

622.24.053
Г85

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

Гриців Василь Васильович



УДК 622.24.053(04)

Г85

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ
РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ**

05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013

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
Івасів Василь Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
професор кафедри нафтогазового обладнання,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кожевников Анатолій Олександрович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»,
професор кафедри техніки розвідки родовищ
корисних копалин, м. Дніпропетровськ;

кандидат технічних наук
Янишевський Андрій Ярославович,
Інженер I – ої категорії
ВТВНГ НДПІ, ПАТ «Укрнафта»,
м. Івано-Франківськ.

Захист відбудеться **“10” грудня 2013 р. о 13⁰⁰ год.** на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, 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, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий **“8”** листопада 2013 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

Пилипів Л. Д.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

Актуальність теми. На сьогодні економічний розвиток України значною мірою стримується нестачею власних енергоресурсів. Тому останніми роками Україна все активніше займається питаннями збільшення видобутку вуглеводневої сировини. Однією із складових цього процесу є спорудження глибоких похило-скерованих та горизонтальних свердловин. Проте надзвичайно важкі гірничо-геологічні умови буріння таких свердловин значно ускладнюють роботу бурильної колони. У зв'язку із цим вимоги до надійності елементів бурильної колони зростають, а дослідження в цій області набувають важливого теоретичного та практичного значення.

Вагомий внесок у розвиток обраного напрямку зробили такі українські та закордонні вчені, як Артим В. І., Джафаров К. І., Дубленич Ю. В., Івасів В. М., Карпаш О. М., Копей Б. В., Крижанівський Є. І., Лачинян Л. А., Лисканич М. В., Малько Б. Д., Похмурський В. І., Саркісов Г. М., Сароян О. Е., Сімолянц Л. Е., Северинчик М. О., Харченко Є. В., Щербюк М. Д., Якубовський М. В. та інші.

Як свідчить практика буріння нафтових та газових свердловин, найбільш поширеними причинами відмов елементів бурильної колони є втомні та корозійно-втомні пошкодження. На механізм їх виникнення впливають властивості матеріалу, корозійна активність бурового розчину, навантажуваність елементів бурильної колони і деякі інші чинники. Зважаючи на складність проблеми, необхідним є проведення комплексу експериментальних та теоретичних досліджень, спрямованих на розробку нових та удосконалення існуючих методів прогнозування ресурсу елементів бурильної колони із урахуванням найбільш небезпечних чинників, які призводять до їх руйнування.

Робота виконана на кафедрі нафтогазового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота є частиною науково-дослідних програм із розвитку нафтогазопромислового комплексу України і базується на результатах науково-дослідних робіт:

Д-1/07-Ф «Дослідження нових енергоресурсозберігаючих, екологічно безпечних технологій видобування та транспортування вуглеводнів» (Державний реєстраційний №0107U001558);

585/08 «Розробка і впровадження пружних муфт для удосконалення технології буріння похило-скерованих свердловин у ДАТ «Чорноморнафтогаз» (Державний реєстраційний №0108U009397);

GR/F27/0055 МОН України «Оптимізація глибинного бурового обладнання та технології буріння скерованих свердловин для освоєння важкодоступних нафтогазових покладів шляхом оцінки енергетичних витрат» (Державний реєстраційний №0110U002629).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є забезпечення надійної експлуатації елементів бурильної колони шляхом удосконалення методів прогнозування їх ресурсу.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

1) провести аналіз причин відмов бурильних труб та їх з'єднань у процесі буріння свердловин;

ан 8429 - ан 8430

2) удосконалити методи оцінки напружено-деформованого стану різьбових з'єднань бурильних труб;

3) виконати експериментальні дослідження втомного ресурсу трубної сталі та елементів бурильної колони при блоковому навантажуванні;

4) провести корозійно-електрохімічні дослідження поведінки трубної сталі в середовищі бурового розчину та впливу поверхневої захисної плівки на корозійні процеси;

5) удосконалити методи прогнозування втомного ресурсу елементів бурильної колони;

6) впровадити методи і засоби забезпечення надійної роботи бурильної колони у виробництві.

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан різьбових з'єднань елементів бурильної колони, втомне і корозійне їх пошкодження.

Предмет дослідження – методи прогнозування ресурсу елементів бурильної колони.

Методи дослідження. Під час аналізу напружено-деформованого стану бурильних труб та їх з'єднань застосовувався метод скінченних елементів та математичні методи теорії диференціальних рівнянь. Дослідження втомного ресурсу елементів бурильної колони проводилося із залученням методів кінетичної теорії втоми, статистичних методів оброблення й аналізу результатів експериментальних досліджень. Лабораторні випробування проводили на установках, які імітують умови роботи бурильної колони, близькі до експлуатаційних. Для встановлення закономірностей корозійної поведінки сталей у буровому розчині застосовувалися електрохімічні методи досліджень. Розрахунки згідно з розробленими математичними моделями проводилися з використанням сучасних програмних пакетів “Maple” та “MathCAD”.

Положення, що виносяться на захист.

1. Закономірності впливу шкочих навантажувач на ресурс матеріалу елементів бурильної колони.

2. Метод прогнозування втомного ресурсу бурильних труб із урахуванням кривих втоми, що містять розрив між малоцикловою та багатоцикловою областями.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено тривимірну модель різьбових з'єднань елементів бурильної колони із повним відтворенням його конструктивних та технологічних параметрів, що дає змогу оцінювати напружено-деформований стан з використанням імітаційного моделювання.

2. Вперше обґрунтовано доцільність використання кривої втоми із розривом між малоцикловою і багатоцикловою областями для прогнозування втомного ресурсу бурильних труб в умовах комплексного впливу високих та низьких напружень.

3. Удосконалено метод прогнозування ресурсу бурильних труб на основі С-критерію шляхом врахування локальних напружень, які виникають у різьбовому з'єднанні бурильної труби, визначених за результатами моделювання.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено керівний документ «Методика прогнозування довговічності бурильної колони та її елементів в ускладнених умовах буріння» із урахуванням удосконалених методів прогнозування втомного ресурсу бурильних труб та їх з'єднань, впроваджений у Стрийському ВБР.

2. Розроблено методику оцінки напружено-деформованого стану різьбових з'єднань елементів бурильної колони із використанням їх тривимірних моделей у програмному середовищі ANSYS Workbench.

3. Розроблено конструкцію пружної муфти бурильної колони (патент України № 62165), яка дає змогу сповільнити процес накопичення втомних пошкоджень у різьбових з'єднаннях елементів бурильної колони шляхом зниження напружень від згину. Пружна муфта передана у ПАТ «ДАТ«Чорноморнафтогаз».

Особистий внесок здобувача.

Із наукових праць, які опубліковано у співавторстві, на захист винесено їх основні частини, розроблені особисто дисертантом. Зокрема, в [1] удосконалено метод прогнозування втомного ресурсу бурильних труб на основі С-критерію; в [2] проведено експериментальні дослідження та їх аналіз; у [3] визначено параметри кривої корозійної втоми; в [4] удосконалено аналітичний метод оцінки напружено-деформованого стану різьбових з'єднань елементів бурильної колони; в [5] удосконалено метод прогнозування втомного ресурсу бурильних труб в умовах комплексного впливу високо- та низькоамплітудних напружень; у [6, 11] розроблено тривимірну комп'ютерну модель різьбового з'єднання для оцінки його напружено-деформованого стану; в [7] проведено корозійно-електрохімічні дослідження поведінки трубної сталі в середовищі бурового розчину та впливу поверхневої захисної плівки на корозійні процеси; в [8] досліджено вплив пікових навантажень на втомний ресурс призматичних зразків із трубної сталі 36Г2С; у [9] проведено аналіз корозійно-втомних руйнувань елементів бурильної колони; в [10] розроблено комп'ютерну модель пружної муфти для оцінки її напружено-деформованого стану, проведено теоретичні розрахунки жорсткості пружної муфти.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: міжнародній науково-технічній конференції молодих учених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії» (м. Івано-Франківськ, 2008), міжнародній науково-технічній конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування» (м. Тернопіль, 2009), міжнародній студентській науковій конференції «Молодая наука XXI века» (м. Краматорськ, 2010), X-тій міжнародній конференції-виставці «Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів» (м. Львів, 2010), IV-тій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми динамики и прочности в турбомашиностроении» (м. Київ, 2011), міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика – 2011» (м. Івано-Франківськ, 2011).

У повному об'ємі результати досліджень доповідалися на наукових семінарах кафедри нафтогазового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Публікації.

За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 11 наукових робіт, у тому числі 7 статей у фахових виданнях, 1 – патент України на корисну модель та 1 – у збірниках праць міжнародної конференції.

Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 135 найменувань на 14 сторінках, а також додатків на 5 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 124 сторінки, в тому числі 52 рисунки та 20 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета роботи, задачі та методи досліджень, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів, а також подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

У **першому розділі** досліджено сучасний стан проблеми забезпечення надійної експлуатації елементів бурильної колони.

Проведено аналіз аварійності в процесі буріння свердловин БУ «Укрбургаз» за період з 2003 по 2008 роки, який підтвердив, що аварії, пов'язані із елементами бурильної колони, є домінуючим: їх частка складає близько 50 % від загальної кількості. Найбільш поширеними та небезпечними причинами відмов елементів бурильної колони є втомні та корозійно-втомні пошкодження. На механізм їх виникнення впливають властивості матеріал, корозійна активність бурового розчину, навантажуваність елементів бурильної колони і деякі інші чинники.

Особливістю експлуатації бурильної колони є те, що вона піддається дії цілого ряду різноманітних детермінованих та випадкових навантажень, які є основною причиною руйнування її елементів.

Слід відзначити, що крім основних навантажень на колону бурильних труб нерідко діють і значні перевантаження. Вони виникають під час вивільнення прихопленої частини бурильної колони, порушеннях технології проведення спуско-підіймальних операцій, проходженнях колоною локально-викривлених та кавернозних ділянок стовбура свердловини тощо. Іноді сумарне напруження в елементах бурильної колони внаслідок перевантаження досягає значень границі пластичності і, навіть, границі міцності їх матеріалів. Тому неврахування таких перевантажень при оцінці втомного ресурсу бурильної колони може призвести до значного його завищення і, як наслідок, до створення аварійних ситуацій.

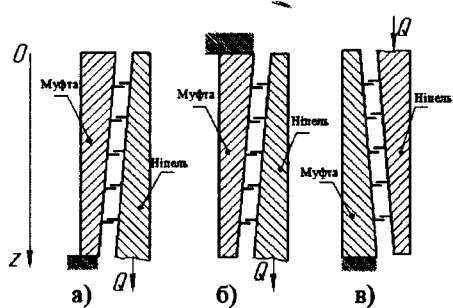
Таким чином, не зважаючи на значну кількість досліджень проведених з метою забезпечення надійної роботи бурильної колони, на сьогодні відсутні досконалі методики прогнозування втомного ресурсу елементів бурильних колон, які б дали змогу враховувати особливості їх експлуатаційного навантажування.

З'ясовано, що одним із напрямків забезпечення надійності бурильної колони при бурінні глибоких похило-скерованих та горизонтальних свердловин є застосування гнучкої ланки у нижній частині бурильної колони. Вона покращує проходження локально викривлених, кавернозних ділянок свердловини та

забезпечує сповільнення процесу накопичення втомних пошкоджень у різьбових з'єднаннях елементів низу бурильної колони шляхом зменшення напружень від гину.

Другий розділ присвячено оцінці напружено-деформованого стану та втомного ресурсу елементів бурильної колони.

Головним чинником, що обмежує ресурс бурильної колони, є складний напружено-деформований стан різьбових з'єднань її елементів. Щоб визначити напружений стан, необхідно розв'язати складну просторову контактну задачу. Крім цього, задача ускладнюється складними геометричними параметрами та граничними умовами з'єднання. Тому багато дослідників для визначення напружень використовують спрощені моделі, які не дають змоги отримати їх дійсні значення.



а – «розтягнений ніпель - стиснена муфта»; б – «розтягнений ніпель - розтягнена муфта»; в – «стиснений ніпель - стиснена муфта»

Рисунок 1 – Основні схеми навантаження різьбового з'єднання

У зв'язку із цим удосконалено аналітичний метод оцінки напружено-деформованого стану різьбових з'єднань елементів бурильної колони. Для дослідження використано методику оцінки навантаження циліндричного різьбового з'єднання типу «болт - гайка», запропоновану Біргером І. А. Нами враховано конусність з'єднання і отримано диференціальні рівняння розподілу навантаження по витках конічної різьби для основних схем навантаження різьбового з'єднання бурильних труб (рис. 1).

Так, для схеми навантаження «розтягнений ніпель - стиснена муфта» (рис. 1, а) маємо

$$Q''(z) + \frac{\gamma'(z)}{\gamma(z)} \cdot Q'(z) = \frac{\beta(z)}{\gamma(z)} \cdot Q(z), \quad (1)$$

$$\text{де } \beta(z) = \frac{1}{E_1 \cdot F_1(z)} + \frac{1}{E_2 \cdot F_2(z)} = \frac{1}{\pi \cdot E} \left(\frac{1}{r^2 - r_n^2} + \frac{1}{R^2 - r^2} \right);$$

$$\gamma(z) = \left(\frac{\Lambda_1(z)}{E_1} + \frac{\Lambda_2(z)}{E_2} \right) \cdot \frac{S^2}{f} = \frac{1}{\pi \cdot E} \left[\frac{S^2 \cdot \omega}{r \cdot t_2} + t g^2 \frac{\alpha}{2} \left(\frac{r_n^2}{r^2 - r_n^2} + \frac{R^2}{R^2 - r^2} \right) \right].$$

Слід відзначити, що для схем навантаження «розтягнений ніпель - розтягнена муфта» (рис. 1, б) та «стиснений ніпель - стиснена муфта» (рис. 1, в) диференціальне рівняння однакове тільки при визначенні напружень відрізняється знаком

$$Q''(z) + \frac{\gamma'(z)}{\gamma(z)} \cdot Q'(z) - \frac{\beta(z)}{\gamma(z)} \cdot Q(z) = - \frac{Q}{\gamma(z) \cdot E_2 \cdot F_2(z)}. \quad (2)$$

Крім цього, із використанням імітаційного моделювання розроблено тривимірну модель різьбового з'єднання із повним відтворенням його конструктивних та

технологічних параметрів, що дає змогу оцінювати напружено-деформований стан. Описано основні етапи та принципи моделювання різьбових з'єднань, реалізованого в програмному комплексі ANSYS Workbench.

На основі розробленої моделі проведено моделювання та одержано характер розподіл осевих напружень у замковому різьбовому з'єднанні 3-42 геологорозвідувальних бурильних труб від прикладеного моменту згвинчування (рис. 2). Встановлено, що похибка між числовими значеннями максимальних напружень, отриманих експериментальним (рис. 3, криві 1-4) та запропонованим розрахунковим шляхами (рис. 3, криві 1' - 4'), складає 5 – 10 %. Зміщення кривих можна пояснити особливостями методу тензометрування, у якому визначаються усереднені напруження по довжині тензодавача, а не їх дійсний розподіл.

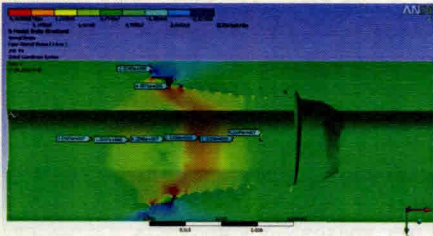
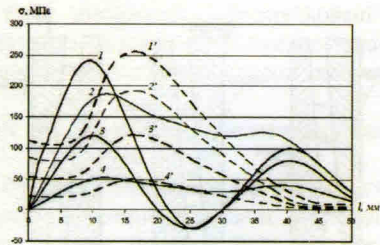


Рисунок 2 – Розподіл нормальних напружень у замковому різьбовому з'єднанні 3-42 від прикладеного моменту згвинчування $M_{зг}=3000$ Н·м



1 - 4 – експериментальні криві
(за даними М. О. Северинчика,
Ю. В. Дубленича, Є. І Крижанівського);
1' - 4' – розрахункові криві:
 $M_{зг} = 3000, 2500, 2000, 1000$ Н·м відповідно

Рисунок 3 – Розподіл нормальних напружень у ніпелі замкового різьбового з'єднання 3-42 від прикладеного моменту згвинчування

Як бачимо, порівняльний аналіз експериментальних даних із результатами розрахунків напружено-деформованого стану свідчить про адекватність розробленої тривимірної моделі замкового різьбового з'єднання. Слід відзначити, що запропонована методика дає змогу оцінювати напружено-деформований стан різьбових з'єднань будь-яких типорозмірів.

Також у розділі приведено удосконалений метод прогнозування ресурсу різьбових з'єднань бурильних труб на основі С-критерію, запропонований Почтенним С. К. Критерій втомлює емпіричну залежність між їх довговічністю та ступенем пошкодження і нормальним напруженням у небезпечному перерізі

$$\frac{N_T}{N} = \frac{C}{C_0} = \frac{\left| \ln \left[1 - \exp \left(- \frac{D}{1-D} \frac{\sigma_{\max}}{f} \right) \right] \right|}{\left| \ln \left[1 - \exp \left(- \frac{D_0}{1-D_0} \frac{\sigma_{\max}}{f} \right) \right] \right|}, \quad (3)$$

де N_T – поточна кількість циклів навантаження;

N – кількість циклів навантаження до руйнування;

C – поточне значення С-критерію;

C_0 – початкове значення С-критерію;

D – поточний ступінь пошкодження небезпечного перерізу;

σ_{\max} – максимальне напруження експлуатаційного циклу навантаження;

D_0, f – відповідно початковий ступінь пошкодження небезпечного перерізу та параметр, який має розмірність напруження. Дані величини приймаються незмінними для певної вибірки однотипних об'єктів.

За результатами експериментальних досліджень втомного ресурсу різьбових з'єднань бурильних труб СБТ-50, проведених Р. В. Рачкевичем, отримано залежності величини С-критерію від відносного напруцювання. Для визначення величини нормальних напружень автором використано модель пустотілого циліндра із еліптичною тріщиною. Проте відомо, що конструктивні параметри різьбових з'єднань призводять до концентрації напружень у їх небезпечному перерізі. Іноді локальні напруження, які виникають в зоні концентраторів, у декілька раз перевищують номінальні величини. Неврахування таких напружень при оцінці втомного ресурсу бурильних труб може призвести до його значного завищення. Тому удосконалення методу досягається шляхом врахування локальних напружень, що виникають у впадині різьби різьбового з'єднання бурильної труби від прикладеного зовнішнього навантаження. Оцінку напружено-деформованого стану з'єднання здійснено на основі розробленої тривимірної моделі за допомогою імітаційного моделювання, реалізованого у програмному комплексі ANSYS Workbench.

За результатами розрахунків втомного ресурсу різьбових з'єднань бурильних труб СБТ-50 отримано залежності величини С-критерію від відносного напруцювання із урахуванням локальних напружень (рис. 4).

Удосконалений метод забезпечує більшу кореляцію між величинами відносного напруцювання та С-критерієм. Про це свідчить більше числове значення коефіцієнта кореляції $r_{N_T/N, C} = 0,973$, в порівнянні із попередніми дослідженнями.

У **третьому розділі** представлено результати експериментальних та аналітичних досліджень втомного ресурсу елементів

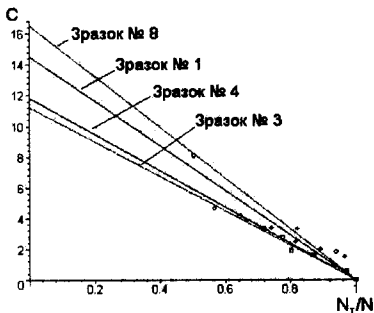


Рисунок 4 – Залежності С-критерію від відносного напруцювання

бурильної колони із урахуванням експлуатаційного навантажування.

Значна кількість науковців розглядали проблему визначення втомного ресурсу бурильної колони від дії знакозмінних циклів напружень згину, обумовлених як викривленням стовбура свердловини, так і втратою стійкості колони (типові умови роботи бурильної колони). При цьому дані цикли напружень викликають багатоциклову корозійну втому. Проте, із практики експлуатації бурильної колони відомо, що нерідко вона працює в умовах випадкового перевантажування внаслідок вивільнення прихопленої частини бурильної колони, порушеннях технології проведення спуско-підіймальних операцій, проходження колоною локально-викривлених та кавернозних ділянок стовбура свердловини (ускладнені умови роботи бурильної колони) тощо. Такі навантаження здебільшого і є причиною малоциклового втомного руйнування. Тому визначення втомного ресурсу елементів бурильної колони при нестационарному режимі навантаження із урахуванням пікових навантажень є однією із головних умов забезпечення їх надійності.

З метою оцінки закономірностей впливу високих напружень на втомну довговічність бурильних труб експериментально досліджено накопичення втомних пошкоджень при циклічному пружно-пластичному деформуванні матеріалу бурильних труб ТБВ-140 (сталь 36Г2С) за схемою чистого згину із частотою 24,2 Гц.

Для якісної та кількісної оцінки втомного ресурсу елементів конструкцій дослідження проводили у два етапи. На першому етапі випробовували шість зразків до руйнування на декількох рівнях амплітуди ($e_y=1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4,5$ мм). На кожному з них підтримували постійні параметри циклів навантаження. За результатами випробувань побудовано криву втоми та отримано її параметри: $Q=8,601 \cdot 10^7$ МПа·цикл, $\sigma_0=156,5$ МПа, $V_0=118,77$ МПа, використовуючи трипараметричне рівняння Почтенного С. К. вигляду

$$N = \frac{Q}{\sigma} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma - \sigma_R}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (4)$$

де N – кількість циклів до руйнування деталей, цикл;
 σ_R – границя витривалості, МПа;
 V_0 – параметр з розмірністю напруження, що характеризує кут нахилу кривої втоми, МПа;
 $Q=N_0 \cdot \sigma_0$ – коефіцієнт витривалості, МПа·цикл;
 σ – максимальне напруження циклу, МПа;
 N_0 – параметр, що характеризує кількість циклів до точки нижнього перегину кривої втоми, цикл.

На другому етапі досліджено кінетику поширення тріщини за такою програмою навантаження. Спочатку вирощувалася тріщина глибиною 1 мм за амплітуди навантаження $e_y=1,5$ мм (160,7 МПа) та із частотою навантаження 50 Гц. Після цього здійснювалося перевантаження амплітудою $e_y=4,5$ мм (482,3 МПа) із частотою навантаження 1 Гц та визначеною кількістю циклів (5; 10; 25; 50; 100). Потім продовжували вирощувати тріщину за амплітуди $e_y=1,5$ мм (160,7 МПа).

Результати досліджень кінетики втомного поширення тріщини розміром від 1 до 4 мм наведено на рисунку 5.

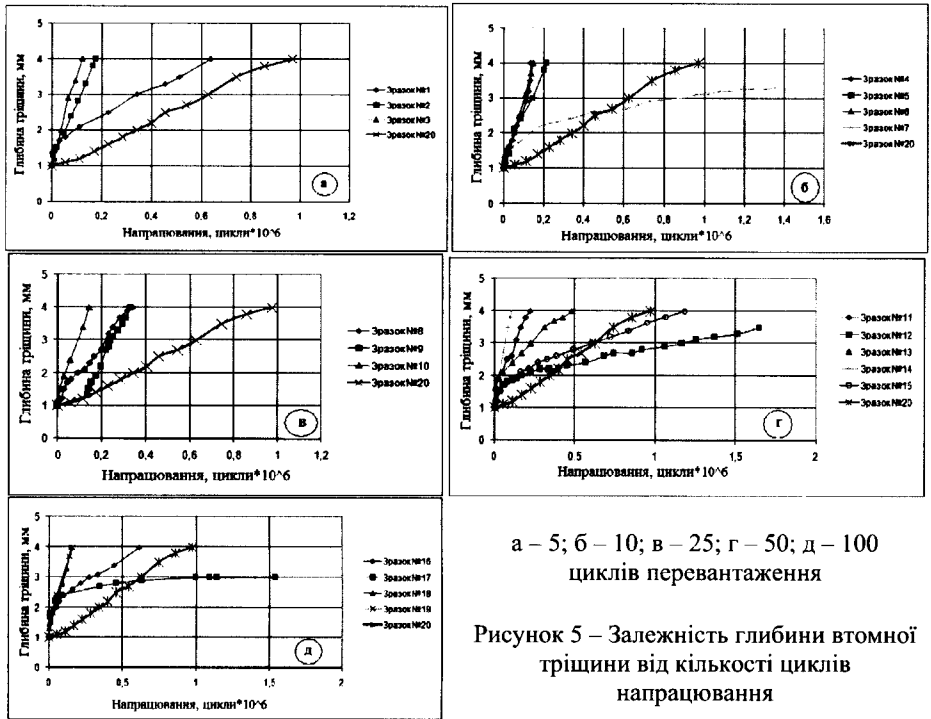


Рисунок 5 – Залежність глибини втомної тріщини від кількості циклів напруження

Для порівняння на кожному з графіків наведено результати досліджень поширення тріщини для зразка без перевантаження. Для цього вибрано зразок №20, який показав усереднені дані із серії шести зразків. Аналіз результатів виявив, що існує три варіанти поведінки тріщини після перевантаження, які відрізняються за швидкістю подальшого росту тріщини: стабільне пришвидшення, короточасне пришвидшення із подальшим переходом на швидкість, яка була до моменту перевантаження, стабільне гальмування. В переважній більшості випробувань відбулося суттєве пришвидшення росту тріщини у всьому діапазоні досліджуваних глибин (1-4 мм). Для чотирьох зразків спостерігалось короточасне підвищення швидкості з подальшим переходом на швидкість росту тріщини, характерну для зразків без перевантаження (зразок №1; 8; 13; 16). Також для чотирьох зразків відбувся суттєвий спад швидкості росту тріщин. Макроструктурний аналіз показав, що це явище можна пояснити роздвоєнням початкової тріщини після перевантаження. Для більш детального аналізу впливу перевантажень на довговічність зразків проведено розрахунок відносних довговічностей за лінійною гіпотезою накопичення пошкоджень, який засвідчив, що для першого варіанту поведінки тріщини відносна довговічність складає $0,14 \div 0,29$, для другого –

0,24÷0,52 і для третього – більше одиниці. При цьому кількість циклів перевантаження в межах від 1 до 100 не є визначальним чинником поведінки тріщини.

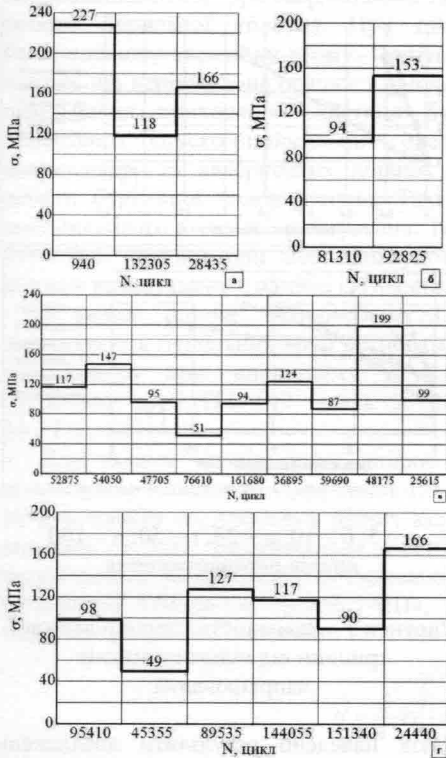


Рисунок 6 – Програми навантажування бурильних труб СБТ-50

Таким чином, проведені дослідження кінетики втомних тріщин матеріалу елементів бурильної колони із урахуванням пікових перевантажень свідчать про необхідність більш детального вивчення впливу експлуатаційного навантажування на їх втомний ресурс. Тому проведено експериментальні дослідження ресурсу натурних зразків різьбових з'єднань геологорозвідувальних бурильних труб СБТ-50 на установці УКІ-6І.

Для дослідження вибрано програми навантажування, які моделюють умови роботи бурильної колони, близькі до експлуатаційних. У спектр навантажування входять як низькі, так і високі зусилля. Перші із них характеризують типові умови експлуатації бурильної колони, другі – ускладнені. Програми навантаження натурних зразків бурильних труб наведено на рисунку 6.

Випробовування різьбових з'єднань бурильних труб за відповідними програмами навантажування (рис. 6, а - г) проводили до повного їх руйнування, втомні злами яких зображені на рисунку 7.

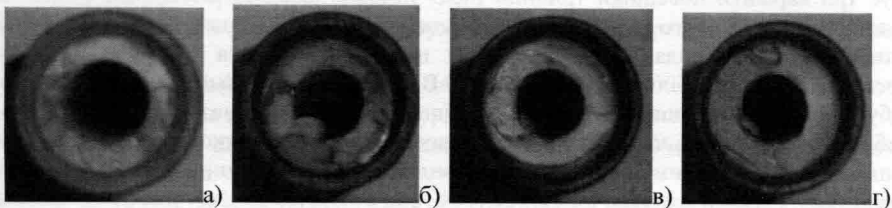


Рисунок 7 – Загальний вигляд втомних зламів різьбових з'єднань бурильних труб за відповідних програм навантаження (а-г)

В результаті експериментальних досліджень отримано значення відносних довговічностей бурильних труб СБТ-50, які складають 0,2, 0,24, 0,56 та 0,45

відповідно. Встановлено, що зміна програми блокового навантажування зразків із такої, що імітує типові умови роботи бурильної колони на ускладнені зменшує відносну довговічність більш ніж у 2 рази.

Отже, проведені розрахунки підтверджують результати отримані, під час дослідження кінетики втомного пошкодження матеріалу бурильних труб про необхідність удосконалення методики прогнозування їх ресурсу в умовах комплексного впливу високих та низьких напружень.

Для удосконалення методики використано результати унікальних досліджень втомної міцності натурних зразків бурильних труб ТБН-73х9-К, проведених Джафаровим К. І. та Сімонянцом Л. Е. Важливість даних випробовувань полягає у використанні програм навантажування, які дозволяють проводити дослідження бурильної колони в умовах, близьких до експлуатаційних.

За результатами втомних випробовувань, побудовано криву втоми (рис. 8) та визначено її параметри: $Q=2,37 \cdot 10^7$ МПа-цикл, $\sigma_0=97,39$ МПа, $V_0=141,71$ МПа.

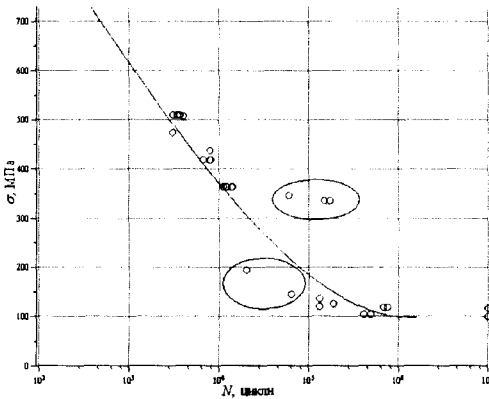


Рисунок 8 – Крива втоми бурильних труб ТБН-73х9-К

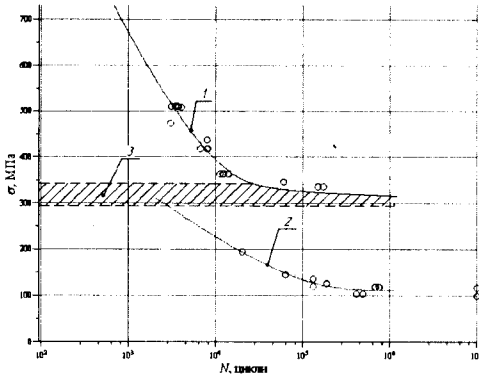
навантаженнях, коли бурильна колона працює як у типових, так і в ускладнених умовах.

Тому необхідно проводити побудову повної кривої втоми із розривом між малоцикловою і багатоцикловою областями (рис. 9). Для цього було розраховано її параметри: $Q=2,8 \cdot 10^6$ МПа-цикл, $\sigma_0=333,58$ МПа, $V_0=219,2$ МПа та $Q=1,03 \cdot 10^7$ МПа-цикл, $\sigma_0=112,49$ МПа, $V_0=70,95$ МПа.

Для більш детального аналізу досліджень визначено відносну довговічність бурильних труб ТБН-73х9-К для двох випадків: без розриву та із урахуванням розриву між малоцикловою і багатоцикловою областями. За результатами розрахунків побудовано гістограми (рис. 10).

Як бачимо, деякі експериментальні точки мають значні відхилення від побудованої кривої. На нашу думку, це пов'язано із можливим розривом кривої втоми в перехідній зоні між малоцикловою та багатоцикловою областями.

У своїх працях В. Шабалін, Т. Вільямс, І. Морі показали, що розрив кривої втоми пов'язаний здебільшого із зміною структури матеріалу, частоти і виду навантаження, форми зразка, температури і стану поверхні. Тому, слід враховувати випадки, коли перехідна зона не може чітко відповідати одній кривій втоми. Це важливо для визначення довговічності при випадкових

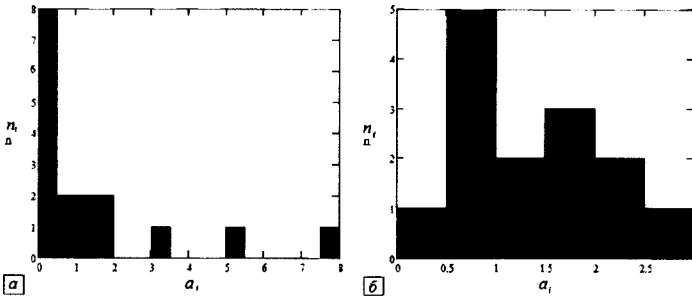


- 1 – крива втоми для малоциклової області;
 2 – крива втоми для багатоциклової області;
 3 – зона розриву кривої втоми

Рисунок 9 – Крива втоми бурильних труб ТБН-73х9-К із врахуванням розриву між малоцикловою і багатоцикловою областями

Так, для першого випадку (рис. 10, а) можна спостерігати значний розкид відносної довговічності $\alpha \approx 0 \div 8,0$. Близько 48 % результатів, отриманих за лінійною гіпотезою накопичення втомних пошкоджень, призводять до похибки не у запас довговічності, причому з них 80 % дають більш ніж удвічі завишені значення розрахункової довговічності в порівнянні з фактичними. Для другого випадку (рис. 10, б) характерним є зменшення розкиду величини $\alpha \approx 0 \div 3,0$ і похибки (не в запас довговічності) до 31 %, з них близько 17 % дають більш ніж у 2 рази вищу похибку.

Таким чином, проведений



а, б – без врахування розриву та із врахуванням розриву кривої втоми між малоцикловою і багатоцикловою областями відповідно

Рисунок 10 – Гістограми розподілу відносних довговічностей

узагальнений аналіз досліджень відносних довговічностей бурильних труб в умовах комплексної впливу високих та низьких напружень вказав на доцільність використання кривої втоми із урахуванням розриву між малоцикловою і багатоцикловою областями.

Проведені в роботі теоретичні та експериментальні дослідження використано при розробленні керівного документа: «Методика прогнозування довговічності

бурильної колони та її елементів в ускладнених умовах буріння», впровадженій у Стрийському ВБР.

Четвертий розділ присвячено дослідженню корозійно-електрохімічної поведінки трубної сталі в середовищі бурового розчину, а також розробці засобів для забезпечення надійної експлуатації елементів бурильної колони.

Проведено дослідження корозійно-електрохімічної поведінки трубної сталі 36Г2С (ГОСТ 7909-56) в середовищі гуматно-акрилово-калієвого бурового розчину та впливу поверхневої захисної плівки машинного масла на її корозійні процеси.

Поляризаційні криві в потенціодинамічному режимі фіксували за допомогою вольтамперметричної системи СВА-1Б-М. Площа робочої поверхні зразка із сталі 36Г2С складала 35 мм². Перед зняттям поляризаційних кривих робочу поверхню зразка шліфували та знежирювали. Як електрод порівняння використовували насичений хлоридсрібляний електрод ЭВЛ-1М1, а допоміжним електродом слугував платиновий електрод. Потенціодинамічні криві знімали за температури 20 °С зі швидкістю розгортки потенціалу 2 мВ/с.

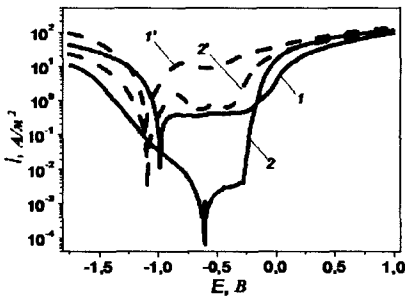
Для отримання даних про кінетику електродних процесів, що протікають на поверхні сталі 36Г2С, побудовано потенціодинамічні поляризаційні криві (рис. 11).

Виявлено різну анодну поведінку сталі 36Г2С у середовищі бурового розчину (рис. 11) залежно від часу витримування зразка. На анодній потенціодинамічній кривій в початковий момент корозійного процесу (крива 1) чітко спостерігається область пасивного стану сталі в діапазоні потенціалів від -1,1 до -0,3 В протяжністю 0,8 В. За подальшої анодної поляризації сталі

36Г2С після області перепасивації на кривій електророзчинення спостерігається утворення значної за довжиною ділянки граничного анодного струму розчинення.

Витримування зразка протягом 75 діб у буровому розчині (крива 1') значно інтенсифікує корозійний процес сталі 36Г2С: потенціал корозії зсувається в область негативніших значень на 120 мВ, густина струму корозії зростає майже у 100 разів. Це відображається також на потенціодинамічній поляризаційній кривій (рис. 11, крива 1'): збільшується протяжність області активного розчинення сталі, струми анодного електророзчинення зростають майже на два порядки. Зникає чітко виражена при початковому зануренні область пасивності. На сталі виявляються тільки граничні струми анодного розчинення.

Слід зауважити, що нанесення плівки машинного масла на поверхню сталі 36Г2С (рис. 11, криві 2, 2') суттєво впливає на корозійні процеси, уповільнює їх.



1, 2 – 0 діб; 1', 2' – 75 діб

Рисунок 11 – Потенціодинамічні поляризаційні криві сталі 36Г2С в буровому розчині без (1, 2) та з плівкою (1', 2') машинного масла на поверхні після різного часу витримування зразків у середовищі бурового розчину

Густина струму корозії зменшується порівняно зі сталлю без плівки на поверхні близько 10 разів у початковий момент перебігу корозійного процесу та понад 8 раз після 75 діб витримування в середовищі бурового розчину.

Крім цього, у розділі приведена конструкція пружної муфти бурильної колони (патент України №62165). Загальний вигляд та основні елементи пристрою наведено на рисунках 12 та 13 відповідно.

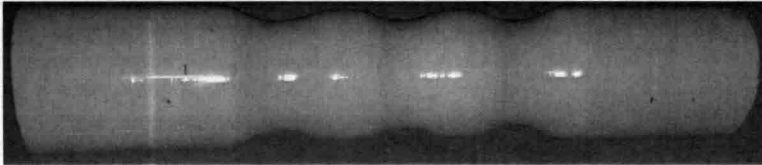
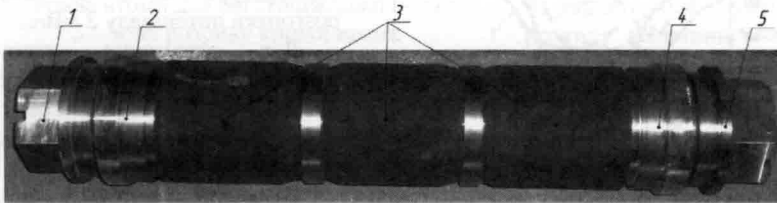


Рисунок 12 – Загальний вигляд пружної муфти бурильної колони



1 – патрубок; 2, 4 – поршні; 3 – пружні елементи; 5 – гайка

Рисунок 13 – Основні елементи пружної муфти

Пружна муфта використовується для буріння похило-скерованих та горизонтальних свердловин. Пристрій включається у склад бурильної колони з метою покращення проходження компоновкою ділянок набору зенітного кута із високою інтенсивністю, а також зменшення накопичення втомного пошкодження у різьбових з'єднаннях елементів бурильної колони шляхом зменшення згинальних напружень, які виникають на викривлених або кавернозних ділянках стовбура свердловини.

Навантаження, які діють на муфту під час її роботи, сприймаються корпусом (рис. 12). Для зменшення жорсткості пристрою на зовнішній поверхні корпусу виконано канавки, конфігурація яких за формою близька до параболічної. При цьому геометрію канавок та крок між ними вибрано на основі аналізу результатів комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану муфти з умов мінімально можливої згинальної жорсткості системи і забезпечення необхідної міцності. Регулювання згинальної жорсткості відбувається внаслідок стиснення пружних елементів 3 поршнями 2 та 4 за рахунок обертання гайки 5 (рис. 13).

Із метою визначення тарувальної характеристики пристрою змонтовано лабораторний стенд (рис. 14). За результатами дослідження побудовано криву, що відображає жорсткість при різних моментах затягування. Для обґрунтування доцільності використання розробленої пружної муфти проведено розрахунок

ресурсу бурильної колони із пружною муфтою та без неї на прикладі свердловини «Копилівська №40».

Під час коригування напрямку стовбура свердловини в інтервалі 2270 – 2420 м

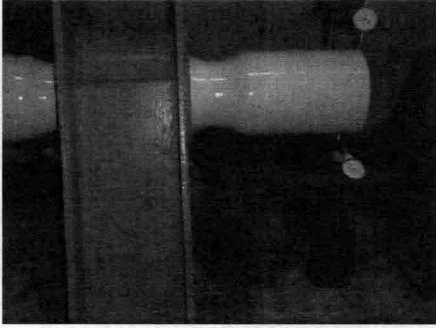


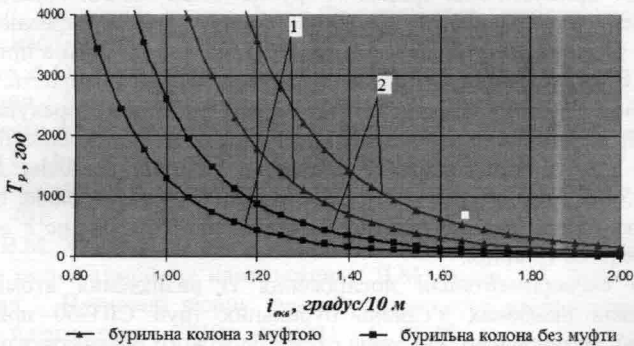
Рисунок 14 – Лабораторний стенд для побудови тарувальної характеристики корпусу пружної муфти

виникли різкі викривлення стовбура, які згодом призвели до втомного руйнування різьбового з'єднання обважнених бурильних труб ОБТЗ1-203.

На основі інклінометричних даних та режимних параметрів буріння проведено розрахунок ресурсу бурильної колони, який показав, що при бурінні інтервалу 2390-2420 м із застосуванням компоновки без пружної муфти необхідно замінити ОБТЗ1-203 або провести детальний дефектоскопічний контроль всіх різьбових з'єднань. На практиці таку заміну не було зроблено, що призвело до аварійної ситуації під час буріння.

Аналогічні обчислення проведено для визначення ресурсу різьбового з'єднання 3-171 (ОБТЗ1-203) із використанням в компоновці пружної муфти. Вони показали, що при бурінні інтервалу 2270-2420 м різьбове з'єднання 3-171 втрапить близько 30 % свого ресурсу і забезпечить проходження даного інтервалу без створення аварійної ситуації.

Крім цього, для заданих значень інтенсивності викривлення свердловини побудовано номограму для оперативного визначення втомного ресурсу різьбових з'єднань 3-171 (ОБТЗ1-203) за наявності чи відсутності у компоновці низу бурильної колони пружної муфти (рис. 15).



$$1 - n = 120 \times 6^{-1}; 2 - n = 60 \times 6^{-1}$$

Рисунок 15 – Номограма для визначення ресурсу замкового різьбового з'єднання 3-171 (ОБТЗ1-203) при різних частотах обертання бурильної колони

Таким чином, результати проведених досліджень довели ефективність використання в компоновці бурильної колони розробленої пружної муфти під час проходження локально-викривлених або кавернозних ділянок стовбура свердловини.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведення теоретичних і експериментальних досліджень отримано нове вирішення науково-технічної задачі забезпечення надійної експлуатації елементів бурильної колони шляхом удосконалення методів прогнозування їх ресурсу.

1. Проведено аналіз аварійності під час буріння свердловин БУ «Укрбургаз» за період з 2003 по 2008 роки, який підтверджує, що аварії, пов'язані із елементами бурильної колони, є домінуючими. Їх частка складає близько 50 %. Найбільш поширеними причинами відмов елементів бурильної колони є втомні та корозійно-втомні пошкодження.

2. Розроблено тривимірну модель замкового різьбового з'єднання елементів бурильної колони із повним відтворенням його конструктивних та технологічних параметрів, яка дає можливість оцінити напружено-деформований стан. На основі імітаційного моделювання одержано характер розподілу нормальних напружень у різьбовому з'єднанні 3-42 від прикладеного моменту згинчування. Встановлено, що похибка між числовими значеннями максимальних нормальних напружень, отриманих експериментальним та розрахунковим шляхами, не перевищує 10 %.

Удосконалено аналітичний метод оцінки навантаження витків різьби замкового різьбового з'єднання шляхом врахування його конусності. У результаті отримано диференціальні рівняння для визначення навантаження по витках різьби для основних схем навантажування замкового різьбового з'єднання бурильних труб.

3. Експериментально отримано залежності впливу пікових навантажень на втомний ресурс призматичних зразків із трубної сталі 36Г2С. Аналіз результатів виявив, що існує три варіанти поведінки тріщини після перевантаження, які відрізняються за швидкістю подальшого росту тріщини: стабільне пришвидшення, короткочасне пришвидшення із подальшим переходом на швидкість, яка була до моменту перевантаження, стабільне гальмування. Проведено розрахунок відносних довговічностей за лінійною гіпотезою накопичення втомних пошкоджень, який засвідчив, що для першого варіанту поведінки тріщини відносна довговічність складає 0,14...0,29, для другого – 0,4...0,52 і для третього – більше одиниці. При цьому кількість циклів перевантаження в межах від 1 до 100 не є визначальним чинником поведінки тріщини.

Проведено експериментальні дослідження із визначення втомної міцності натурних зразків різьбових з'єднань бурильних труб СБТ-50 при блоковому навантажуванні. Встановлено, що зміна схеми блокового навантажування зразків із такої, що імітує типові умови роботи бурильної колони на ускладнені, зменшує відносну довговічність близько 2 разів.

4. На основі корозійно-електрохімічних досліджень показано, що плівка машинного масла на поверхні зразка із сталі 36Г2С суттєво впливає на корозійний процес, уповільнюючи його. Густина струму корозії на сталі 36Г2С зменшується

близько 10 разів у початковий момент перебігу корозійного процесу та понад 8 раз – після 75 днів витримування в середовищі бурового розчину.

5. На основі результатів втомних досліджень труб ТБН–73х9-К встановлено наявність розриву кривої втоми між малоцикловою і багатоцикловою областями. Визначено параметри опору втоми для кривої втоми без та із врахуванням розриву. Обґрунтовано доцільність використання кривих втоми із розривом між малоцикловою і багатоцикловою областями для прогнозування втомного ресурсу бурильних труб в умовах комплексного впливу високих та низьких напружень.

Удосконалено метод прогнозування втомного ресурсу бурильних труб на основі С-критерію шляхом врахування локальних напружень, що виникають у впадині різьби різьбового з'єднання бурильної труби. Метод забезпечує більшу кореляцію між величинами відносного напрацювання та С-критерієм. Про це свідчить більше числове значення коефіцієнта кореляції $r_{N_p, N_c} = 0,973$ в порівнянні із дослідженнями інших авторів.

6. Теоретичні та експериментальні результати досліджень використано під час розроблення керівного документа: «Методика прогнозування довговічності бурильної колони та її елементів в ускладнених умовах буріння», впровадженій у Стрийському ВБР.

Розроблено конструкцію пружної муфти бурильної колони (патент України №62165) та виготовлено дослідний зразок. Пристрій переданий у ПАТ «ДАТ «Чорноморнафтогаз».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Артим В. І. Вплив локальних напружень на довговічність різьбових з'єднань бурильних труб / В. І. Артим, Р. В. Рачкевич, В. В. Гриців, С. І. Гладкий // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – №1(30). – С. 29–31.

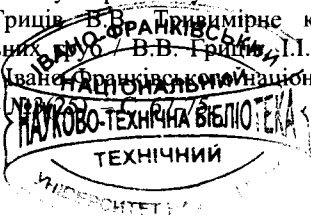
2. Гладун В. В. Корозійно-електрохімічні дослідження геофізичних кабелів у середовищі бурового розчину / В. В. Дейнега, В. М. Івасів, О. С. Калахан, В. В. Гриців // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – №4(22). – С. 53–56.

3. Дейнега Р. О. Урахування корозійного чинника при розрахунку довговічності деталей машин / Р. О. Дейнега, В. І. Артим, Р. В. Рачкевич, В. В. Гриців // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2009. – №4. – С. 12–18.

4. Гриців В. Про розподіл осьових напружень по довжині різьби / Василь Гриців // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – 2009. – №8. – С. 395–401.

5. Івасів В. М. Удосконалення методики оцінки довговічності бурильних труб з урахуванням експлуатаційних навантажень / В. М. Івасів, В. І. Артим, В. В. Гриців, Р. В. Рачкевич // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2010. – №2(24). – С. 41–45.

6. Гриців В. В. Привимірне комп'ютерне моделювання різьбових з'єднань бурильних труб / В. В. Гриців, І. І. Яциняк, С. І. Гладкий, І. М. Гойсан // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2010. – №4(22). – С. 53–56.



7. Гриців В. Корозійно-електрохімічна поведінка сталей 60 та 36Г2С у середовищі бурового розчину / Василь Гриців // Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів». – 2010. – Т.2, №8. – С. 661-665.

8. Івасів В.М. Дослідження кінетики втомних тріщин у зразках із сталі 36Г2С з урахуванням пікових перевантажень / В.М. Івасів, В.І. Артим, В.В. Гриців, Ю.В. Гриців // Надійність і довговічність машин і споруд. – 2012. – Вип. 36. – С. 18-26.

9. Артим В. І. Аналіз корозійно-втомних руйнувань елементів бурильної колони / В. І. Артим, І. І. Яциняк, В. В. Гриців, А. Р. Юрич, Р. В. Рачкевич // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №2(43). – С. 29–31.

10. Пат. 62165 Україна, МПК E21B 7/08. Пружна муфта бурильної колони / Івасів В. М., Гриців В. В., Ногач М. М., Рачкевич Р.В., Козлов А. А.; патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u 2011 02372; заявл. 28.02.2011; опуб. 10.08.2011, Бюл. № 15. – 4 с.

11. Тривимірне моделювання замкового різьбового з'єднання бурильних труб в ANSYS WORKBENCH / О.Б. Драган, В.В. Гриців, В.І. Артим // Міжнародна студентська наукова конференція «Молодая наука XXI века»: Збірник наукових робіт. – Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2010. – С.168-172.

АНОТАЦІЯ

Гриців В.В. Удосконалення методів прогнозування ресурсу елементів бурильної колони. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової і газової промисловості. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2013.

Дисертацію присвячено вирішенню проблем забезпечення надійної експлуатації елементів бурильної колони шляхом удосконалення методів прогнозування їх ресурсу.

Розроблено тривимірну модель різьбового з'єднання із повним відтворенням його конструктивних та технологічних параметрів, що дає змогу оцінювати напружено-деформований стан із використанням імітаційного моделювання. Удосконалено метод прогнозування ресурсу бурильних труб на основі С-критерію шляхом врахування локальних напружень, що виникають у різьбовому з'єднанні бурильної труби, визначених за результатами моделювання. Проведено експериментальні дослідження кінетики втомних тріщин матеріалу бурильних труб із урахуванням пікових навантажень. Проведено експериментальні дослідження довговічності натурних зразків різьбових з'єднань геологорозвідувальних бурильних труб. Удосконалено метод прогнозування довговічності бурильних труб із урахуванням експлуатаційних навантажень. Проведено експериментальні дослідження корозійно-електрохімічної поведінки трубної сталі в середовищі бурового розчину.

Ключові слова: бурильна колона, різьбові з'єднання, експлуатаційне навантаження, корозійно-втомне пошкодження, довговічність, залишковий ресурс.

АННОТАЦИЯ

Грыцив В. В. Совершенствование методов прогнозирования ресурса элементов бурильной колонны. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. – Иванов-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Иванов-Франковск, 2013.

Диссертация посвящена решению проблеме обеспечения надежной эксплуатации элементов бурильной колонны путем усовершенствования методов прогнозирования их ресурса.

Проведен анализ аварийности при бурении скважин БУ «Укрбургаз» за период с 2003 по 2008 годы, который подтверждает, что аварии, связанные с элементами бурильной колонны, являются доминирующими.

Усовершенствован аналитический метод оценки нагрузки витков резьбы замкового резьбового соединения, путем учета его конусности. В результате получено дифференциальные уравнения для определения нагрузки по виткам резьбы для основных схем нагрузки замкового резьбового соединения бурильных труб.

Разработано трехмерную модель резьбового соединения с полным воспроизведением его конструктивных и технологических параметров, что позволяет оценивать напряженно-деформированное состояние с использованием имитационного моделирования. На основе разработанной модели проведено моделирование и получены характер распределение осевых напряжений в замковом резьбовом соединении 3-42 геологоразведочных бурильных труб от приложенного момента свинчивания.

Усовершенствован метод прогнозирования ресурса бурильных труб на основе С-критерия путем учета локальных напряжений, возникающих в резьбовом соединении бурильной трубы. По результатам расчетов усталостного ресурса резьбовых соединений бурильных труб СБТ-50 получены зависимости величины С-критерия от относительной наработки.

Проведены экспериментальные исследования кинетики усталостных трещин материала бурильных труб с учетом пиковых нагрузок. Анализ результатов выявил, что существует три варианта поведения трещины после перегрузки, которые отличаются по скорости дальнейшего роста трещины: стабильное ускорение, кратковременное ускорение с последующим переходом на скорость, которая была до момента перегрузки, стабильное торможение. В большинстве испытаний произошло существенное ускорение роста трещины во всем диапазоне исследуемых глубин. Проведены экспериментальные исследования долговечности натуральных образцов резьбовых соединений геологоразведочных бурильных труб. Установлено, что изменение программы блочной нагрузки образцов с такой, что имитирует типичные условия работы бурильной колонны на осложненные уменьшает относительную долговечность почти в 2 раза.

Усовершенствован метод прогнозирования усталостного ресурса бурильных труб с учетом эксплуатационных нагрузок. На основе результатов усталостных исследований труб ТБН-73х9-К установлено наличие разрыва кривой усталости между малоциклового и высокоциклового областями. Определены параметры сопротивления

усталости для кривой усталости без и с учетом разрыва. Обоснована целесообразность использования кривых усталости с разрывом между малоциклового и багатопериодического областей для прогнозирования долговечности буровых труб в условиях комплексного воздействия высоких и низких напряжений.

Проведены экспериментальные исследования коррозионно-электрохимического поведения трубной стали в среде бурового раствора и влияние поверхностной защитной пленки машинного масла на коррозионные процессы. Показано, что пленка машинного масла на поверхности образца из стали 36Г2С существенно влияет на коррозионный процесс, замедляя его.

Разработаны средства для обеспечения надежной эксплуатации элементов буровой колонны. Результаты проведенных исследований показали эффективность использования в компоновке буровой колонны разработанной упругой муфты при прохождении локально искривленных или кавернозных участков ствола скважины.

Теоретические и экспериментальные результаты исследований использованы при разработке руководящего документа: «Методика прогнозирования долговечности буровой колонны и ее элементов в осложненных условиях бурения», внедренной в Стрыйском ОБР.

Комплексный учет теоретических и экспериментальных исследований, основанных на закономерностях кинетики накопления усталостного повреждения элементов буровой колонны, позволил усовершенствовать методы прогнозирования их долговечности и остаточного ресурса.

Ключевые слова: буровая колонна, резьбовые соединения, эксплуатационная нагрузка, коррозионно-усталостное повреждение, долговечность, остаточный ресурс.

SUMMARY

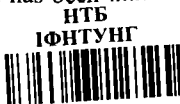
Grytsiv V. V. Improved methods of predicting resource elements of the drill string. - Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences on the speciality 05.05.12 – Equipment for Oil and Gas Industry. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2013.

The thesis is devoted to solving problems of reliable operation of the drill string elements by improving methods of forecasting their resource.

The three-dimensional model of the threaded joint with full reproduction of its design and process parameters, which allows evaluating the stress-strain state using simulation modeling has been developed. The method of predicting of the drill pipe resource on the basis of C-criterion by taking into account the local stresses arising in the threaded joint drill pipe, determined by the simulation results has been improved. Experimental researches of the kinetics of fatigue cracks of the drill pipe material have been conducted by taking into account peak loads. Experimental researches of the longevity of full-scale specimen of the threaded connections of the drill pipes have been conducted. The method of predicting the longevity of the drill pipes including operating load has been improved. Experimental researches of the corrosion-electrochemical behavior

Keywords: drill string, thread longevity, residual resource.



an2430

Experimental researches of the load, corrosion-fatigue fault,