1,25 рази вищий, ніж для другого;

- найвищі значення коефіцієнта динамічності за складовою крутного моменту мають долота обернено-конусної та плоскої, найнижчі – еліптичної форм лопатей.

З метою порівняння умов роботи різців при заданих вище параметрах режиму буріння розраховано величини питомого навантаження G/a , питомої об'ємної роботи руйнування A_v та об'єму відділеної від вибою породи Q_v для кожного з дослідних варіантів доліт. На основі аналізу одержаних даних встановлено, що:

- найбільше навантаження зазнає різець в долоті з плоским, а найменше з кругло-ступінчастим та еліптичним профілями лопатей. Значення G/a для першого варіанту в 1,83 рази більші, ніж другого;

- при мінімальному навантаженні на різець в долоті еліптичного профілю найменший показник питомої об'ємної роботи руйнування отримано для породоруйнівного елемента в кругло-ступінчастій, а найбільший – в еліптичній формах робочої частини (співвідношення між ними становить 1,37);

- при мінімальному навантаженні на різець у досліджуваних долотах найбільший об'єм гірської породи відокремлюється від вибою за використання кругло-ступінчастої форми лопатей, що майже в 2 рази перевищує показник плоского профілю.

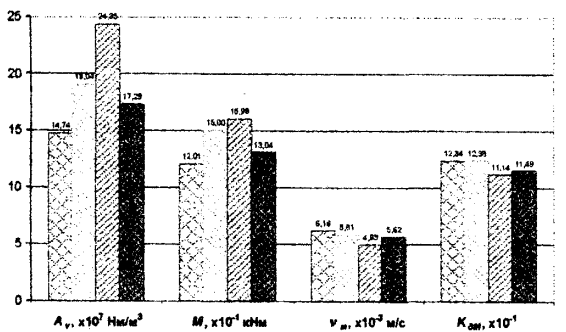


Рисунок 14 - Порівняння показників буріння дослідними варіантами доліт на мармурі

З викладеного випливає, що в процесі буріння порід середньої твердості з використанням гвинтових вибійних двигунів доцільно застосовувати кругло-ступінчасту форму лопатей, яка найбільш раціонально поєднує переваги плоскої (найменш енергоємної) і еліптичної (найбільш зносостійкої) форм.

Для порівняння енергетичних та динамічних параметрів роботи породоруйнівних інструментів з різним профілем лопатей при бурінні різних порід додатково проведено експериментальні дослідження з використанням як вибою цементних блоків. Параметри режиму буріння становили: осьове навантаження – 15 кН; кутова швидкість обертання – 2 с^{-1} ; витрата промивальної рідини – $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$; кількість лопатей – 12 шт.; число довань – не менше 3; проміжок часу реєстрації параметрів роботи – 40 с.

Порівняння енергетичних характеристик роботи доліт, що отримані в процесі буріння цементних блоків, свідчать, що найкращі показники має породоруйнівний інструмент з плоским і кругло-ступінчастим профілем різальної частини, а найгірші – з обернено-конусним і еліптичним. При цьому породоруйнівний інструмент з кругло-ступінчастою формою лопатей має в 1,25 рази вищий показник v_w/G , ніж еліптичною, і характеризується більшими значеннями відношення питомої об'ємної роботи руйнування (на 13%) і механічної швидкості буріння на величину осьового навантаження (на 9%), ніж породоруйнівний інструмент плоского профілю.

Отже, в породах низької і середньої твердості доцільно використовувати долота з кругло-ступінчастим профілем. В процесі буріння з вибійними гвинтовими двигунами ефективними є конструкції породоруйнівних інструментів, що поєднують кругло-ступінчасту і плоску форми різальної частини.

Одним з конструктивних параметрів, який впливає на величину енергетичних характеристик роботи породоруйнівних інструментів з ПАР, є кількість його лопатей. Для визначення енергетичних параметрів проведено експериментальні дослідження долота ДЛР-146 з 3-ма, 6-ма та 12-ма лопатями кожного з чотирьох варіантів профілю різальної частини з використанням як вибою мармуру та цементних блоків.

За результатами експериментальних досліджень, проведених на мармурі, визначено залежності енергетичних і динамічних параметрів буріння від кількості лопатей в долоті, на основі аналізу яких встановлено:

- величини питомого крутного моменту для дослідних варіантів доліт зі збільшенням кількості лопатей від 3 до 12 зменшуються несуттєво (від 4 до 12 %);
- значення питомої механічної швидкості буріння на величину осьового навантаження V_w/G для дослідних доліт зі збільшенням кількості лопатей знижуються в 1,6+1,74 рази;
- енергоємність буріння дослідними долотами зі збільшенням кількості лопатей від 3 до 12 зростає в 1,42+1,46 рази;
- значення коефіцієнта динамічності за складовою крутного моменту $K_{\text{дм}}$ зі збільшенням кількості лопатей знижується на 4+13 %.

Результати експериментів, проведених на мармурі, свідчать, що збільшення кількості лопатей з 3 до 12 призводить до збільшення питомої об'ємної роботи руйнування та значного пониження механічної швидкості буріння на одиницю осьового навантаження при зменшенні питомого крутного моменту й коефіцієнта динамічності.

Для порівняння впливу кількості лопатей на показники роботи долота в породах низької твердості проведено експериментальні дослідження з використанням як вибою цементних блоків. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень встановлено, що:

- величини питомого крутного моменту зі збільшенням кількості лопатей від 3 до 12 зменшуються при бурінні цементних блоків у 1,19, а мармуру в 1,12 рази. Значення питомого крутного моменту M_n , отримані при роботі на цементних блоках, вищі, ніж на мармурі в 1,26 рази для породоруйнівного інструменту з трьома і в 1,19 рази – з дванадцятьма лопатами;

- значення відносної механічної швидкості буріння в залежності від величини осьового навантаження зі збільшенням кількості лопатей від 3 до 12 знижуються при бурінні цементних блоків у 1,34 рази, а мармуру - в 1,6 рази. Вищі показники механічної швидкості буріння на величину осьового навантаження v_n/G мають породоруйнівні інструменти при розбурюванні цементних блоків, ніж мармуру в 4,37 рази для породоруйнівного інструменту з трьома і в 5,22 рази – з дванадцятьма лопатами;

- енергоємність буріння зі збільшенням кількості лопатей від 3 до 12 зростає в процесі буріння цементних блоків в 1,13, а мармуру - в 1,42 рази. Вищі показники A_v мають породоруйнівні інструменти при роботі на мармурі, ніж на цементних блоках в 3,48 рази для породоруйнівного інструменту з трьома і в 4,38 рази - з дванадцятьма лопатами;

- значення коефіцієнта динамічності за складовою крутного моменту зі збільшенням кількості лопатей в процесі буріння цементних блоків змінюються незначно.

Таким чином, з дослідних варіантів доліт найкращі енергетичні показники буріння цементних блоків (м'які породи) мають трилопатеві конструкції кругло-ступінчастої форми профілю.

Результати експериментальних досліджень енергетичних характеристик роботи породоруйнівного інструменту підтвердили одержані результати теоретичних розрахунків. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень отримано числові значення показників степеня a і b та коефіцієнтів пропорційності k_R , k_{a_1} , k_{a_2} для кожного з дослідних варіантів доліт, що дозволяє застосовувати запропоновану математичну модель для розроблення раціональних конструкцій породоруйнівного інструменту.

На основі одержаних залежностей розроблено комп'ютерне програмне забезпечення, за допомогою якого за вихідними даними розраховуються прогнозні значення енергетичних характеристик роботи породоруйнівних інструментів з ПАР. Математична модель для розрахунку раціональної форми різальної частини застосовується в ПрАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту» при розробці породоруйнівних інструментів, оснащених ПАР, а також для буріння ПС і ГС з використанням вибійних двигунів.

Шостий розділ присвячений розробленню і промисловим дослідженням конструкції та окремих елементів КНБК для буріння ПС і ГС, конструкцій породоруйнівних елементів з пониженою енергоємністю та розробленню спеціальних керноприймальних пристроїв для відбору керна в ПС і ГС.

Враховуючи, що існуючі конструкції КНБК не задовольняють вимог буріння ПС і ГС в інтервалах залягання нестійких порід, розроблено конструкцію КНБК з ексцентричними опорно-центруючими елементами (ЕОЦЕ), яка включає в себе породоруйнівний інструмент 1; вибійний двигун 2; ексцентричний опорно-центруючий елемент 3, що міститься між породоруйнівним інструментом і вибійним двигуном; ексцентричний опорно-центруючий елемент 4, розміщений на вибійному двигуні 2; бурильну трубу 5; ексцентричний опорно-центруючий елемент 6, що міститься між різьбовими з'єднаннями бурильних труб 5 (рисунок 15).

Оскільки ЕОЦЕ розміщені між складовими елементами бурильної колони, збільшується проміжок між бурильною колоною і нижньою стінкою ПС і ГС, в результаті чого покращується якість промивання свердловини, передача осьового навантаження на долото, що запобігає прилипанню бурильної колони до нижньої стінки стовбура. При бурінні ПС і ГС 36-Штормова, 306-Леляки, 172-Південно-Панасівка та інших із застосуванням запропонованої конструкції КНБК буріння відбувалось без ускладнень та аварій, а механічна швидкість проходки цих свердловин була в 1,4-1,6 разів вищою, ніж під час буріння аналогічних свердловин на вказаних родовищах із серійними компоновками.

З метою ліквідації нерівностей та уступів на стінках свердловини, попередження жолобоутворення і центрування низу бурильної колони в ПС і ГС розроблено нові конструкції лопатевого калібратора зі спіральними лопатями та лопатевого калібратора із косоступінчастими, верхньою і нижньою частинами лопатей. Дані конструкції КНБК забезпечують доведення регламентованого навантаження на породоруйнівний інструмент, що сприяє підвищенню показників буріння.

Для вибійних двигунів типу Д1-105, Д5-172, ДР-176 та ДР-240 розроблено універсальні регульовальні перехідники, що дають змогу змінювати величину кута викривлення компоновки в діапазоні від 0 до 3,5 градусів. Вони встановлюються між шпінделем та робочою гвинтовою парою вибійного двигуна і з'єднують між собою корпусні деталі та вал шпінделя з ротором робочої пари.

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розроблено бурові долота кругло-ступінчастої форми профілю різальної частини різних діаметрів, оснащених ПАР, які забезпечують підвищення механічної швидкості буріння за рахунок зниження енергоємності руйнування гірської породи, зменшення величини крутного моменту, збільшення осьового навантаження (АП-214,3МС-К; АП-138,2МС; АП-123МС; АП-120МС). Вони призначені для буріння ПС і ГС із застосуванням ГВД неабразивних м'яких і середньої твердості гірських порід. За рахунок конструктивних властивостей цих доліт зменшується величина крутного моменту, підвищується зносостійкість лопатей, якість очищення вибою та покращується здатність КНБК до оперативного коригування траєкторії буріння ПС і ГС.

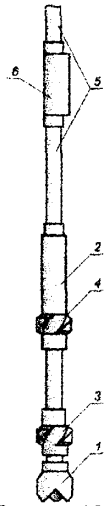


Рисунок 15 -
Компоновка
низу бурильної
колони

Для підвищення ефективності буріння з відбором керна в ПС і ГС з використанням гвинтових вибійних двигунів розроблено конструкції породоруйнівних інструментів з пониженою енергоємністю для відбору керна різних діаметрів (АП-212,7/100 МС-8/6/5; АП-123/52 МС; АП-118/52 МС; АП-114,4/67 МС). Дослідженнями встановлено, що конструкції бурильних головок пониженої енергоємності роботи мають кращі енергетичні показники, ніж серійний інструмент при бурінні в таких же умовах.

З метою зниження енергоємності руйнування гірських порід різальна частина бурильних головок АП-144,4/67МС, АП-123/52МС та АП-118/52МС має кругло-ступінчасту форму, а її оснащення забезпечується півторакратно перебиття площі вибою. Бурильні головки АП-144,4/67МС, АП-123/52МС та АП-118/52МС використовуються в компоновці зі спеціальними керноприймальними пристроями – відповідно ПКГ-127/67 і ПКГ-106/52, які призначені для відбору керна в ПС і ГС.

Розроблено керноприймальні пристрої для різних радіусів кривизни стовбурів свердловин: ПКГ172/100-1, ПКГ172/100-2, ПКГ172/100-3, ПКГ172/100-4, які захищені авторськими свідоцтвами та патентами на винаходи.

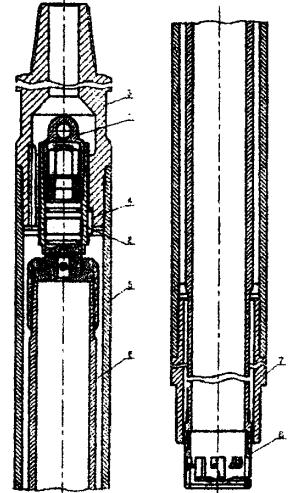
Типова схема конструкції керноприймальних пристроїв типу ПКГ наведена на рисунку 16.

Для буріння ділянок свердловин малого діаметра, пробурених з-під експлуатаційної колони, також розроблено керноприймальні пристрої для відбору керна серії ПКГ діаметрами 127 і 106 мм.

Таким чином, розроблені техніко-технологічні засоби з відбору керна під час буріння ГС одночасно дають можливість отримати якісну геологічну інформацію про пласт, достовірний матеріал для вивчення напрямку поширення тріщинуватості, уточнення літології і колекторських властивостей продуктивних горизонтів, що підвищує ефективність будівництва нафтових і газових свердловин.

У цьому розділі наведено результати промислових випробувань та впровадження розробленого на основі наукових досліджень техніко-технологічного комплексу та удосконаленої технології буріння ПС і ГС.

За результатами промислових випробувань бурових доліт АП-120МС з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід на свердловинах №23 та №155 Качанівського родовища ПАТ „Укрнафта” встановлено, що експериментальні бурові долота діаметром 120 мм з використанням ГВД працездатні та ефективні для буріння ПС і ГС, забезпечуючи його рівномірну та безперебійну роботу, а також спрямування траєкторії стовбура за заданими зенітними і азимутальними кутами викривлення. При однакових геолого-технічних умовах роботи дослідні зразки бурових доліт АП-120МС переважають серійні породоруйнівні інструменти за показником проходки в 3,2+9,6 рази при однаковій механічній швидкості буріння.



1-підвіска; 2-керновідривач; 3-пере-відник верхній; 4-шпонка; 5-корпус;
6-труба керноприймальна;
7-пере-відник нижній.

Рисунок 16 - Конструкція керноприймального пристрою типу ПКГ

Промислові випробування бурових доліт АП-123МС, АП-138,2МС і АП-214,3МС на родовищах ОАО «Татнефть» також підтвердили їх високі експлуатаційні характеристики. При бурінні ПС і ГС досягнуто підвищення показників проходки та механічної швидкості в порівнянні з серійними породоруйнівними інструментами Ш139,7С-ЦАУ відповідно в 2,9 і у 2 рази.

На основі результатів промислових випробувань бурильної головки з пониженою енергоємністю руйнування АП-118/52МС на Качанівському родовищі ПАТ «Укрнафта» встановлено, що експериментальна бурильна головка забезпечує безперерйну роботу вибійного двигуна, в процесі буріння з відбором керна (середній вихід 91%) ПС і ГС діаметром 120 мм.

З аналізу результатів промислових випробувань бурильних головок АП-123/52МС, АП-144,4/67МС, АП-212,7/100МС-8 на Бавлинському та Куакбашському родовищах ОАО «Татнефть» випливає, що застосування експериментальних конструкцій породоруйнівного інструменту забезпечує середні значення проходки 38,2м і механічної швидкості буріння 3,6 м/год, що кратно перевищує кращі показники роботи серійних бурильних головок К139,7/67ТКЗ. Подрібненість зразків гірських порід від 1,5 до 24 разів менша від базових показників.

Відносна вартість метра проходки розроблених бурильних головок з пониженою енергоємністю руйнування гірської породи в 1,3-1,6 разів менша від аналогічних імпортних породоруйнівних інструментів за вищої в 1,6-2,2 рази механічної швидкості буріння.

Промислові випробування на родовищах ПАТ «Укрнафта» та ДАТ «Чорноморнафтогаз» нових конструкцій керноприймальних пристроїв ПКГ-172/100, ПКГ-127/67-1, ПКГ-106/52-2 та ПКГ-106/52-1 при відборі керна в ПС і ГС, підтвердили їх високу ефективність. За результатами аналізу промислових випробувань керноприймальних пристроїв ПКГ-172/100-4, ПКГ-127/67, ПКГ-172/100-1, ПКГ-172/100-2, ПКГ-172/100-3 та ПКГ-106/52-1 на родовищах ОАО «Татнефть» також підтверджено їх високу надійність та ефективність. Вперше, при бурінні горизонтального стовбура з суцільним відбором керна в інтервалі довжиною 100 м на свердловині №1073г Чегодаївського родовища досягнуто повної стабілізації зенітного кута горизонтальної ділянки свердловини при забезпеченні 99% виходу просторово орієнтованого керна.

Застосування розробленого техніко-технологічних засобів дозволяє з високою ефективною здійснювати буріння з відбором керна в ПС і ГС в різних гірничо-геологічних умовах зі збереженням заданих значень зенітного кута і азимута похило-скерованих та горизонтальних стовбурів свердловин з одночасним забезпеченням високих показників по виходу керна.

Промислові випробування і застосування розробленого вітчизняного комплексу технічних засобів, технологічних процесів, складу та рецептури промивальних рідин для буріння ПС і ГС здійснено в процесі будівництва свердловин на перспективних площах і нафтогазових родовищах ПАТ „Укрнафта”, ДАТ „Чорноморнафтогаз” та СП „Каштан-Петролеум”.

Промислове впровадження розробленого комплексу технічних засобів і технологій буріння ПС і ГС виконане згідно господарських договорів на послуги між ПрАТ «НДКБ бурового інструменту» і багатьма нафтогазовидобувними

підприємствами України при бурінні та відновленні понад 40 похило-скерованих і горизонтальних свердловин на 12 родовищах ДДЗ та шельфі Чорного моря (таблиця 2).

Таблиця 2 – Результати буріння та відновлення похило-скерованих і горизонтальних свердловин

ПЛОЩА, РОДОВИЩЕ, №СВ.	ЗАМОВНИК	ЗЕНТНИЙ КУТ, ГРАД	ВІДХІД ВІД ВЕРТИКАЛІ, (довжина бокового стовбура), м
БУРІННЯ ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН			
ОДЕСЬКЕ, 10, 11, 21, 22	ДАТ «ЧОРНОМОРНАФТОГАЗ»	78-85	518-992
ШТОРМОВЕ, 36, 37, 38, 34, 42, 43		32-91	495-1911
АРХАНГЕЛЬСЬКЕ, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 31		44-67	214-480
ГОЛЩИНА, 79,80		71-83	432-552
БУГРУВАТІВСЬКЕ, 348, 510, 544, 545	ПАТ «УКРНАФТА»	45-91	376-1050
ПІВДЕННО-ПАНАСІВСЬКЕ, 172		95	525
ЛЕЛЯКІВСЬКЕ, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307	СП «КАШТАН ПЕТРОЛЕУМ»	22-78	210-457
ВІДНОВЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН ПОХИЛО-СКЕРОВАНИМИ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ СТОВБУРАМИ			
ШТОРМОВЕ, 36	ДАТ «ЧОРНОМОРНАФТОГАЗ»	84	1253
СУББОТІНА, 3		68	504
ЯБЛУНІВСЬКЕ, 97	ТОВ «КАРПАТИГАЗ»	84	380
КАЧАНІВСЬКЕ, 23, 60, 66, 155, 201	ПАТ «УКРНАФТА»	28 - 91	100-352
ФОНТАНІВСЬКЕ, 13	ТОВ «ГАЗКОНТИНЕНТАЛЬ»	31	267
КРАСНОЗАРЬСЬКЕ, 468	ТОВ «УКРІСТГАЗ»	28	770

Результати успішного впровадження підтвердили високу надійність та ефективність запропонованого комплексу техніки і технологій. Значна частина робіт з будівництва та відновлення ПС і ГС виконана «під ключ», починаючи з проекту на буріння і до кріплення стовбура експлуатаційної колони.

За своєю функціональною спроможністю і основними технологічними показниками розроблений вітчизняний техніко-технологічний комплекс не поступається зарубіжним комплексам, переважаючи їх за вартісними показниками та адаптованістю до специфіки геолого-технічних умов родовищ України.

Додатковий видобуток нафти і газу лише по трьох відновлених із ліквідованого фонду свердловин Качанівського родовища №№ 23, 155 і 201 досяг понад 20 тис. т. нафти і близько 40 млн. м³ газу.

Сумарний дохід від реалізації додатково вилучених вуглеводнів з цих трьох свердловин склав понад 300 млн. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних, експериментальних та промислових досліджень вирішено важливу наукову та народногосподарську проблему, що полягає у створенні комплексу нових вітчизняних технологій,

породоруйнівних інструментів і технічних засобів нового покоління, застосування яких забезпечило суттєве підвищення ефективності буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин у складних гірничо-геологічних умовах нафтогазових родовищ України, в тому числі в процесі буріння з відбором керна.

На підставі проведених досліджень сформульовано такі основні висновки:

1. У результаті опрацювання сучасних наукових досягнень в області спорудження похило-скерованих і горизонтальних свердловин вперше проведено системний аналіз стану техніки і технологій спорудження таких свердловин у вітчизняній та зарубіжній практиці з урахуванням конкретних геолого-технічних умов буріння. На основі цього аналізу визначено основні напрямки удосконалення існуючих та розроблення нових вітчизняних технічних засобів і технологій буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин на нафтогазових родовищах України.

2. На підставі теоретичних, експериментальних і промислових досліджень одержано аналітичні залежності для визначення зміни радіальних і колових напружень на стінках викривленого стовбура свердловини, складеного нестійкими гірськими породами, в залежності від кута зустрічі породоруйнівного інструменту з породою, встановлено його граничні значення ($64\div 67^\circ$), за яких відбувається інтенсивне осипання та обвалювання стінок свердловини. Одержані результати рекомендовано враховувати під час проектування профілю свердловини.

3. На підставі теоретичних, експериментальних і промислових досліджень удосконалено безглинисту біополімерну промивальну рідину «БЮКАР», яка містить запропоноване оптимальне співвідношення одночасно жорстких і пружних кольматантів, властивості якої забезпечують стійкість стінок свердловини в місцях її локального викривлення, ефективне винесення вибуреної породи із стовбурів з великими кутами нахилу. Високу ефективність промивальної рідини «БЮКАР» підтверджено при розкритті продуктивних горизонтів і бурінні ПС і ГС на різних родовищах України.

4. Теоретично обґрунтовано геометрію різальних елементів бурового долота з пониженою енергоємністю руйнування гірської породи, проведено розрахунки елементів конструкції низу бурильної колони та аналітичні дослідження з визначення місця встановлення центруючих елементів керноприймального пристрою для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин з відбором керна.

5. У результаті експериментальних досліджень підтверджено, що основним критерієм ефективності роботи ексцентричного шарошкового долота різальної дії є рівномірність перекриття вибою та змінність озброєння долота під час руйнування породи. Визначено величини емпіричних коефіцієнтів (k_x, k_y, k_z) для різних профілів лопатей та розроблено математичну модель розрахунку раціональної форми різальної частини долота. Встановлено, що для руйнування м'яких і середніх за твердістю порід з використанням гвинтових вибійних двигунів найбільш раціональним є застосування доліт, оснащених ПАР з пониженою енергоємністю руйнування гірських порід із кругло-ступінчастим профілем лопатей; раціональна кількість лопатей долота для буріння порід середньої твердості і твердих

визначається лише їх зносостійкістю, а м'яких порід – мінімальною кількістю лопатей.

6. Розроблено та впроваджено захищені патентами України і Російської Федерації нові конструкції бурових доліт і бурильних головок, різальна частина яких для зменшення енергоємності руйнування порід виконана у вигляді криволінійних сегментів. Виготовлено і випробувано в процесі буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин по чотири типи конструкцій бурових доліт і бурильних головок. Результати випробувань бурових доліт і бурильних головок типу АП при бурінні суцільним вибоєм і при відборі керна в горизонтальних свердловинах на родовищах України та ОАО «Татнефть» підтвердили їх вищу у порівнянні з кращими показниками серійних доліт і бурильних головок ефективність за проходкою - на 42-100%, за механічною швидкістю - на 35%.

7. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень вперше створено гаму сучасних техніко-технологічних засобів для відбору керна в похило-скерованих і горизонтальних свердловинах, застосування яких дозволяє з високою ефективністю здійснювати буріння ПС і ГС в різних геологічних умовах при одночасному забезпеченні заданих значень зенітного кута і азимута траєкторії стовбура свердловини та високих показників виходу керна (95+100 %).

Уточнені, на основі отриманого кернавого матеріалу, розрахунки запасів по Одеському газоконденсатному родовищі (Україна) показали на їх збільшення в 1,7 рази, а по Ромашкінському нафтовому родовищі (Республіка Татарстан) в 1,5-2 рази.

8. Впровадження розроблених технічних засобів і технологій у вигляді цілісного комплексу для буріння ПС і ГС забезпечило успішне будівництво більш як 40 похило-скерованих і горизонтальних свердловин в складних геолого-технічних умовах на 12 родовищах України. Нові технології та технічні засоби застосовані також для відновлення ліквідованих, недіючих та малодобітних свердловин шляхом зарізання і буріння бокових похило-скерованих і горизонтальних стовбурів з використанням удосконалених вітчизняних засобів геонавігації.

Лише за рахунок відновлення недіючих свердловин Качанівського родовища шляхом зарізання бокових похило-скерованих стовбурів з використанням удосконаленої технології та технічних засобів у співпраці з ПрАТ «НДКБ ББ» та ПАТ «Укрнафта» додатково одержано понад 20 тис. тон нафти і конденсату та майже 40 млн. м³ газу на загальну суму більш ніж 300 млн. грн.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кунцяк Я.В. Буріння свердловин / Я.В. Кунцяк, Ю.В. Дубленич, Я.С. Гаврилов, О.Г. Мессер. – К.: Інтерпрес ЛТД, Довідник у 5т. 2002. – 479с.
2. Оганов К.О. Практика буріння і експлуатації свердловин з горизонтальними стовбурами / К.О. Оганов, Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Ю.В. Дубленич, І.І. Наритник. - К.: Наукова думка, 2002. - 197 с.
3. Дубленич Ю.В. Анализ особенностей устройств для отбора керна при бурении скважин / Ю.В. Дубленич, Я.В. Кунцяк // Геология и бурение нетрадиционных залежей нефти и газа. УкрГипроНИИнефть - 1991. - С.92-96.
4. Комлягина Н.Н. Исследование работы режущих долот методами математического моделирования / Н.Н. Комлягина, Т.Г. Агошавили, А.Л. Бровер,

Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Д.М. Мартинюк // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 1993. – №1-2. – С. 30-33.

5. Кунцяк Я.В. Будівництво горизонтальної свердловини на Південно-Панасівському родовищі за вітчизняною технологією / Я.В. Кунцяк, К.В. Булатов, Р.Я. Кунцяк, Г.Й. Бражина, М.М. Лилак, В.О. Клоченко, Б.Й. Вовків, І.О. Новак // Нафтова і газова промисловість. – 2002. – №6. – С. – 17-19.

6. Кунцяк Я.В. Буріння з відбором керна в горизонтальних стовбурах свердловин ОАО „Татнефть” / Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Р.Є. Мрозек, Р.Х. Муслімов, А.К. Назіпов, Р.С. Хісамов, А.З. Нафіков // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №3. – С. 23-24.

7. Кунцяк Я.В. Буровые растворы для сложных горногеологических условий Украины / Я.В. Кунцяк, Ю.В. Лубан // Технологии ТЭК. – 2006. – С. 36-38.

8. Кунцяк Я.В. Визначення оцінки впливу сил опору на величину осьового навантаження на долото в похило-скерованій свердловині / Я.В. Кунцяк, Р.Я. Кунцяк, О.М. Лев // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №4(29). – С.40-44.

9. Кунцяк Я.В. Відбір керна в горизонтальній свердловині малого діаметра / Я.В. Кунцяк Д.М. Мартинюк, Р.Є. Мрозек // Нафтова і газова промисловість. – 2002. – №4. – С. 22-23.

10. Кунцяк Я.В. Вітчизняні технології та технологічні засоби для будівництва горизонтальних свердловин / Я.В. Кунцяк, К.В. Булатов, В.Д. Новіков, Р.Я. Кунцяк, Г.Й. Бражина, М.М. Лилак, Є.Р. Мрозек, В.О. Клоченко // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №3. – С13-14.

11. Кунцяк Я.В. Влияние формы профиля режущих долот на энергетические и динамические параметры их работы / Я.В. Кунцяк, Т.Г. Агошишвили, Я.С. Гаврилов, Д.М. Мартинюк, А.А. Бровер, Н.Г. Комлягина // Нефтяная и газовая промышленность. – 1993. – №1-2. – С.29-34.

12. Кунцяк Я.В. Вплив кількості лопатей в породоруйнівних інструментах різальної дії на ефективність процесу буріння / Я.В. Кунцяк, Т.Г. Агошишвілі, Я.С. Гаврилов, Д.М. Мартинюк // Нафтова і газова промисловість. – 1995. – №3. – С. 12-16.

13. Кунцяк Я.В. Визначення поперечної реакції вибою при бурінні похило-спрямованих і горизонтальних свердловин з відбором керну / Я.В. Кунцяк, О.М. Лев // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №3(28). – С.29-35.

14. Кунцяк Я.В. Дослідження впливу зенітного кута на стійкість стінок стовбурів, що знаходяться в пружно-деформованому стані в процесі буріння горизонтальних свердловин / Я.В.Кунцяк, М.Є.Чернова // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №3(40). – С.37-42.

15. Кунцяк Я.В. Експериментальні та промислові дослідження і прогнозування стійкості стовбурів горизонтальних свердловин в нестійких породах / Я.В.Кунцяк, Р.Я.Кунцяк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №1(38). – С.62-69.

16. Кунцяк Я.В. Инструмент для отбора керна из горизонтальных скважин / Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Ю.В. Дубленич, Д.М. Мартинюк // Сборник научных трудов «Буровой инструмент - техника и технология его изготовления и применения». - К: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2004. – С. 50-55.

17. Кунцяк Я.В. Комплексний сервіс – ефективне вирішення завдань буріння з відбором керна / Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Ю.В. Дубленич, Р.Х. Муслімов, Р.С. Хісамов, А.К. Назіпов, С.Ю. Ненароков // Нафтова і газова промисловість. - 2003. - № 3. - С. 11-12.

18. Кунцяк Я.В. Конструктивні особливості технічних засобів для відбору керна в горизонтальних свердловинах / Я.В. Кунцяк // Сборник научных трудов «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения». - К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2012. - С.221-226.

19. Кунцяк Я.В. Коригування траєкторії свердловини за результатами відбору керна / Я.В. Кунцяк, Р.С. Мрозек, В.Д. Новіков // Збірник наукових праць ВАТ "УкрНГТ". - 2000. - № 1. - С. 16-20.

20. Кунцяк Я.В. Математична модель для розрахування раціональної форми різальної частини долота / Я.В. Кунцяк, Д.М. Мартинюк // Нафтова і газова промисловість. - 2006. - № 3. - С. 12-16.

21. Кунцяк Я.В. Особливості буріння горизонтальних свердловин у зонах залягання нестійких порід / Я.В.Кунцяк, Р.Я.Кунцяк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. - №1(23). – С.38-46.

22. Кунцяк Я.В. Особливості буріння похило-спрямованих ділянок стовбура горизонтальних свердловин / Я.В. Кунцяк, Р.Я. Кунцяк // Нафтова і газова промисловість. - 2006. - №1 - С. 34-36.

23. Кунцяк Я.В. Особливості відбору керна в похило-спрямованих та горизонтальних свердловинах на родовищах ВАТ «Укрнафта» / Я.В. Кунцяк, Р.С. Мрозек, Д.М. Мартинюк // Мінеральні ресурси України. - 2002. - №3. - С. 30-31.

24. Кунцяк Я.В. Отбор керна увеличенного диаметра в горизонтальных скважинах / Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Р.Х. Муслімов, Р.Е. Мрозек, А.К. Назіпов, Р.С. Хісамов, А.З. Нафіков // Нефтяное хозяйство. - 2003. - №8. - С. 38-39.

25. Кунцяк Я.В. Повышение эффективности бурения наклонно направленных и горизонтальных скважин / Я.В. Кунцяк, Д.М. Мартинюк, В.И. Молодило // Нефтяное хозяйство. - 2007. - №6. – С. 12-16.

26. Кунцяк Я.В. Промислові випробування нових техніко-технологічних засобів в горизонтальних та похило-спрямованих свердловинах / Я.В. Кунцяк, Д.М. Мартинюк, К.В. Булатов // Сборник научных трудов «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения». – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2006. - С. 93-96.

27. Кунцяк Я.В. Результаты использования отечественных техники и технологии для строительства горизонтальных скважин и скважин, восстановленных боковыми стволами / Я.В. Кунцяк, К.В. Булатов, В.Д. Новиков, Д.М. Мартинюк, Р.Я. Кунцяк, В.В. Путилов // Сборник научных трудов «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения». - К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2003. - С.41-46.

28. Кунцяк Я.В. Технические средства для отбора керна из горизонтальных скважин / Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Ю.В. Дубленич, Д.М. Мартинюк, Р.Е. Мрозек, В.И. Зубарев, А.И. Куринов // Бурение и нефть. - 2003. - №2. - С. 40-42.

29. Кунцяк Я.В. Технічні засоби буріння нафтових і газових свердловин / Я.В. Кунцяк, Я.С. Гаврилов, Ю.В. Дубленич, Д.М. Мартинюк, Р.Є. Мрозек, В.І. Зубарев, А.І. Курінов // Нафтова і газова промисловість. -2003. - № 3. - С. 20-22.
30. Кунцяк Я.В. Технічні засоби для відбору керна у похило-скерованих та горизонтальних свердловин / Я.В.Кунцяк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. - №2(43). – С.15-22.
31. Кунцяк Я.В. Удосконалення конструкцій породоруйнівного інструменту, оснащених полікристалічними алмазними різцями / Я.В. Кунцяк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. - №1(42). – С. 57-67.
32. Кунцяк Я.В. Удосконалення технології буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин у нестійких породах / Я.В. Кунцяк, М.Є. Чернова, Р.Я. Кунцяк // Науковий вісник ІФНУНГ. – 2010. - №3(25). – С.15-18.
33. Кунцяк Я.В. Удосконалення техніки і технології буріння горизонтальної свердловини в нестійких породах Бугруватівського родовища / Я.В. Кунцяк, М.П. Гнип, С.Р. Мрозек, Р.Я. Кунцяк, К.В. Булатов, В.Д. Новіков // Нафтова і газова промисловість. – 2010. - №2. – С.27-30
34. Лубан Ю.В. «Біокар» - безглиниста промивальна рідина для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин та розкриття продуктивних горизонтів / Ю.В. Лубан, Я.В. Кунцяк, С.В. Лубан, О.А. Білека, Д.М. Круль, Я.І. Кулик // Нафтова і газова промисловість. – 2008. - №4. – С.18-21
35. Новое керноприемное устройство / Я.В. Кунцяк, Ю.В. Дубленич // Труды УкрГипроНИИнефть. - Геология и бурение нетрадиционных залежей нефти и газа. – 1991. - С. 97-102.
36. А.с. 1775543 СССР, МКИ Е 21 В 10/26, 17/10. Калибратор / Я.В. Кунцяк, И.В. Горохов, Луис Сианка-Ибарра, Н.В. Лужаница (СССР). – № 4720245/03 заявлено 18.05.89; опубл. 15.11.92, Бюл. № 42.
37. А.с. 1783108 СССР, МКИ Е 21 В 10/52. Буровое долото / Я.В. Кунцяк, Ю.В. Дубленич, Я.С. Гаврилов, Д.М. Мартынюк, А.Г. Мессер, Т.Г. Агошавили, В.У. Урумян (СССР). – № 4859044; заявлено 13.08.90; опубл. 23.12.92, Бюл. № 47.
38. А.с. 00966223 СССР, МКИ Е 21 В 10/26. Лопастной калибратор / И.И. Барабашкин, Г.И. Матвеев, Т.А. Ильк, Я.В. Кунцяк, Луис Сианка-Ибарра, У.Н. Якимчук (СССР). – заявлено 13.08.81; опубл. 15.10.82, Бюл. № 8.
39. Пат. 16717 Україна, МПК Е 21 В 7/06, 17/00. Компоновка низу бурильної колони / Кунцяк Р.Я., Булатов К.В., Кунцяк Я.В., Чернов Б.О., Мартинюк Д.М.; заявник і патентовласник ЗАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту». - № u200602556; заявл. 19.03.06; опубл. 15.08.06, - Бюл. № 8.
40. Пат. 42571 Российская Федерация, МПК 7 Е 21 В 10/52. Буровое долото / Мартынюк Д.М., Кунцяк Я.В., Дубленич Ю.В.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Научно-исследовательское и конструкторское бюро бурового инструмента». - № 2004123828; заявл. 05.08.04; опубл. 10.12.04, Бюл. № 34.
41. Пат. 4343 Україна, МПК Е 21 В 25/00. Колонковий снаряд / Кунцяк Я.В., Дубленич Ю.В., Барабашкін І.І., Марухняк М.Й., Пришляк І.Є.; заявник і патентовласник ЗАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту». - № 4386177/SU; заявл. 29.02.88; опубл. 27.12.94, Бюл. № 6-1.

42. Пат. 58151 Российская Федерация, МПК 7 Е 21 В 7/06, 17/00. Компоновка низа бурильной колонны / Кунцяк Р.Я., Булатов К.В., Кунцяк Я.В., Чернов Б.О., Мартинюк Д.М.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Научно-исследовательское и конструкторское бюро бурового инструмента». - № 2006122491; заявл. 09.05.06; опубл. 10.11.06, Бюл. № 31.

43. Пат. 7276 Україна, МПК Е 21 В 25/08. Керноприймальний пристрій / Сейфі Р.Н., Хісамов Р.С., Кунцяк Я.В., Новиков А.З., Гаврилов Я.С., Дінмухаметов Р.Ш.; заявник і патентовласник ЗАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту». - №u20041109451; заявл. 18.11.04; опубл. 15.06.2005, Бюл. №6.

АНОТАЦІЯ

Кунцяк Я.В. Розробка та впровадження комплексу технічних пристроїв і технологій буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин (для умов нафтогазових родовищ України). - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 - Буріння свердловин. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2013р.

Дисертація присвячена розробці та впровадженню комплексу високоефективних технічних пристроїв і технологій для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин в складних геологічних умовах покладів гірських порід, схильних до осипання, обвалювання і звуження стовбура свердловини.

В результаті аналітичних, експериментальних і промислових досліджень встановлено вплив зенітного кута і інтенсивності викривлення стовбура свердловини на стійкість стінок похило-скерованих свердловин при бурінні в нестійких породах нафтогазових родовищ ДДз і шельфу Чорного моря, визначено діапазон їх граничних значень в даних породах. Удосконалено методику проектування траєкторії похило-скерованих і горизонтальних свердловин, яка базується на обліку наявності критичних значень зенітного кута ($64\div 67^\circ$) і інтенсивності викривлення з умов стійкості стінок їх стовбурів. Розроблено нові конструкції КНБК з ексцентричними протиприхоплюючими перехідниками, які запобігають прилипанню бурильних труб до нижньої стінки свердловини і забезпечують доведення осевого навантаження на долото.

Удосконалено математичну модель конструкції бурильної колони і отримано математичну залежність для визначення ефективною осевою сили, яка передається долотом на вибій похило-скерованої свердловини і створена комп'ютерна програма для визначення її оптимальних значень і допустимої інтенсивності викривлення свердловини.

Удосконалено рецептуру безглинистої біополімерної промивальної рідини «БЮКАР», до складу якої введено композитні кольматанти, отримані на основі оптимального поєднання жорстких і пружних реагентів-наповнювачів. Композитні кольматанти дозволяють покращити ізолюючі властивості безглинистої промивальної рідини в умовах розкриття багатопластових покладів з різними смісно-фільтраційними характеристиками.

Розроблено математичну модель для визначення енергетичних параметрів роботи бурових доліт з полікристалічними алмазними різцями. На підставі результатів теоретичних, експериментальних і промислових досліджень розроблено серію породоруйнівних інструментів зі зниженою енергоємністю роботи, високоефективних керноприймальних пристроїв і керновідривачів, які впроваджені при бурінні похило-скерованих і горизонтальних свердловин на родовищах ПАТ «Укрнафта» і ОАО «Татнефть».

Удосконалена, випробувана і впроваджена технологія буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин, в якій враховано наявність і поведінку нестійких порід під впливом величини зенітного кута, інтенсивності викривлення свердловини, реологічні властивості промивальної рідини, календарного часу буріння та умов доведення до долота оптимального осевого навантаження. Запропонована технологія і розроблений техніко-технологічний комплекс використані при спорудженні більше 40-а свердловин на 12 родовищах ДДз і шельфу Чорного моря.

Ключові слова: зенітний кут, інтенсивність, компоновка низу бурильної колони, стійкість стінок, горизонтальна свердловина.

АННОТАЦИЯ

Кунцяк Я.В. Разработка и внедрение комплекса технических устройств и технологий бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин (для условий нефтегазовых месторождений Украины). – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2013г.

Диссертация посвящена разработке и внедрению комплекса высокоэффективных технических устройств и технологий для бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин в сложных геологических условиях залежей горных пород, склонных к осыпанию, обваливанию и сужению ствола скважины.

На основании анализа результатов литературных и патентных исследований приведено горно-геологическую характеристику нефтегазоносных регионов Украины. Установлено, что на месторождениях ДДв и Черноморского шельфа основные продуктивные горизонты расположены на больших глубинах и сопровождаются горизонтами неустойчивых горных пород, вследствие чего при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин происходят осложнения и аварии.

В результате аналитических, экспериментальных и промысловых исследований установлено влияние зенитного угла и интенсивности искривления ствола скважины на устойчивость стенок наклонно-направленных скважин при бурении в неустойчивых породах нефтегазовых месторождений ДДв и шельфа Черного моря, определен диапазон их предельных значений в данных породах. Получены аналитические зависимости для определения величины радиальных и круговых напряжений в горной породе на стенках наклонного ствола скважины, на основании которых установлено что максимальные напряжения возникают при

значениях зенитного угла $64\div 67^\circ$, достоверность которых подтверждена результатами экспериментальных и промысловых исследований. Усовершенствована методика проектирования траектории наклонно-направленных и горизонтальных скважин, базирующаяся на учете наличия критических значений зенитного угла ($64\div 67^\circ$) и интенсивности искривления (1 град на 10 м) из условий устойчивости стенок их стволов. Разработаны новые конструкции КНБК с эксцентрическими противоприхватными переводниками, которые предотвращают прилипание бурильных труб к нижней стенке скважины и обеспечивают доведение осевой нагрузки на долото.

Усовершенствована математическая модель конструкции бурильной колонны и получена математическая зависимость для определения эффективной осевой силы, которая передается долотом на забой наклонно-направленной скважины, а также создана компьютерная программа для определения оптимальных значений эффективной осевой силы и допустимой интенсивности искривления скважины.

На основании результатов теоретических, экспериментальных и промысловых исследований усовершенствована рецептура безглинистой биополимерной промывочной жидкости «БИОКАР», в состав которой введены композитные кольматанты, полученные на основе оптимального сочетания жестких и упругих реагентов-наполнителей. Композитные кольматанты позволяют улучшить изолирующие свойства безглинистой промывочной жидкости в условиях вскрытия многопластовых залежей с различными емкостно-фильтрационными характеристиками.

Разработана математическая модель для определения энергетических параметров работы буровых долот с поликристаллическими алмазными резами. По результатам теоретических, экспериментальных и промысловых исследований разработана серия породоразрушающих инструментов с пониженной энергоемкостью работы.

На основании анализа промысловых данных и существующих конструкций керноприемных устройств, установлено что они не соответствуют требованиям при отборе керна в наклонно-направленных и горизонтальных участках скважины. Для повышения эффективности бурения с отбором керна, разработано высокоэффективные керноприемные устройства и кернорватели. Разработанные конструкции породоразрушающих инструментов с пониженной энергоемкостью, керноприемные устройства и кернорватели внедрены при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин на месторождениях ПАТ «Укрнафта» и ОАО «Татнефть».

Усовершенствована, испытана и внедрена технология бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин, в которой учтены наличие и поведение неустойчивых пород в зависимости от величины зенитного угла, интенсивности искривления скважины, реологических свойств промывочной жидкости, календарного времени бурения и условий доведения к долоту оптимальной осевой нагрузки. Предложенная технология и разработанный технико-технологический комплекс использованы при сооружении более 40-ка скважин на 12 месторождениях ДДв и шельфа Черного моря.

Ключевые слова: зенитный угол, интенсивность, компоновка низа бурильной колонны, устойчивость стенок, горизонтальная скважина.

ABSTRACT

Kuntsyak Y.V. Development and introduction the complex of tools and technologies for drilling of inclined directional and horizontal wells (applied for oil and gas fields of Ukraine). – On the manuscript.

Dissertation for awarding the academic degree of the doctor of technical science under specialty 05.15.10 – Drilling of wells.- Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2013.

Dissertation is designed on development and introduction of the set of highly efficient tools and technologies for drilling of inclined directional and horizontal wells in complex geological conditions of rocks' bedding subject to sloughing, collapsing and narrowing of the well bore.

As a result of theoretic, experimental and field researches the effect patterns were established between well inclination and dog-leg severity of well bore, type of drilling fluid and drilling time for intervals consisted of unconsolidated rocks onto stability of well walls within the oil and gas fields of Dnepr-Donetsk Depression and shelf of Black sea as well as the range of its critical values for specified rocks was calculated. The method of designing the trajectory of inclined directional and horizontal wells was improved based on accounting the presence of critical values of inclination ($64\pm 67^\circ$) and dog-leg severity under conditions of well bore stability. The new BHA with excentric anti-stuck cross-overs were designed that prevent drill pipes sticking to the lower wall of the well bore and provide the better weight on bit.

Using composite colmatants, which were obtained by optimal combining rigid and elastic bridge agents, provides improved formulation of clayless biopolymer mud "BIOCAR". The composite colmatants improve the blocking properties of clayless biopolymer mud at the drilling in of multilayer deposits with different filtration characteristics.

The math model was developed to identify the energy parameters of PDC drill bits and quantity characteristics. The variety of energy efficient rock cutting tools, highly effective core barrels and cutters were developed based on results of theoretical, lab and field researches that were successfully introduced for drilling inclined directional and horizontal wells on fields of pJSC Ukmafta and oJSC Tameft.

The technology of drilling the inclined directional and horizontal wells was improved, tested and introduced where the presence and behavior unstable rocks was considered under influence well inclination, dog-leg severity, rheology of drilling fluid, calendar time of drilling and providing effective axial weight to bit. The proposed technology and technical-technological complex were introduced for drilling more than 40 wells on 12 fields of Dnieper Donetsk Basin and the Black Sea shelf.

Key word: well inclination, dog-leg severity, bottom-hole assembly, well stability, horizontal well.

