

Ed. 2. 24. 153
С 37

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

СІМКІВ Мирослава Євгенівна

УДК 622.248.3:622.244.442:66.067

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН
ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ
КОМПОНОВКИ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

П / ІНВ

05.15.10 – Буріння свердловин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ – 2005

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ЧЕРНОВ Борис Олександрович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри фізики.

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
ЯСОВ Віталій Георгійович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
професор кафедри буріння
нафтових і газових свердловин.



кандидат технічних наук
ФРИЗ Іван Михайлович,
ст. науковий співробітник,
технічний директор, ТЗОВ «Бурова
техніка» (м. Івано-Франківськ).

ЛМБА

Провідна установа: «Український науково-дослідний інститут природних газів» ДП «Наука Нафтогаз» НАК «Нафтогаз України», м.Харків.

Відомо відбудеться 07 вересня 2005р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розданий в 07 серпня 2005р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

Кочетков І.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У відповідності із комплексною національною програмою „Нафта і газ України до 2010 року“ в найближчі 3-4 роки передбачається досягнення стабілізації рівня видобутку нафти і газу з подальшим його збільшенням. Вирішення цих питань не може бути досягнуте без збільшення об'єму бурових робіт та підвищення темпів і якості будівництва свердловин.

Буріння свердловин у складних геологічних умовах супроводжується різними ускладненнями та аваріями, найбільш затратними серед яких є корозійно-втомні руйнування різьбових з'єднань, кількість яких перевищує 50% від загальної кількості аварій з бурильною колоною. Аналіз статистичного матеріалу показує, що близько 30% аварій з бурильною колоною припадає на аварії з обважненими бурильними трубами, хоча їх загальна кількість в складі колони не перевищує 5...10%.

Практично всі існуючі конструкції замкових різьбових з'єднань не є зрівноважені по нпелъній та муфтовій частинах з'єднання, а діючі навантаження нерівномірно розподіляються між витками по довжині різьби, чим і пояснюється низька границя витривалості.

В більшості випадків під час збирання бурильної колони використовуються обважені бурильні труби довжиною 6,5м, які виготовлені із легованої сталі, що призводить до збільшення числа замкових різьбових з'єднань.

У процесі буріння нафтогазових свердловин із існуючими компоновками низу бурильної колони (КНБК) в бурильних трубах, що розташовані безпосередньо над обважненими бурильними трубами (ОБТ), виникають значні напруження, які призводять до корозійно-втомного руйнування колони.

Враховуючи ріст глибин свердловин, ускладнення умов при їх спорудженні, актуальною залишається проблема попередження аварій з бурильними колонами, які виникають за рахунок корозійно-втомного руйнування різьбових з'єднань/

Таким чином, для підвищення роботоздатності бурильних колон необхідні дослідження з визначення ступеня впливу вищезазначених факторів, і на їх основі розробка конструкцій ОБТ з замковими різьбовими з'єднаннями підвищеної міцності, та вдосконалення конструкцій КНБК.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи відноситься до галузевої проблеми і тематичних планів ВАТ «Укрнафта», ВАТ «УкрНГІ», ДГП «Укрзахідгеологія», ДГП «Полтаванафтогазгеологія». Дисертаційна робота виконана в напрямку ДНТП «Підвищення надійності і довговічності бурильних та обсадних бурильних колон в процесі будівництва і експлуатації нафтових і свердловин», ДНТП «Технології буріння, пошук,



видобування та переробка корисних копалин», ДНТП «Нові технології зварювання і суміжні процеси».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності буріння свердловин шляхом удосконалення конструкцій елементів компоновки низу бурильної колони.

Основні задачі роботи:

1. Аналіз причин руйнування елементів компоновки низу бурильної колони при бурінні нафтових і газових свердловин.
2. Уточнення математичної моделі роботи компоновки низу бурильної колони.
3. Дослідження зміни характеру розподілу напружень між витками різьби конічних замкових різьбових з'єднань.
4. Розробка конструкцій обважнених бурильних труб змінної жорсткості та замкових різьбових з'єднань підвищеної роботоздатності.
5. Дослідження впливу конструктивних чинників обважнених бурильних труб з приварними різьбовими кінцями із різнорідних сталей на опір втомі.
6. Промислова перевірка наукових розробок на підприємствах ВАТ "Укрнафта".

Об'єкт дослідження – динамічні процеси в елементах компоновки низу бурильної колони при бурінні свердловин.

Предмет дослідження – динамічні характеристики елементів компоновки низу бурильної колони та їх конструкції при бурінні свердловин роторним способом.

Методи дослідження. Аналіз показників роботи елементів бурильних колон виконаний з допомогою методів математичної статистики. Для попередження передчасних втомних руйнувань елементів бурильної колони рекомендується підбір компоновки і режимних параметрів на підставі відповідних динамічних розрахунків. Модель повздовжніх і крутильних коливань бурильної колони при бурінні свердловин з обважненими бурильними трубами змінної жорсткості в КНБК побудована з використанням методів математичного і фізичного моделювання. Вивчення динамічних режимів коливальної системи «бурильна колона – долото-вибій» ґрунтується на застосуванні числових методів розв'язку та методів математичного аналізу. Для втілення практичних рекомендацій в розробці раціональних конструкцій компоновок низу бурильної колони та її елементів використані статистичні методи аналізу результатів моделювання динамічних процесів в бурильній колоні з допомогою програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено математичну модель роботи бурильної колони з обважненими бурильними трубами змінної жорсткості експоненціальної форми в КНБК та розв'язана задача з визначення

величин поздовжніх і поперечних напружень в кінчних перерізах при дії статичних і динамічних навантажень.

2. Вперше розроблено обважені бурильні труби змінної жорсткості експоненціальної форми, технологію виготовлення та методику їх застосування в компоновці низу бурильної колони.

3. Удосконалено конструкцію обважених бурильних труб з приварними різбовими кінцями за рахунок розвантажувальних канавок зварних з'єднань та одержаних аналітичних залежностей із визначення їх раціональних параметрів.

4. Вперше розроблено конструкції замкових різбових з'єднань підвищеної міцності «галтельного» типу та визначено їх оптимальні параметри, що призводить до перерозподілу напружень між витками різьби.

5. Отримала подальший розвиток методика з визначення експериментальної діаграми Веллера втомної міцності елементів бурильної колони на основі закону збереження енергії.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення наукових досліджень, проведених дисертантом, полягає в розвитку теоретичних, експериментальних і промислових досліджень, практичних питань, пов'язаних з підвищенням надійності роботи бурильних колон, а відповідно і ефективності буріння нафтових і газових свердловин.

Створена математична модель бурильної колони і визначено величини напружень, які виникають у перерізах обважених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми при поздовжніх і крутильних коливаннях.

Розроблено конструкції обважених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми, застосування яких в значній мірі підвищує експлуатаційні характеристики бурильної колони та локалізацію енергії на вибої.

Розроблено інструктивний документ із застосування обважених бурильних труб змінної жорсткості в компоновках низу бурильної колони при бурінні нафтових і газових свердловин.

Розроблено технологію виготовлення обважених бурильних труб довжиною 9-12 м з приварними кінцями з легованої сталі після об'ємної термообробки, що забезпечує значне підвищення довговічності та роботоздатності замкових різбових з'єднань і скорочує затрати часу на спуско-підіймальні операції в процесі буріння нафтових і газових свердловин.

Розроблено конструкції розвантажувальних канавок зварних з'єднань обважених бурильних труб з приварними кінцями, які підвищують на 40% їх опір втомі та встановлено вплив тренування, яке призводить до підвищення границі витривалості на 37%.

Розроблено конструкції обважених бурильних труб (замкові різбові з'єднання з „галтелями“ змінної величини), в яких, за рахунок зменшення коефіцієнта концентрації напружень

та перерозподілу навантаження між витками різьби, границя витривалості замкових різьбових з'єднань підвищується на 52%.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота являє собою наукові розробки та теоретичні і експериментальні дослідження, які спрямовані на підвищення роботоздатності бурильних колон та удосконалення технології буріння нафтових і газових свердловин роторним способом. Робота виконана самостійно та у співпраці з науковим керівником д.т.н. Черновим Б.О. та д.т.н., проф. Мойсичиним В.М.

Особистий внесок здобувача:

- на основі літературного та патентного пошуків проведено аналіз впливу конструктивних факторів на довговічність конічних різьбових з'єднань [10];
- запропонована і розроблена методика розрахунку радіуса заокруглення “галтелі” замкового різьбового з'єднання та проведено експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків з різьбою нової конструкції [8, 10, 13];
- запропонована конструкція обважнених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми. Розв'язана задача визначення напружень, які виникають у перерізах ОБТЗЖ конічної форми при дії статичних та динамічних навантажень. Проведено дослідження розподілу деформації в елементах бурильної колони [2, 3, 4, 6, 7, 9, 12];
- визначено оптимальні параметри розвантажувальних канавок зварних з'єднань ОБТ, досліджено їх вплив на опір втомі в повітряному та корозійному середовищах; [3]
- проведено дослідження на довговічність зварних з'єднань обважнених бурильних труб з використанням критеріїв механіки руйнування та встановлено вплив тренування на опір втомі [5, 11, 14];
- отримала подальший розвиток методика описання кривої втоми, із застосуванням закону збереження енергії.

Апробація результатів дисертації. Основні положення праці доповідалися на Міжнародній конференції “Динаміка і стійкість композиційних структур (м. Львів, 1991р.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФІНГ (м. Івано-Франківськ, 1992-99рр.), конференціях молодих вчених ІФІНГ (м. Івано-Франківськ, 1991-95рр.), Міжнародному ярмарку науково-технічних досліджень (м. Москва, 1991р.), Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми і шляхи енергозбереження України” (м. Івано-Франківськ, 1993р.), Міжнародній конференції “Міцність і надійність конструкцій нафтогазового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 1994р.), Республіканській науково-практичній конференції “Стан, проблеми та перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України” (м. Львів, 1995р.), Республіканській науково-технічній конференції “Нафта і газ України-96” (м. Харків), Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України-2000” (м. Івано-Франківськ),

III Міжнародній науково-практичній конференції «Динаміка наукових досліджень 2004» (м.Дніпропетровськ.), I Міжнародній науково-практичній конференції «Науковий потенціал світу 2004» (м.Дніпропетровськ).

Виконані роботи знайшли своє відображення в планах НДР та ДКР і тематичних звітах Івано-Франківського інституту нафти і газу, науково-дослідного інституту «УкрНГІ» (м. Київ).

Результати досліджень в повному обсязі доповідались на засіданні кафедри буріння нафтових і газових свердловин 10 березня 2005р. та розширеному науковому семінарі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (28 квітня 2005р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 14 наукових працях, з них 7 статей у фахових виданнях України (1 одноосібно), 1 авторське свідоцтво, 1 патент, 1 інструктивний документ та 4 тези.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків і рекомендацій. Викладена на 160 сторінках машинописного тексту, включає 41 рисунок, 8 таблиць і список використаної літератури з 101 джерела.

Дослідження виконувались у співпраці з вченими та співробітниками ВНДІБТ, інституту електрозварювання ім. Е. Патона, УкрНГІ

Автор висловлює щире подяку директору Дрогобицького експериментально-механічного заводу спеціального обладнання п. Неструєву Л.П. за допомогу у розробці стенду та технології виготовлення ОБТ з приварними різьбовими кінцями.

Автор висловлює, також, подяку завідувачу кафедри вищої математики ІФНТУНГ, д. т. н., проф. Мойсичину В.М. за цінні поради і консультації в процесі виконання роботи, та науковому керівнику – завідувачу кафедри фізики ІФНТУНГ, д. т. н., проф. Чернову Б.О.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, наведено основні напрямки наукових досліджень і дано її загальну характеристику.

У першому розділі проведено аналіз аварій з бурильними колонами при спорудженні глибоких свердловини, а також умов роботи з'єднань елементів бурильних колон та вплив різних чинників на їх довговічність. Показано, що більше 50% аварій, які відбуваються з бурильною колоною, пов'язані з корозійно-втомним руйнуванням різьбових з'єднань, з яких 30% припадає на долю замкових різьбових з'єднань ОБТ.

Вагомий внесок в дослідження визначення механізму впливу матеріалу, конструктивних та технологічних чинників на міцність і довговічність різьбових з'єднань бурильних і обважнених бурильних труб в процесі буріння свердловин внесли такі вітчизняні та зарубіжні

вчені, як Альтман Т., Барішніков А.І., Газанчан Ю.І., Гормлі Е.Ф., Данелянц С.М., Дубленіч Ю.В., Івасів В.М., Ільський А.Л., Копей Б.В., Крижанівський С.І., Кудрявцев І.В., Лачинян Л.А., Мочернюк Д.Ю., Трішман Т., Чернов Б.О., Щербюк М.Д., Шнейдер К, Ясов В.Г. та інші.

Виконані роботи дозволили значно підвищити експлуатаційні характеристики бурильних колон, але як показує практика буріння свердловин, все ще відбуваються аварії і існує цілий ряд питань, які потребують свого вирішення.

Аналіз результатів експериментальних та промислових досліджень показав, що низька границя витривалості замкових різбових з'єднань ОБТ обумовлена конструктивною невідосконаленістю різбових з'єднань, нерівномірністю розподілу навантажень між витками різби, високою концентрацією напружень, впливом корозійного середовища, що і призводить до аварій і ускладнень при бурінні свердловин.

Під час буріння свердловин роторним способом на бурильну колону діють значні динамічні навантаження і динамічна стійкість бурильної колони в значній мірі залежить від конструкції компоновки низу бурильної колони (КНБК). Відповідно особливим питанням є вивчення поздовжніх, крутильних та поперечних коливань бурильної колони в процесі експлуатації і розробка методики для роторного буріння, яка б враховувала інерційну складову від обертання труб.

Аналіз існуючих конструкцій ОБТ та промислових даних показав, що в основному використовуються ОБТ довжиною 6,5 м. Це призводить до збільшення числа різбових з'єднань, а відповідно і до кількості аварій в процесі буріння. Важливим напрямком досліджень є створення обважнених бурильних труб з приварними кінцями довжиною 9–12 м. Аналіз сучасного стану проблеми створення високоміцних товстостінних зварних з'єднань із різнорідних сталей виявлено, що технологічні процеси достатньо повно досліджені лише для тонкостінних деталей.

Виходячи з актуальності проблеми підвищення ефективності буріння свердловин за рахунок збільшення ресурсу бурильної колони, неоднозначності висновків дослідників про вплив цілого ряду факторів на довговічність ЗРЗ, відсутності технології по створенню товстостінних зварних з'єднань виникає необхідність у проведенні всесторонніх теоретичних і експериментальних досліджень та розробці на їх основі засобів, які забезпечать безаварійну роботу бурильних колон протягом всього часу буріння свердловин.

В другому розділі наведено опис стендів для дослідження на опір втомі натурних зразків різбових та зварних з'єднань, для дослідження на тріщиностійкість сталей, з яких виготовляються бурильні та обважені бурильні труби, а також вимірювального обладнання, яке використовується при дослідженні напруженого стану згвинчених замкових різбових з'єднань. При встановленні аналітичних залежностей, обробці експериментальних даних та визначенні

втомних характеристик різьбових з'єднань бурильної колони, використовувались сучасні методи математичної статистики.

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

Третій розділ присвячений теоретичним та експериментальним дослідженням з розробки раціональних конструкцій КНБК і її елементів, розрахунку динамічних характеристик бурильної колони в процесі буріння свердловин роторним способом.

Обґрунтовано, що використання перехідників існуючих конструкцій для з'єднання секцій бурильних і обважнених бурильних труб призводять до різкої зміни жорсткості та значних напружень в перехідних перерізах, які сприяють накопиченню втомних тріщин та руйнуванню бурильних труб в процесі роторного буріння свердловин.

Запропоновані Черновим Б.О., Дубленичем Ю.В. двох- та трьохступінчасті конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості (ОБТЗЖ) призводять до зниження напружень в перехідній зоні, але повністю не вирішують проблему.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено нові конструкції ОБТЗЖ експоненціальної форми[8], в яких зміна зовнішнього діаметра труби від ніпельної до муфтової частини змінюється за залежністю:

$$D(\alpha) = 2e^{\alpha x + \beta}, \quad (1)$$

де D – зовнішній діаметр труби; x – координата зміни поперечного перерізу труби з початком відліку від ніпеля; α і β – константи, які визначаються геометричними параметрами конструкції.

Таке конструктивне рішення забезпечує плавну зміну моменту інерції від ніпельної до муфтової частини ОБТ, а відповідно і плавну зміну жорсткості системи.

Для прогнозування довговічності елементів бурильної колони необхідно знати величину та характер розподілу напружень, які виникають в процесі роторного буріння. Для розв'язку поставленої задачі створена математична модель роботи бурильної колони з ОБТЗЖ експоненціальної форми.

Обважену бурильну трубу змінної жорсткості експоненціальної форми змодельовано однопрогінним вертикальним стержнем змінного перерізу з внутрішнім отвором постійного діаметра, пружна лінія якого перебуває під дією осьових і відцентрових сил, крутного моменту, тиску і промивальної рідини, що рухається.

Диференціальне рівняння поздовжніх коливань труби змінної жорсткості взято у вигляді [1]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[A(x)E \frac{\partial U}{\partial x} \right] = \rho A(x) \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + \rho A(x)g - f(x,t), \quad (2)$$

де $U(x, t)$ – переміщення x –перерізу труби в момент часу t ; E – модуль пружності; ρ – густина матеріалу труби; g – прискорення земного тяжіння.

Розв’язуючи (2) з урахуванням граничних умов динамічні складові сили $F(x, t)$ та крутного моменту $M(x, t)$ в x –перерізі труби змінної жорсткості знаходимо за формулами:

$$F(x, t) = -A(x)E \frac{d\tilde{U}(x)}{dx} e^{ip_0 t}, \quad (3)$$

$$M(x, t) = -I_o(x)G \frac{d\tilde{\Phi}(x)}{dx} e^{ig_0 t}. \quad (4)$$

На підставі (3) та (4) розроблено програму, складено алгоритм і проведено розрахунки динамічних складових сил та крутних моментів в елементах бурильної колони при різних КНБК. Одержано графічні залежності зміни амплітуд динамічних складових переміщень $U(x)$, сил $F(x)$, кутів повороту $\Phi(x)$ і крутних моментів $M(x)$ по довжині бурильної колони.

Теоретичні розрахунки свідчать, що перехідні ділянки від труб одного типорозміру до іншого, набрані з ОБТЗЖ експоненціальної форми, спричиняють плавну зміну динамічних характеристик по тілу колони, що сприяє підвищенню її довговічності при бурінні свердловин роторним способом.

Для підтвердження результатів аналітичних досліджень закономірностей зміни напружень, які виникають в елементах бурильної колони, проведені експериментальні дослідження натурних конструкцій ОБТ–178, ОБТ–203, ОБТЗЖ–178 та ОБТЗЖ–203. Дослідження показали, що застосування ОБТЗЖ експоненціальної форми в місцях переходу від одного типорозміру до іншого призводить до зменшення напружень в замкових різьбових з’єднаннях до 30% та до 60% в тілі бурильної труби, яка з’єднується з ОБТЗЖ.

Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень підтвердив практичну доцільність нових конструкцій ОБТЗЖ, які забезпечують зниження концентрації напружень в перехідній зоні від бурильних до обважнених бурильних труб, зменшують амплітуду поздовжніх коливань бурильної колони та підвищують її стійкість, що веде за собою підвищення роботоздатності бурильної колони в процесі буріння свердловин роторним способом.

На основі даного матеріалу розроблено інструктивний документ з використанням в КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості, що затверджений у ВАТ «Укрнафта» та ВГО «Полтаванафтогазгеологія».

Четвертий розділ присвячений удосконаленню конструкцій елементів низу бурильної колони. Для створення навантаження на долото та забезпечення стійкості бурильної колони в КНБК входять ОБТ із замковими різьбовими з’єднаннями. З метою підвищення опору втомі

Біргер І.А. та Іосилевич Г.Б. досліджували конічне різьбове з'єднання, в якого по всій довжині різьби ніпеля з ненавантаженої сторони витка були виконані заглиблення однакової величини. Встановлено, що таке конструктивне рішення призводить до зменшення коефіцієнта концентрації напружень у впадині різьби та підвищенню границі витривалості на 27% і не призводить до перерозподілу навантажень між витками різьби.

На основі аналітичних досліджень нами розроблена конструкція замкового різьбового з'єднання, в якому на різьбових ділянках ніпеля і муфти з ненавантаженої сторони витка виконані заглиблення змінної величини, які збільшуються від торця і досягають оптимального значення в площині впадини першого витка різьби ніпеля та останнього спряженого витка різьби муфти. Зміна заглиблення на один виток визначається із співвідношення:

$$\delta_i = \frac{C_i \cdot D^2}{d_i \cdot n}, \quad (5)$$

де D – зовнішній діаметр труби; d_i – внутрішній діаметр різьби в розрахунковій площині; n – число повних витків різьби; C_i – коефіцієнт пропорційності, рівний 0,011.

Радіус заглиблення (галтелі) визначається із співвідношення:

$$r = \frac{C_2 S^2}{h_i}, \quad (6)$$

де S – крок різьби; h_i – висота профілю різьби; C_2 – коефіцієнт пропорційності рівний 0,1.

При згинчуванні такого різьбового з'єднання крутними моментами з $\sigma_r = (0,6 \div 0,8)\sigma_{0,2}$ відбувається перерозподіл напружень між витками різьби, за рахунок різної податливості витків.

Для підтвердження даного висновку проведені експериментальні дослідження по вивченні напружень в замковому різьбовому з'єднанні МК156×5,5×1:32.

Дослідження показали, що напруження які виникають в площині першого спряженого витка різьби ніпеля нової конструкції на 35% менші ніж в з'єднаннях, виготовлених згідно РТМ26–02–15–82.

Для визначення кількісних залежностей проведені експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків ЗН–80 з різьбою З–62 із сталі 40ХН2МА з $\sigma_{0,2}=680$ МПа, виготовлених згідно ГОСТ 5286–78 і з'єднань нової конструкції з заглибленнями змінної величини. Дослідження натурних зразків, згинчених з оптимальним крутним моментом рівним 3кН·м, проводили на випробній машині УП–100.

Аналіз результатів досліджень показав, що границя витривалості різьбового з'єднання нової конструкції на 52% вища, ніж границя витривалості різьбових з'єднань зі збігом різьби.

Мочернюком Д.Ю. запропонована гіпотеза про можливість визначення границі витривалості конструкцій на основі балансу питомої енергії.

Елементи бурильної колони конструктивно і умовами експлуатації значно відрізняються від конструкцій зразків, на яких проводилися експериментальні дослідження та розроблялася теорія руйнування матеріалу, а, відповідно, і теоретичне обґрунтування експериментальної діаграми Веллера на основі балансу питомої енергії.

На основі аналізу результатів великої кількості досліджень на опір втомі натурних зразків елементів бурильної колони, аналітичних досліджень, внесено доповнення, поправки і уточнення в запропоновану теорію, що дозволило одержати нову методику розрахунку границі витривалості конструкцій.

Підвищення ефективності проведення бурових робіт та покращення технологічних показників можливе при умові розробки високоміцнісних конструкцій бурильних та обважнених бурильних труб.

В Україні випускаються гарячекатані ОБТ із сталі марки «Д» довжиною 6, 9 та 12 м, а також збалансовані ОБТ довжиною 5,6–6,1 м із сталі 40ХН2МА з термообробленими різбовими кінцями.

На перший погляд, гарячекатані ОБТ мають переваги над збалансованими ОБТ, тому, що мають більшу довжину, що впливає на прискорення спуск–підймальних операцій та скорочує кількість замкових різбових з'єднань в бурильній колоні. Проте, як показав аналіз роботоздатності ОБТ та ОБТЗ, ресурс гарячекатаних значно нижчий, ніж збалансованих ОБТ. Недоліком збалансованих ОБТ є їх мала довжина, а також те, що термообробка кінців труб довжиною 1,2 м проводиться індукційним методом, який не забезпечує однорідності механічних властивостей матеріалу в поперечному перерізі ОБТЗ.

З метою підвищення ресурсу та експлуатаційних характеристик ОБТ, покращення техніко–економічних показників буріння свердловин, нами вдосконалена зварна конструкція ОБТЗ довжиною 9–12 м, яка складається з окремих секцій, з'єднаних шляхом зварювання. З метою економії дефіцитної легованої сталі середня секція виготовляється із вуглецевої сталі, а приварні кінці із легованої сталі з об'ємною термообробкою.

Оскільки роботи по розробці зварних конструкцій товстостінних ОБТ із різнорідних сталей практично відсутні, то з метою одержання досконалої технології виготовлення запропонованої конструкції, нами проведені дослідження різних способів зварювання, з врахуванням впливу конструктивних і технологічних факторів, на опір втомі, як у повітряному, так і в корозійному середовищах. Дослідження електродугового способу зварювання в повітряному та захисному середовищах проводились на спеціально змонтованих досліджувальних стендах в ІФНТУНГ та Дрогобицькому експериментально-механічному заводі спеціального обладнання, а контактнo-стикoвoгo – в інституті електрозварювання ім. Є.Патона.

Для визначення технологічних параметрів досліджено вплив конфігурації зварного шва, температури підігріву та термовідпуску, швидкості подачі дроту, величини струму і напруги, вплив середовища та інших чинників на міцність зварних з'єднань.

Для визначення міцнісних характеристик зварних з'єднань проведені експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків ОБТ із приварними різьбовими кінцями діаметром 73, 146, 178 мм, виготовлених електродуговим та контактнo-стиковим способами. Встановлено, що умовна границя витривалості зварних з'єднань діаметром 146 мм, виготовлених контактнo-стиковим способом із сталі 45 і 40ХН2МА в повітряному середовищі становить 120 МПа, а в корозійному середовищі (3% водний розчин NaCl) на 20% нижча. Аналогічні результати одержані і для інших типорозмірів ОБТ. Умовна границя витривалості натурних зразків, виготовлених електродуговим способом на 17% нижча, ніж зразків виготовлених контактнo-стиковим способом.

Аналіз результатів досліджень впливу тренування на довговічність зварних з'єднань натурних зразків діаметром 73 мм, виготовлених електродуговим способом в захисному середовищі зі сталі 45×36Г2С та контактнo-стиковим способом із сталі 45×40ХН2МА показав, що тренування підвищує умовну границю витривалості зварних з'єднань, в середньому, на 40%.

З метою збільшення ресурсу ОБТЗЗ за рахунок підвищення умовної границі витривалості зварних з'єднань, запропоновано та розроблено конструкції розвантажувальних канавок, які виконують з обох боків зварного з'єднання. Під час розрахунку раціональних параметрів розвантажувальних канавок зварних з'єднань ОБТ, виходили з пропорційності відношення приросту границі витривалості зварних з'єднань до коефіцієнта відносної податливості конструкції $\Delta\sigma = f(\lambda)$. Розрахунок зовнішнього діаметру розвантажувальних канавок ОБТЗЗ проводиться згідно запропонованої емпіричної залежності:

$$d_{к.з.з.} = \sqrt[4]{10,2 \cdot I + d_{вн}^4}, \quad (7)$$

де $d_{вн}$ – внутрішній діаметр ОБТ; I – полярний момент інерції.

Експериментальними дослідженнями натурних зразків ОБТЗЗ–80 на опір втомі встановлено, що оптимальне значення величини коефіцієнта відносної податливості, при умові рівності граничних величин згинаючих моментів по суцільному тілу труби та зварному з'єднанні з розвантажувальними канавками, для всіх типорозмірів ОБТЗЗ, знаходиться в межах $\lambda=1,58\div 1,6$, при якому умовна границя витривалості зварних з'єднань підвищується на 45%, окрім того, аналіз результатів досліджень напружень, які виникають в замковому різьбовому з'єднанні ОБТ–178 показав, що ці ж розвантажувальні канавки, призводять до зменшення напружень у впадінні останнього спряженого витка різьби муфти на 28%, а у впадінні першого спряженого витка різьби ніпеля на 17%.

Враховуючи, що дослідження натурних зразків зварних з'єднань дають лише інтегральні характеристики міцнісних властивостей, то для дослідження причин відсутності кореляції між границею витривалості основного металу і навколошовної зони, проведені дослідження матеріалу на тріщиностійкість. Встановлено, що порогові значення коефіцієнта інтенсивності напружень досліджуваних сталей основного металу та в зоні зварного шва відрізняються на дуже малу величину (7...10%). Одержані результати досліджень дозволяють більш диференційовано підходити до оцінки придатності тієї чи іншої сталі для виготовлення ОБТЗЖ та розрахунку конструкції на довговічність.

У п'ятому розділі наведено результати промислових випробувань обважнених бурильних труб змінної жорсткості та економічна ефективність від їх використання. Промислові дослідження ОБТЗЖ експоненціальної форми проводились на свердловинах Прилуцького УБР та ВГО «Укрзахідгеологія». У Прилуцькому УБР досліджувалося 24 ОБТЗЖ експоненціальної форми на свердловинах Матлаховська – 10, 39, 102, 104; Шуровська – 17, 19; Скороходівська – 93, 36, 94; Ярошевська – 23, 25; Софіївська – 50, 52.

Під час промислових досліджень дослідної партії труб у Прилуцькому УБР, за результатами дефектоскопії відзначено підвищення довговічності та надійності в роботі елементів бурильної колони (у першу чергу різьбових з'єднань), за рахунок зменшення концентрації напружень у перехідних ділянках з'єднання секцій ОБТ з бурильними трубами, а також секцій ОБТ різних типорозмірів. Підвищення роботоздатності бурильної колони пояснюється також зниженням динамічних напружень по довжині компоновки.

Під час буріння свердловин складного профілю спостерігається зниження на 10-20% обертового моменту, який фіксується моментоміром ротора бурової установки в процесі експлуатації компоновок з ОБТЗЖ у порівнянні з типовими компоновками. Цей факт пояснюється тим, що бурильна колона змінної жорсткості володіє більшою гнучкістю і краще вписується в профіль свердловини, зменшуючи тим самим момент опору обертання компоновок.

У Прилуцькому УБР із застосуванням ОБТЗЖ пробурено 10999 погонних метрів свердловин. Економічний ефект від впровадження обважнених бурильних труб змінної жорсткості, за рахунок збільшення терміну експлуатації елементів бурильних колон, зменшення затрат потужності, становить 290651944 рубл. у цінах на 1.09.93р.

Аналогічні результати промислових досліджень одержано на свердловинах ВГО «Західукргеологія». Сумарний час механічного буріння компоновками із застосуванням ОБТЗЖ склав 17450 годин, за які пробурено 6443 погонні метри свердловини. Економічний ефект від використання конструкцій ОБТЗЖ на нафтопромислах ВГО «Західукргеологія» склав в цінах 1994 року 832,888 млн. крб.

На основі результатів теоретичних, експериментальних і промислових досліджень розроблено інструктивний документ по вдосконаленню технології буріння з застосуванням в КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості при бурінні нафтових і газових свердловин та затверджено у ВАТ «Укрнафта» і ВГО «Полтаванафтогазгеологія».

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що виявляється в підвищенні ефективності буріння свердловин, за рахунок розробки нових конструкцій обважнених бурильних труб, замкових різьбових з'єднань підвищеної міцності та удосконалених конструкцій компоновок низу бурильної колони.

Основні наукові і практичні результати, висновки і рекомендації, одержані при виконанні теоретичних, експериментальних і промислових досліджень зводяться до наступного.

1. Наведені результати статистичного аналізу аварій з різьбовими з'єднаннями ОБТ на підприємствах ВАТ «Укрнафта» за 1994 – 2004 роки.

Аналіз показує, що за даний період відбулася велика кількість аварій з ОБТ за рахунок високого коефіцієнта концентрації напружень у впадині різьби, нерівномірного розподілу між витками різьби та незрівноваженості різьбового з'єднання.

2. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень характеру розподілу напружень між частками різьби розроблено конструкції конічних різьбових з'єднань (а.с. 176 1993), в яких за рахунок перерозподілу напружень між витками різьби та зменшення коефіцієнта концентрації напружень у впадині різьби границя витривалості підвищується на 52% в порівнянні з різьбами виготовлених згідно ГОСТ 5286-89.

3. Удосконалено математичну модель бурильної колони та розроблено конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми (Пат. Рос. №041001 МПК 6Е21В 17/00) які забезпечують плавну зміну напружень вздовж тіла труби і підвищують її довговічність роботи.

Вперше розв'язана задача визначення напружень, які виникають в ОБТЗЖ експоненціальної форми при дії статичних та динамічних навантажень, а також доведена доцільність їх використання в КНБК.

4. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструкції розвантажувальних канавок ОБТ з приварними кінцями із різнорідних сталей та одержано аналітичні залежності для визначення їх оптимальних параметрів, які забезпечують підвищення границі витривалості зварних з'єднань на 50% та зменшення напружень у впадині першого спряженого витка різьби ніпеля на 17%.

Дослідженнями впливу тренування і корозійного середовища (3% водний розчин NaCl) на опір втомі зварних з'єднань ОБТ встановлено, що тренування підвищує границю витривалості зварних з'єднань виготовлених електродуговим способом в захисному середовищі на 34%, а виготовлених контактним стиковим способом на 43%, а корозійне середовище понижує границю витривалості на 22–23%.

5. Розроблені технічні засоби та удосконалена конструкція КНБК забезпечили підвищення ефективності буріння нафтових і газових свердловин роторним способом за рахунок удосконалення конструкцій компоновок низу бурильних колон шляхом збільшення ресурсу елементів бурильних колон при роторному способі буріння. Економічна ефективність від впровадження розроблених технічних засобів та технологій склала 350 тис.крб. в цінах 1990 р.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО РОБОТІ:

1. Мойсисин В.М., Чернов Б.О., Сімків М.Є. Вивчення напруженого стану бурильної колони з обважненими бурильними трубами змінної жорсткості //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ :ІФДТУНГ, 1993, - Вип. 30. – С. 51-60.

2. Мойсисин В.М., Чернов Б.О., Сімків М.Є. Вивчення дотичних напружень в колоні з обважненими трубами змінної жорсткості // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ :ІФДТУНГ, 1993. – Вип. 30. – С. 63-68.

3. Сімків М.Є. Застосування зварних конструкцій ОБТ для будівництва нафтових і газових свердловин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислова механіка. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. 1994. – Вип. 31. – С. 109-114.

4. Сімків М.Є., Мойсисин В.М., Чернов Б.О. Динаміка труб змінної жорсткості. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазпромислове обладнання. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. – Вип. 36. (Том 4). – С. 210-226.

5. Чернов Б.О., Сімків М.Є., Мазур М.П., Думич О.М. Дослідження на тріщиностійкість сталей 40ХН2МА і марки Д, які використовуються для виготовлення елементів бурильної колони. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2001. – Вип. 38 (Том 2). – С. 161-168.

6. Мойсисин В.М., Чернов Б.О., Сімків М.Є. Застосування обважнених труб змінної жорсткості при експлуатації бурильної колони. / Інструкція. Затв. у ВАТ «Укрнафта» 23.12.93р. і ВГО ПНГГ - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1993. – 75с.

7. Резьбовое соединение: А.с. 1761999 СССР МКИ F16B 33/04; F16L 15/00 /Чернов Б.А.,Чернов Н.А., Бабюк И.С., Симкив М.Е., Неструев Л.П., - СССР.- №4843706/27. – Заявлено; 07.05.90: Опубл. 15.09.92; Бюл. №34.

8. Утяжеленная бурильная труба: Пат России №041001, МПК 6Е21В 17/00. /Чернов Б.А., Симкив М.Е., Мойсишин В.М., Чернов В.Б. -№93041199/03, Заявл. 16.08.93: Опубл.25.01.97.

9. Мойсишин В.М., Чернов Б.О., Сімків М.Є. Вплив труб змінної жорсткості на динаміку бурильної колони. /Івано-Франківськ, 1993.- 12с.-Укр.- іл. Деп. в ДНТБ України 08.07.93р., №1439 – УК.93.

10. Чернов Б.О., Симкив М.Є. Дослідження стійкості ділянки бурильної колони із застосуванням ОБТ змінної маси. //Матеріали доповідей І науково-технічного семінару: «Динаміка і стійкість композиційних структур» - Львів-Ворохта, 1991. – С. 39.

11. Чернов Б.О., Сімків М.Є., Бабюк І.С. Оцінка впливу динамічних навантажень на роботоздатність замкових різьбових з'єднань з врахуванням критеріїв механіки руйнування. //Матеріали доповідей І науково-технічного семінару: «Динаміка стійкості композиційних структур» - Львів-Ворохта, 1991. – С. 57.

12. Чернов Б.О., Сімків М.Є. Підвищення експлуатаційних характеристик бурильної колони за рахунок конструктивних і технологічних факторів //Збірник статей міжнародної науково-практичної конференції: «Проблеми і шляхи енергозабезпечення України» Частина 2. Буріння нафтових і газових свердловин. Івано-Франківськ, 1995,–С.44-45.

13. Чернов Б.О., Сімків М.Є. Динаміка стійкості бурильної колони. //Збірник статей міжнародної науково-практичної конференції: «Проблеми і шляхи енергозабезпечення України»Частина 2. Буріння нафтових і газових свердловин. Івано-Франківськ, 1995,–С.45-46.

14. Чернов Б.О., Сімків М.Є. Визначення критеріїв роботоздатності зварних з'єднань обважнених бурильних труб. //Матеріали 6-ї Міжнародної науково-практичної конференції: «Нафта і газ України-2000». Зб. наук. праць. Том 2. ІФДТУНГ Івано-Франківськ, 2000. –С.110-114.

Анотація

Сімків М.Є. Підвищення ефективності буріння свердловин за рахунок вдосконалення елементів компоновки низу бурильної колони. – Рукопис.

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

Захищаються 14 наукових праць, що містять результати теоретичних і експериментальних досліджень умов роботи бурильної колони при бурінні свердловини роторним способом, витривалості різьбових і зварних з'єднань елементів бурильної колони.

Одержані закономірності закладені в основу розробки нових, патентозахищених конструкцій обважнених бурильних труб, замкових різьбових з'єднань, раціональних конструкцій КНБК.

Впровадженням наукових розробок при бурінні нафтових і газових свердловин буровими підприємствами України підтверджено їх технологічність та економічну ефективність.

Ключові слова: бурильна колона, різьбове з'єднання, зварне з'єднання, довговічність, ніпель, муфта.

Аннотація

Симкив М.Е. Повышение эффективности бурения скважин за счет усовершенствования элементов компоновки низа бурильной колонны. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, 2005.

Защищаются 14 научных трудов, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований условий работы бурильной колонны при бурении скважин роторным способом, долговечность резьбовых и сварных соединений.

Диссертация посвящена проблеме повышения эффективности проведения буровых работ за счет усовершенствования элементов компоновки низа бурильной колонны.

Существующие конструкции компоновок низа бурильной колонны не обеспечивают снижение напряжений в переходной части бурильной колонны от бурильных до утяжеленных бурильных труб. Для решения данной задачи разработаны утяжеленные бурильные трубы переменной жёсткости экспоненциальной формы, усовершенствована математическая модель работы бурильной колонны с УБТПДЖ (утяжеленными бурильными трубами переменной жёсткости) в компоновке низа бурильной колонны и решена задача по определению динамических параметров при роторном способе бурения. Установлено, что использование утяжеленных бурильных труб переменной жёсткости экспоненциальной формы в КНБК обеспечивает снижение напряжений в бурильных трубах, примыкающих непосредственно к УБТ, устойчивость утяжеленного низа бурильной колонны повышает локализацию энергии на забое, способствует повышению работоспособности бурильной колонны. Промысловые испытания на нефтепромыслах ОАТ «Укрнефть» доказали их практическую ценность и экономическую эффективность.

На основании результатов теоретических, экспериментальных и промысловых испытаний разработано инструктивный документ об использовании УБТПДЖ в компоновке низа бурильной

колонны. Исследовано влияние конструктивных и технологических факторов на сопротивление усталости замковых резьбовых соединений. Установлено, что низкое значение сопротивления усталости замковых резьбовых соединений происходит за счет неравномерности распределения напряжений между витками резьбы. Разработана новая конструкция замковых резьбовых соединений «галтэльного» типа, проведены исследования напряженного состояния, а также на сопротивление усталости натуральных образцов, которые показали повышение предела выносливости на 52%.

С целью увеличения длины УБТ и уменьшения числа резьбовых соединений, а также экономии дорогостоящей легированной стали, усовершенствована конструкции УБТ с приварными резьбовыми концами длиной 9–12 м, разработана технология изготовления, определены оптимальные параметры разгружающих канавок, а также, проведены экспериментальные исследования на сопротивление усталости натуральных образцов сварных соединений различных типоразмеров, изготовленных из стали 45, 40ХН2МА, 36Г2С. Разработанная технология изготовления обеспечивает достаточно высокую прочность сварных соединений, что подтверждается фрактографическим анализом и исследованиями на трещиностойкость материала.

Ключевые слова: бурьянная колонна, резьбовое соединение, сварное соединение, муфта, ниппель, долговечность.

ABSTRACT

Simkiv M. Je. Well drilling efficiency by improving assembly elements of drill bottom. – Manuscript.

Dissertation for candidate of Technical Science Degree in specialty – 05.15.10.- well drilling. Ivano–Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano–Frankivsk, 2005.

14 scientific papers are presented for defending. They contain the results of theoretical and experimental research into the conditions of drill column operation when drilling wells by rotary drilling. Tattng strength of threaded and weld joints of drill column elements has also been investigated.

Regularities have been obtained which are basis for developing new constructions, drilling strings treaded joints rational UDCB constructions.

Technological and economic efficiency of the research made has been acknowledged when drilling oil and gas wells by drilling enterprises of Ukraine.

words: drill column, rotary drilling, load, stability, durability, threaded joint, weld joint, fatig

