

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

УДК 622.24.053 (043),

МЗ

МАНДРИК ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКОВИХ  
РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНИХ КОЛОН

Спеціальність 05.05.12-Машини нафтової та газової  
промисловості

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

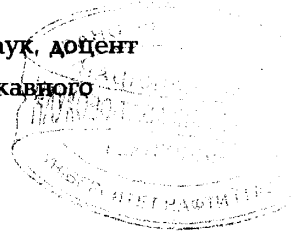
Івано-Франківськ-1997

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу

Чернов Борис Олександрович



Офіційні опоненти:

- лауреат премії ВТВР, доктор технічних наук, професор кафедри "Механіка машин" Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу

Вольченко Олександр Іванович;

- кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри "Деталі машин" Державного університету "Львівська політехніка"

Павлище Володимир Теодорович

Провідна організація: АК "Український нафтогазовий інститут" (м.Київ)

Захист відбудеться "18" грудня 1997 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.09.02.01 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу (284018, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська 15)

на ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу.

1997 року.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Перед нафтовою та газовою промисловістю України стоять важливі завдання забезпечення народного господарства енергоносіями. Незважаючи на те, як буде складатися ситуація з експортом в Україну основних енергоносіїв, їхні запаси повинні нарощуватись за рахунок внутрішніх резервів, що і передбачено національною програмою "Нафта і газ України до 2010 року". Тому розвиток нафтогазовидобувної промисловості нашої країни потребує інтенсифікації процесів спорудження свердловин та росту об'ємів глибокого буріння.

Зі збільшенням об'ємів та глибин буріння нафтових та газових свердловин особлива увага приділяється надійності різьбових з'єднань елементів бурильної колони і, особливо, вибійних двигунів, які працюють в несприятливих умовах в привибійній зоні. Відомо, що понад 60% аварій при бурінні свердловин відбувається за рахунок корозійно-втомних руйнувань різьбових з'єднань. Витрати на ліквідацію аварій, пов'язаних з руйнуванням різьбових з'єднань елементів бурильної колони, складають десятки мільйонів гривень.

Одним із способів підвищення експлуатаційних характеристик різьбових з'єднань та покращення механічних властивостей матеріалів, з яких виготовляють бурильні труби, обважнені бурильні труби (ОБТ) і деталі вибійних двигунів, є зміцнення методами поверхнево-пластичної деформації (ППД).

На даний час для зміцнення різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту запропоновані такі методи як обкатка роликми, алмазне вигладжування, ударна чеканка, обробка дробом та інші.

Як показала практика, в зв'язку з недосконалістю технологій даних методів при зміцненні різьбових з'єднань вони не одержали широкого промислового впровадження. Тому необхідно розробляти нові, більш високоефективні методи і технології зміцнення різьб.

Отже, проблема підвищення довговічності різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту і деталей вибійних двигунів є актуальною і потребує подальшого вивчення.

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

Тема роботи відноситься до галузевої проблеми і тематичних планів ВАТ "Укрнафта" та АК "УкрНГІ". Дисертаційна робота виконана в напрямку ДНТП "Підвищення надійності та довговічності машин та конструкцій".

НТБ  
ІФНТУНГ



**Мета роботи.** Підвищення експлуатаційних характеристик бурильних колон та вибійних двигунів за рахунок зміцнення їх різьбових з'єднань новим прогресивним методом.

**Основні задачі дослідження.** Поставлена мета досягається вирішенням наступних задач:

в теоретичних дослідженнях:

- розробити технологію та устаткування для зміцнення різьбових з'єднань з використанням енергії ультразвукових коливань;
- встановити вплив форми ультразвукового концентратора на амплітуду вимушених коливань робочого інструменту;

в експериментальних дослідженнях:

- розробити конструкцію ультразвукового концентратора для зміцнення замкових різьбових з'єднань (ЗРЗ) та встановити вплив їхніх конструктивних параметрів на границю витривалості різьб із вуглецевих та легованих сталей;
- встановити раціональні режими ультразвукової обробки (УЗО) різьбових з'єднань елементів бурильної колони;
- провести: на експериментальних та натурних зразках різьбових з'єднань, зміцнених методом УЗО, дослідження на тріщиностійкість та опір втомі в різних середовищах; порівняльний фрактографічний аналіз незміцнених сталей та зміцнених методом УЗО; промислово перевірку ефективності запропонованого методу зміцнення різьбових з'єднань на дослідній партії бурильних труб.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблена технологія зміцнення різьбових з'єднань методом УЗО. При цьому:

- випробувано ультразвуковий концентратор нової конструкції для зміцнення внутрішніх різьб ОБТ, корпусів турбобурів та вибійних двигунів, який захищений патентом України №15379А;
- запропонована емпірична залежність для визначення граничної амплітуди змінних напружень, яка дозволяє з достатньою точністю оцінити вплив масштабного фактору на втомну міцність елементів бурильної колони при прогнозуванні їх працездатності та розробці нових конструкцій;
- отримані аналітичні залежності для визначення: двогранного кута між площиною симетрії робочого інструменту та площиною, перпендикулярною до осі деталі з метою цілеспрямованої раціональної просторової орієнтації інструменту в процесі зміцнення; раціональних

геометричних параметрів робочого інструменту: радіуса заокруглення та кута профілю інструменту.

#### Практичне значення одержаних результатів:

- розроблена технологія і устаткування для зміцнення різьбових з'єднань методом УЗО на основі застосування ультразвукових концентраторів;

- результати експериментальних досліджень на опір втомі в повітряному та корозійному середовищах натурних зразків ЗРЗ (незміцнених та зміцнених методом УЗО) підтвердили збільшення границі витривалості на 65-70%;

- річний економічний ефект від впровадження технології зміцнення замкових різьбових з'єднань ОБТ на підприємствах Прилуцького УБР становить 201012 гривень.

#### Особистий внесок здобувача:

- проведено аналіз методів зміцнення різьбових з'єднань та металевих поверхонь на основі літературного та патентного пошуків [7];

- на основі аналізу і узагальнення результатів досліджень на опір втомі ЗРЗ, проведених іншими науковцями, та власних досліджень запропонована емпірична формула для визначення граничної амплітуди змінних напружень [3];

- отримана аналітична залежність для визначення радіуса заокруглення робочого інструменту [2, 6, 10];

- проведено: розрахунок раціональних параметрів ультразвукового концентратора нової конструкції [4, 8]; експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків ЗРЗ, зміцнених методом УЗО [1, 5, 9]; фрактографічний аналіз зламів ЗРЗ; промислові дослідження [2].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на наступних конференціях і семінарах: на міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми і шляхи енергозабезпечення України" (м. Івано-Франківськ, 7-10 грудня, 1993р.); на науково-практичній конференції "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтового комплексу Західного регіону України" (м. Львів, 28-30 березня 1995 року); на науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м.Івано-Франківськ, 1994-1996 р.р.); на міжнародній конференції "Лазерні та фізико-технічні методи обробки матеріалів" (Крим, 1995 рік); на міжнародній конференції "Нафта і газ України" (м. Харків, 14-16 травня 1996 року).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 10 працях, з них 2 авторських свідоцтва на патент.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, основних висновків та рекомендацій. Матеріал викладено на 125 сторінках машинописного тексту; робота містить 65 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел із 120 позицій та 2 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність досліджуваної проблеми, наведено основні напрямки наукових досліджень і подано коротку характеристику роботи.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу літературних даних про існуючі методи зміцнення поверхонь, вплив масштабного фактору, матеріалу та корозійного середовища на довговічність різьбових з'єднань бурильної колони. Дослідження С.Ф.Білика, Ю.І.Газанчана, Дж.Гормлі, Ю.В.Дубленича, Є.І.Крижанівського, І.В.Кудрявцева, Л.А.Лачиняна, Д.Ю.Мочернюка, Г.М.Саркісова, О.Є.Сарояна, Б.О.Чернова, М.Д.Щербюка, М.В.Якубовського та інших науковців показали, що руйнування різьбових з'єднань елементів бурильної колони відбуваються внаслідок накопичення втомних пошкоджень при взаємодії комплексу експлуатаційних навантажень і носять, в основному, корозійно-втомний характер.

Для підвищення експлуатаційних характеристик різьбових з'єднань та гладких поверхонь труб нафтового сортаменту використовують методи поверхнево-пластичної деформації (ППД). Оскільки зазначені вище методи мають низку недоліків, основними з яких є: великі енергетичні витрати, використання високих тисків, заїдання робочого інструменту, збільшення шорсткості оброблюваної поверхні та інші, проблема пошуку нових, більш надійних та ефективних методів зміцнення залишається відкритою.

В результаті аналізу літературних джерел з даними експериментальних досліджень запропонований метод зміцнення різьбових з'єднань, який базується на використанні енергії ультразвукових коливань (УЗО).

Оскільки до даного часу метод УЗО використовувався тільки для зміцнення гладких плоских поверхонь, то роботи по розробці технології та устаткування для зміцнення різьб методом УЗО проведені вперше.

Враховуючи, що довговічність різьбових з'єднань елементів бурильної колони залежить від властивостей матеріалу та впливу на нього корозійного середовища, вплив УЗО на тріщиностійкість та опір

втомі різьбових з'єднань із вуглецевих і легованих сталей досліджувався в повітряному і корозійному середовищах.

Отже, вищевказане обґрунтовує необхідність проведення глибоких теоретичних та експериментальних досліджень з метою удосконалення методів підвищення експлуатаційних характеристик замкових різьбових з'єднань бурильної колони.

В другому розділі наведені матеріали, конструкції експериментальних (ГОСТ 25.502-79) і натурних зразків різьбових з'єднань, стенди та методики експериментальних досліджень. Втомний характер руйнування замкових різьбових з'єднань ОБТ, з'єднань корпусів та валів турбобурів при експлуатації визначає вид досліджень на опір втомі їх натурних зразків в стендових умовах.

З метою зменшення витрат на проведення експериментальних досліджень та прискорення одержання результатів були виготовлені зразки діаметрами 10, 30 і 80 мм із сталей марок 45, 40 ХН і 40ХН2МА з V-подібною кільцевою виточкою, яка за формою аналогічна западині витка різьби 3-62 і нарізалась стандартним різьбонарізним різцем з радіусом заокруглення  $r = 0,508$  мм.

Для підтвердження результатів експериментальних досліджень, одержаних на зразках діаметрами 10, 30 і 80 мм, експерименти проводились на натурних зразках замкових різьбових з'єднань ЗН-80 з різьбою 3-62, корпусах турбобурів ЗТСП-172 з різьбою МК 156, гвинтових вибійних двигунах Д-85 з різьбою МК 76 та бурильних трубах діаметром 140 мм із сталей 45 та 40ХН2МА.

Зразки діаметром 10 мм досліджувались на стенді МУІ-6000, діаметром 30 і 80 мм – на стендах ІМА-30 і УП-80, а натурні зразки різьбових з'єднань корпусів турбобурів ЗТСП-172 та бурильних труб – на стенді СІТУ.

Для досліджень натурних зразків замкових різьбових з'єднань використовувались машини резонансного типу УП-80 і УП-200, які створювали знакозмінний плоский згин.

Експериментальні дослідження на тріщиностійкість проводили на машинах УРС-20/6000 та УРТ-8 з використанням призматичних зразків розмірами  $3 \times 10 \times 90$  мм, які вирізались із різьбових частин з'єднань із сталей 45 і 40ХН2МА, незміцнених та зміцнених методом УЗО, з V-подібними концентраторами, глибина і радіус заокруглення вершин яких відповідали параметрам різьби.

Для обробки результатів експериментальних досліджень на втомну міцність використовувалась стандартна методика, яка дозволяє з

достатньою точністю для практичних цілей визначити границі витривалості замкових різьбових з'єднань елементів бурильної колони.

Третій розділ присвячений дослідженням по розробці технології та устаткування для зміцнення різьбових з'єднань за допомогою енергії ультразвукових коливань.

Метод УЗО базується на пластичному деформуванні поверхні за допомогою інструменту, який здійснює коливання з ультразвуковою частотою при невисоких значеннях статичної сили.

Для одержання раціональних режимів зміцнення замкових різьбових з'єднань розроблена експериментальна установка, на якій досліджувався вплив цілої низки факторів: швидкості переміщення контакту, величини статичної сили, амплітуди коливань робочого інструменту, вихідної частоти та механічних властивостей матеріалу.

В якості основного елемента установки використано стандартний трубонарізний верстат моделі 1Н983, до супорта якого за допомогою спеціально сконструйованого та виготовленого пристрою кріпиться механізм зміцнення, який містить магніострикторний перетворювач та концентратор з робочим інструментом. Для підводу енергії перетворювач спеціальним кабелем з'єднаний з ультразвуковим генератором УЗГ2-4М.

Оскільки амплітуда коливань на торці перетворювача невелика, то для підсилення і передачі енергії ультразвуку в робочу зону використовували ультразвукові концентратори. Для зміцнення зовнішніх різьбових поверхонь виготовлені експоненціальні концентратори, основні параметри яких розраховані за методикою Д.Кумабе. Зазначені концентратори підсилюють амплітуду ультразвукових коливань в 5,4 рази, що, в свою чергу, збільшує ефект зміцнення.

Для зміцнення внутрішніх різьбових поверхонь ОБТ, корпусів турбобурів та гвинтових вибійних двигунів розроблені та виготовлені ультразвукові концентратори нової конструкції (патент України №15379А).

При проведенні експериментальних досліджень по ефективності зміцнення різьбових з'єднань встановлено, що шорсткість обробленої поверхні, глибина наклепу та величина залишкових стискаючих напружень в поверхневому шарі залежать, в основному, від величини статичної сили  $P_{ст}$  робочого інструменту на оброблювану поверхню і амплітуди  $A$  його зміщення. В загальному основні параметри УЗО ( $P_{ст}$  і  $A$ ) повинні бути тим вищими, чим більшими є діаметр деталі  $D$ , подача  $S$  та швидкість обертання  $V$ .



Встановлено, що малі величини  $P_{ст}$  і  $A$  не забезпечують достатньої залишкової пластичної деформації, а знімають тільки вершини мікронерівностей. При їх збільшенні мікротвердість поверхневого шару збільшується, однак при надмірному збільшенні  $P_{ст}$  і  $A$  поверхневий шар починає руйнуватися внаслідок перенаклепу, і мікротвердість зменшується. Отже, існують певні раціональні значення величин  $P_{ст}$  і  $A$ , при яких досягається найвищий ефект ультразвукового зміцнення.

Для підтвердження теоретичних висновків щодо ефективності використання методу зміцнення різьб за допомогою енергії ультразвукових коливань та визначення раціональних режимів були проведені лабораторні експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей та границі витривалості натурних зразків різьбових з'єднань, зміцнених методом УЗО.

Експериментальні дослідження зразків, зміцнених при різних значеннях статичної сили ( $P_{ст}=50-300Н$ ), показали, що границя витривалості різьб після УЗО залежить від величини залишкової пластичної деформації, а її максимальне значення при зміцненні зразків із сталей 45, 40ХН і 40ХН2МА знаходиться в межах  $\Delta d=0,23-0,25$  мм. Вимірювання величини деформації проводили за допомогою різьбового мікрометра.

В результаті проведених експериментальних досліджень на опір втомі зразків діаметрами 10, 30 і 80 мм при  $\Delta d=0,06; 0,17$  і  $0,25$  мм встановлено, що границя витривалості зміцнених зразків діаметром 10 мм при  $\Delta d=0,06$  мм збільшується на 50%, при  $\Delta d=0,25$  мм — на 105%, а зразків діаметрами 30 і 80 мм відповідно на 80% і 65% при  $\Delta d=0,25$  мм.

Зменшення втомної міцності зі збільшенням розмірів зразків пояснюється впливом масштабного фактору. Так, зі збільшенням розмірів зразків від 10 до 80 мм границя витривалості зменшилась майже в 2 рази.

Зауважимо, що границя витривалості зразків із сталі 40ХН2МА вища, ніж зразків із сталей 40ХН і 45 як до зміцнення, так і після їх зміцнення методом УЗО при різних значеннях величини залишкової пластичної деформації.

Експериментальні дослідження на опір втомі проводились і на натурних зразках замкових різьбових з'єднань ЗН-80 з різьбою 3-62, корпусів турбобурів ЗТСШ-172 з різьбою МК 156×5,5×1:32, гвинтових вибійних двигунів Д-85 з різьбою МК 76×4×1:32 та бурильних трубах, які показали, що зміцнення різьб методом УЗО призводить до підвищення

границі витривалості до 50% і відповідно до підвищення експлуатаційних характеристик бурильної колони в цілому.

В четвертому розділі розглядається вплив конструктивних параметрів замкових різьбових з'єднань на опір втомі.

На основі експериментальних досліджень натурних зразків замкових різьбових з'єднань ОБТ, які виготовлені із вуглецевих та легованих сталей, встановлено, що границя витривалості різьбових з'єднань залежить в основному від конструктивних параметрів (профілю різьби, конусності, масштабу, радіусу заокруглення западини різьби, типу різьби та інших) і технологічних факторів (поверхнево-пластичної деформації, крутного моменту згвинчування, осьового натягу, способу виготовлення різьби та інших).

Втомні руйнування ніпельної та муфтової частин замкових різьбових з'єднань ОБТ, як правило, відбуваються по їхніх небезпечних перерізах – по западинах перших або останніх спряжених витків різьби.

З урахуванням факту зміцнення різьб методом УЗО та впливу корозійного середовища умова зрівноваження різьбових з'єднань має наступний вигляд:

$$\frac{W_M}{W_H} = 2,1 \frac{K_1}{K_2} \cdot C, \quad (1)$$

де  $W_M$ ,  $W_H$  — осьові моменти опору небезпечних перерізів муфти і ніпеля;

$K_1$ ,  $K_2$  — коефіцієнти зміцнення ніпеля та муфти;

$C$  — коефіцієнт, який враховує корозійну активність бурового розчину.

Відомо, що на втомну міцність різьбових з'єднань впливає масштабний фактор. Формули Р.Б.Хейвуда та інших дослідників при визначенні границі витривалості з врахуванням впливу масштабного фактору для різьбових з'єднань елементів бурильних колон дають значні похибки. Тому нами на основі аналізу теоретичних та експериментальних досліджень на втомну міцність натурних зразків різьбових з'єднань із легованих та вуглецевих сталей діаметрами 76-271 мм запропонована емпірична формула для визначення граничних амплітуд змінних напружень:

$$G_a = \frac{G_b}{12} \cdot e^{-0,04D} + G_{min}, \quad (2)$$

де  $G_a$  — гранична амплітуда циклу напружень, МПа;  
 $G_b$  — границя міцності матеріалу, МПа;  
 $D$  — діаметр різьби в місці зламу, мм;  
 $G_{min}$  — мінімальне значення  $G_a$ , МПа.

Отримані результати досліджень мають велику практичну цінність і дозволяють врахувати вплив масштабного фактору при розрахунку нових конструкцій компоновок бурильної колони та при прогнозуванні їх надійності при бурінні свердловин.

З метою підвищення точності та якості різьб і збільшення стійкості робочого інструменту запропонований спосіб зміцнення конічної різьби, суть якого полягає в тому, що в процесі зміцнення деталі та робочому інструменту задають переміщення, яке забезпечує відтворення точкою їхнього контакту гвинтової лінії западини різьби. При зміцненні інструмент встановлюють так, щоб двогранний кут  $\varphi$  між площиною симетрії інструменту та площиною, перпендикулярною до осі деталі, був рівний куту підйому витка різьби в точці деформації (рис. 1).

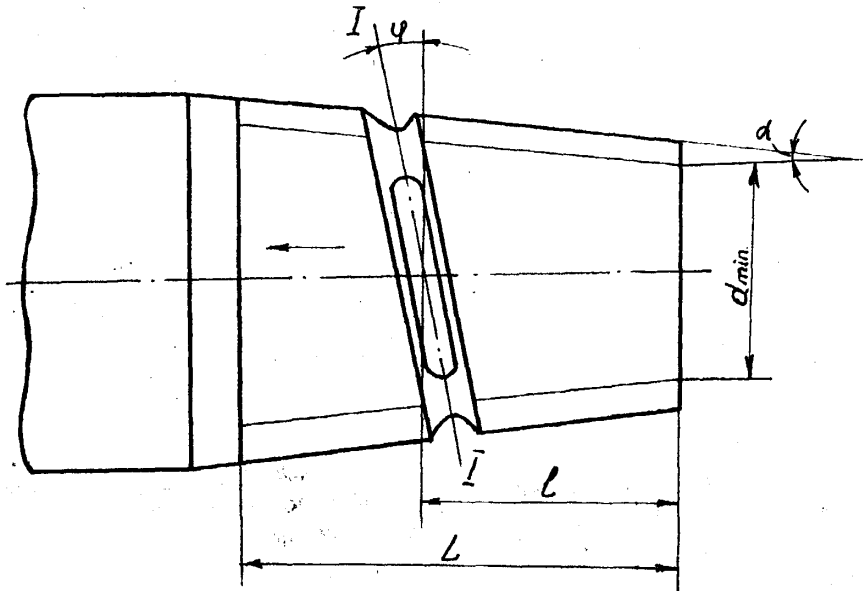


Рис. 1. Розрахункова схема зміцнення конічних різьб

Для визначення двогранного кута  $\varphi$  виведена залежність:

$$\varphi = \arctg \frac{S}{\pi(d_{min} + 2ltg\alpha)}, \quad (3)$$

де  $S$  — крок різьби;

$l$  — відстань від перерізу з діаметром  $d_{min}$  до точки деформації ( $0 < l < L$ );

$L$  — довжина різьби;  $\alpha$  — кут конуса різьби.

Важливим фактором, який впливає на витривалість ЗРЗ, є стан поверхні западини різьби. Однак, якщо зміцнювати саму западину різьби, то місце зародження втомної тріщини зміщується у незміцнену зону, що знижує ефект зміцнення. Надмірне збільшення радіуса при вершині робочого інструменту знижує напруження в зоні контакту при зміцненні та зменшує опорну площу різьби при вході зони пластичної деформації у зону контакту деталей з'єднання.

Тому практичний інтерес становить визначення раціональних величин радіуса при вершині  $R$  та кута профілю  $\alpha_1$  зміцнюючого інструменту (рис.2).

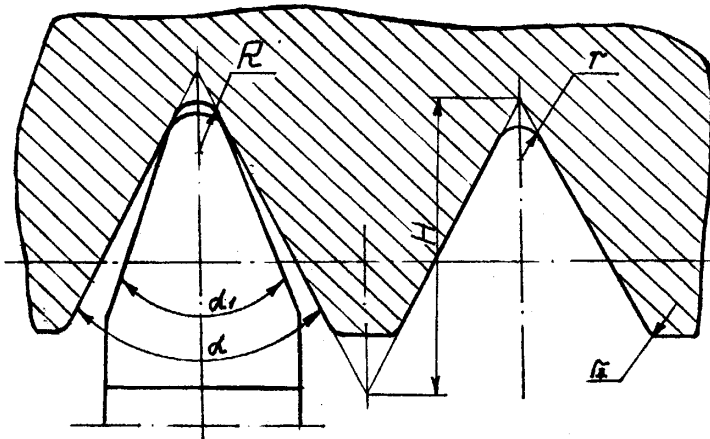


Рис. 2. Схема зміцнення різьби робочим інструментом з розрахованими значеннями  $R$  і  $\alpha_1$

При величинах кутів  $\alpha_1 > \alpha$  досягнути зміцнення западини різьби неможливо без зміни всього її профілю. При  $\alpha_1 = \alpha$  відбувається зміцнення всього профілю різьби, але для цього необхідна велика

статична сила  $P_{CT}$ , а також висока точність та якість виготовлення різьби. Мінімальна величина кута  $\alpha_1$ , визначається стійкістю робочого інструменту.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень отримані аналітичні залежності для визначення радіуса заокруглення  $R$  та кута профілю  $\alpha_1$  робочого інструменту:

$$R = \sqrt{r^2 + h^2 + 2rh_c \sin \alpha / 2}, \quad (4)$$

$$\alpha_1 = 2 \arctg \frac{[R - r(1 - \cos \alpha / 2)] \cdot \sin \alpha / 2}{R - r \sin^2 \alpha / 2}, \quad (5)$$

де  $r$  — радіус заокруглення западини різьби;

$h_c$  — величина залишкової пластичної деформації;

$\alpha$  — кут профілю різьби;

$R$  — радіус заокруглення робочого інструменту.

Розраховані значення величин  $R$  і  $\alpha_1$ , а також геометричні параметри різьб наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні параметри різьби та робочого інструменту

Крок різьби, $S$ , мм	Радіус заокруглення западини різьби, $r$ , мм	Кут профілю різьби, $\alpha$ , град	Глибина зміцнення, $\Delta d$ , мм	Кут профілю робочого інструменту, $\alpha_1$ , град	Радіус заокруглення робочого інструменту $R$ , мм
5,08	0,508	60	0,25	57,2	0,64
6,35	0,635	60	0,25	57,5	0,76
60	0,965	60	0,25	58	1,07

Для підтвердження теоретичних висновків були проведені експериментальні лабораторні дослідження натурних зразків замкових різьбових з'єднань ЗН-80 з різьбою 3-62 із сталі марки 40ХН2МА:  $\sigma_{0,2} = 680$  МПа. Результати досліджень наведені на рис.3.

Дослідження показали, що впровадження способу раціональної орієнтації робочого інструменту під наперед визначеним значенням двогранного кута  $\phi$  призводить до підвищення границі витривалості різьбових з'єднань на 12-15%, а зміцнення різьб інструментом з теоретично обґрунтованими геометричними параметрами (див.табл.1)–

до підвищення опору втомі на 20% в порівнянні з різьбовими з'єднаннями, які були зміцнені за попередньо розробленою нами технологією.

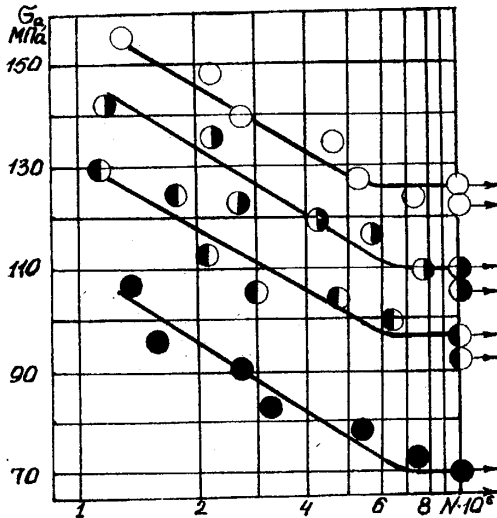


Рис. 3. Криві втоми натурних зразків ЗН-80 з різьбою 3-62

- — незміцнені зразки;
- ⦿ — зразки, зміцнені методом УЗО;
- ◐ — зміцнені зразки з раціональною орієнтацією інструменту;
- — зразки, зміцнені інструментом з розрахованими параметрами  $\alpha_1$  і  $R$  при раціональній його орієнтації

Для якісної оцінки запропонованого методу зміцнення різьбових з'єднань великий інтерес становлять дослідження, які пов'язані із застосуванням теорії механіки руйнування. Тому на тріщиностійкість досліджувались зразки, які вирізались із ЗРЗ (сталі 40ХН2МА і 45), незміцнених та зміцнених методом УЗО. Дослідження призматичних зразків з V-подібними концентраторами проводили на стенді УРС-20/6000 з частотою навантаження 25-30 Гц. Появу та поширення втомних тріщин розміром 0,05 мм фіксували за допомогою мікроскопа ММ-12.

Результати досліджень зразків наведені у вигляді кінетичних діаграм втомного руйнування, з яких випливає, що порогові значення коефіцієнта інтенсивності напружень зразків, зміцнених методом УЗО, більші, ніж незміцнених як із сталі 45, так і 40ХН2МА.

Слід відзначити, що сталі з більшою границею пластичності  $G_{0,2}$  мають більший критичний коефіцієнт інтенсивності напружень і менший пороговий коефіцієнт  $K_{th}$ , ніж сталі з меншим значенням  $G_{0,2}$ .

Оскільки експлуатація різьбових з'єднань елементів бурильної колони відбувається в корозійному середовищі, з метою встановлення якісної картини впливу агресивного бурового розчину на поверхневі шари, зміцнені методом УЗО, призматичні зразки досліджувались на тріщиностійкість в 3% водному розчині NaCl, який імітував корозійне середовище.

Порівнюючи кінетичні діаграми втомного руйнування незміцнених та зміцнених методом УЗО зразків із сталей 45 і 40ХН2МА, видно, що в корозійному середовищі порогові значення коефіцієнта інтенсивності  $K_{\omega}$  зменшуються, а швидкість росту втомної тріщини збільшується.

З метою захисту ЗРЗ від негативного впливу корозійного середовища бурового розчину та підвищення їх границі витривалості проводились дослідження зразків, зміцнених методом УЗО, на певній частині яких попередньо було нанесено тонкий шар міді. Аналіз результатів досліджень показав, що втомна міцність зміцнених натурних зразків замкових різьбових з'єднань МК 76 з мідним протектором в корозійному середовищі на 20% вища, ніж без протектора.

Після проведення порівняльного фрактографічного аналізу втомних руйнувань зразків, зміцнених за допомогою енергії ультразвукових коливань, встановлено, що після УЗО в поверхневих шарах утворюється специфічний структурно-напружений стан металу (так званий "білий шар"), який виникає в результаті імпульсного нагріву до високих температур (більше 1000°C), аустенізації, одночасних імпульсних деформацій (400 раз і більше на площі 1мм<sup>2</sup>), швидкого охолодження внаслідок відведення теплоти деталлю та протікаючого в таких умовах мартенситного перетворення.

В п'ятому розділі наведені результати промислових досліджень і оцінка економічної ефективності від впровадження результатів даної роботи.

На трубній базі Прилуцького УБР ВАТ "Укрнафта" була підготовлена дослідна партія ОБТС діаметрами 178, 203 і 229 мм, в яких ЗРЗ були зміцнені методом УЗО згідно з розробленою нами технологією. Промислові дослідження проводились на свердловинах: 72-Мільке, 92-Скороходи, 24-Ярошівка, 51-Східна Рогінці, 82-Щурівка, 52-Мала Дівича, 71-Мільке, 204-Скороходи, 181-Гніденці та 88-Богдани.

Згідно з розрахунками економічна ефективність використання ОБТС—178, 203 і 229 мм з замковими різьбовими з'єднаннями, зміцненими методом УЗО, складає 201012 грн. в рік.

Отже, аналіз результатів теоретичних, експериментальних та промислових досліджень показав, що метод ультразвукової обробки різьб труб нафтового сортаменту має певні переваги над іншими методами ППД і в кінцевому результаті призводить до зростання границі витривалості ЗРЗ конічних різьб на 65-70%, тобто до підвищення експлуатаційних характеристик бурильних колон в цілому.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі розглянуто підвищення ресурсу замкових різьбових з'єднань бурильної колони шляхом впровадження нового методу їх зміцнення.

1. Розроблені технологія та устаткування для зміцнення різьбових з'єднань методом УЗО, визначені раціональні режими зміцнення, що в кінцевому результаті дозволяє підвищити границю витривалості замкових різьбових з'єднань до 65%.

2. Спроектвані та виготовлені експоненціальний концентратор для зміцнення зовнішніх різьб та ультразвуковий концентратор нової конструкції для зміцнення внутрішніх різьб, які використовувались на експериментальних та натурних зразках різьбових з'єднань.

3. Запропонована емпірична залежність для визначення граничної амплітуди змінних напружень, яка дозволяє з достатньою точністю оцінювати вплив масштабного фактору на втомну міцність елементів бурильної колони.

4. Встановлена аналітична залежність для визначення двогранного кута між площиною симетрії робочого інструменту та площиною, перпендикулярною до осі деталі. Раціональна просторова орієнтація інструменту під визначеними кутами в процесі зміцнення призводить до підвищення довговічності різьбових з'єднань на 15-20% та збільшення технологічної стійкості інструменту на 25-30%.

5. Одержані залежності для визначення радіуса заокруглення і кута профілю зміцнюючого інструменту. Використання інструменту з геометричними параметрами робочої частини, які розраховані за одержаними формулами, забезпечило однакове зміцнення як западини, так і профілю різьби і відповідно підвищення границі витривалості різьбового з'єднання на 25%.

6. На основі експериментальних досліджень на тріщиностійкість сталей, з яких виготовляються елементи бурильної колони, одержано кінетичні діаграми втомних руйнувань. За допомогою зазначених діаграм можна досить точно прогнозувати працездатність замкових різьбових з'єднань.



7. В результаті порівняльного фрактографічного аналізу втомних зламів незміцнених та зміцнених методом УЗО зразків замкових різьбових з'єднань із сталей марок 45 і 40ХН2МА встановлено, що після зміцнення різьб за допомогою енергії ультразвукових коливань в поверхневому шарі виникає специфічний структурно-напружений стан металу — "білий шар". Його наявність призводить до зміни механізму росту втомних тріщин, що обумовлює підвищення границі витривалості замкових різьбових з'єднань бурильної колони і вибійних двигунів.

8. Рекомендації автора щодо підвищення експлуатаційних характеристик замкових різьбових з'єднань ОБТ впроваджені на підприємствах Прилуцького УБР. Річний економічний ефект від впровадження розробленого методу та технології складає 201012 грн.

### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО РОБОТІ

1. Чернов Б.О., Мандрик О.М. Нові методи і технології зміцнення замкових різьбових з'єднань // Зб. статей: Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми і шляхи енергозабезпечення України" (1993р.) — Івано-Франківськ.- 1995. — С.45-48.

2. Мандрик О.М., Чернов Б.О. Підвищення експлуатаційних характеристик бурильної колони за рахунок зміцнення замкових різьбових з'єднань // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Держ. міжвід. наук.-техн. зб. — Вип. 31 — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ.- 1994. — С.40-46.

3. Мандрик О.М. Дослідження впливу масштабного фактору та матеріалу на границю витривалості елементів бурильної колони // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Держ. міжвід. наук.-техн. зб. — Вип. 31 — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. — 1994.—С.99-103.

4. Пат. 15379 А України, МПК В24 В1/04. Ультразвуковий концентратор для зміцнення внутрішніх різьбових поверхонь /Чернов Б.О., Мандрик О.М., Климишин Я.Д. Заявлено 22.12.95; Опубл. 30.06.97. — 2с.: іл.

5. Пат. 93041201/03 России, МПК 6 E21 В17/00. Колонна термоизолированных труб / Чернов Б.А., Мандрик О.Н., Симкив М.Е. Заявлено 16.08.93; Опубл. 11.02.97. — 3с.: ил.

6.Чернов Б.А., Мандрик О.Н. Упрочнение резьбовых соединений методом ультразвуковой обработки // Ивано-Франковск, 1993. — 15с. — Укр. — Деп. в ГНТБ Украины. 01.11.93, № 2162 — Ук 93.

7.Чернов Б.А., Мандрик О.Н. Влияние поверхностно-пластической деформаций на долговечность резьбовых соединений бурильных колонн // Ивано-Франковск, 1995. — 12с. — Укр. — Деп. в ГНТБ Украины. 10.07.95, № 1731 — Ук 95.

8.Мандрик О.М. Вдосконалення методів зміцнення внутрішніх різьбових поверхонь / Івано-Франківськ, 1996. — 8 с. — Укр. — Деп. в Укр ІНТЕІ 02.12.96, № 213 — Ук 96.

9.Голубчак І.В., Мандрик О.М. Основні методи зміцнення зовнішньої поверхні бурильних замків // Тези наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу ун-ту нафти і газу. — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, НДІНГТ. — 1995. — С. 50.

10.Мандрик О.М. Визначення оптимальних параметрів УЗО замкових різьбових з'єднань бурильної колони // Тези наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу ун-ту нафти і газу. — II частина. — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, НДІНГТ.— 1996.- С. 91.

## АНОТАЦІЯ

Мандрик О.М. Удосконалення методів підвищення експлуатаційних характеристик замкових різьбових з'єднань бурильних колон. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 — Машини нафтової і газової промисловості. — Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 1997.

Дисертацію присвячено питанням підвищення експлуатаційних характеристик бурильних колон та вибійних двигунів за рахунок зміцнення їх різьбових з'єднань новим прогресивним методом. Розроблено технологію та устаткування для зміцнення замкових різьбових з'єднань за допомогою енергії ультразвукових коливань. Спроектвані та виготовлені ультразвукові концентратори, робочі інструменти для зміцнення зовнішніх та внутрішніх різьбових поверхонь та визначені раціональні режими ультразвукової обробки (УЗО). Запропоновані залежності для визначення: граничних амплітуд змінних

напружень різних типорозмірів бурильних труб; раціональних геометричних параметрів робочого інструменту та двогранного кута між площиною симетрії інструменту і площиною, перпендикулярною до осі деталі. Основні результати роботи знайшли промислове використання при виготовленні та ремонті обважнених бурильних труб на трубних базах.

Ключові слова: різьбове з'єднання, муфта, ніпель, колона бурильних труб, ультразвукові коливання, зміцнення.

### АННОТАЦІЯ

Мандрик О.Н. Усовершенствование методов повышения эксплуатационных характеристик замковых резьбовых соединений бурильных колонн. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 — Машины нефтяной и газовой промышленности. — Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1997.

Диссертация посвящена вопросам повышения эксплуатационных характеристик замковых резьбовых соединений бурильных колонн и забойных двигателей за счет упрочнения их резьбовых соединений новым прогрессивным методом. Разработана технология и оборудование для упрочнения замковых резьбовых соединений при помощи энергии ультразвуковых колебаний. Спроектированы и изготовлены ультразвуковые концентраторы, рабочие инструменты для упрочнения наружных и внутренних резьбовых поверхностей и определены рациональные режимы основных параметров ультразвуковой обработки (УЗО). Выведены зависимости для определения предельной амплитуды цикла напряжений разных размеров бурильных труб; рациональных значений геометрических параметров рабочего инструмента и двугранного угла между плоскостью симметрии инструмента и плоскостью, перпендикулярной оси детали. Основные результаты работы нашли промышленное внедрение при изготовлении и ремонте утяжеленных бурильных труб на трубных базах.

Ключевые слова: резьбовое соединение, муфта, ниппель, колонна бурильных труб, ультразвуковые колебания, упрочнение.

## ABSTRACT

Mandryk O.M. Improvements of Operation Characteristics of Key Treading Joint in Drilling Shaft. — Manuscript.

The thesis is for getting the degree of candidate of sciences in speciality 05.05.12 — Machines of Oil and gas industry. — Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, 1997.

The thesis deals with the improvement of drilling shafts and drilling engines using the strenthnins of their threadins joint by new modern methods. The equipment and technology of streng theniny of the key treadins joint are worked out in this thesis by usins the energy of ultrasonic ways. Ultrasonic concentrators, operation instruments for streng thening of inside and outside treading surfaces are calculated and made and optimum meanings of main characteristics of ultrasonic treatment are determined.

We propoze the dependence for determination of limited amplitudes of different loadin for drilling pipes of different dimensions and optimum meanings of geometric characteristics of operation instrument and two sides andle between the area of symmetry of instrument and area which is perpendicular to the axis of detail.

The results of thesis are used during the manufacturing and repairing of heavy — weight drill pipes.

Key words: treading joint, nipple, loint, drilling shaft, ultrasonic oscillation, strengthenins.

