

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

На правах рукопису

Сімків Мирослава Євгеніївна

УДК 622.245
622.243.27(043)

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

05.15.10 – Буріння свердловин

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Науковий керівник
доктор технічних наук, професор
Чернов Борис Олександрович

Всі фізичні дисертації ідентичні за змістом
Вед. секретар спец. в. ради Дло.051.02 17.05.05р. /З.М. Ковбасюк/

Чернов, З.М. Ковбасюк - Івано-Франківськ - 2005

Секретар спец. в. ради

З.М. Ковбасюк

17.05.05

264

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1	
СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
1.1. Аналіз аварій з бурильними колонами при спорудженні глибоких свердловин.....	12
1.2. Умови роботи з'єднувальних елементів бурильної колони в свердловинах.....	15
1.3. Вивчення впливу основних чинників на роботоздатність елементів бурильної колони при роторному бурінні.....	19
1.4. Постановка задач досліджень.....	31
Висновки до розділу 1.....	33
РОЗДІЛ 2	
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ.....	35
2.1. Методика експериментальних досліджень.....	35
2.1.1. Конструкції натурних зразків різьбових і зварних з'єднань та вибір дослідницьких стендів.....	35
2.1.2. Вибір вимірювальних засобів і реєструючого обладнання.....	42
2.1.3. Методика обробки результатів експериментальних досліджень.....	42
2.2. Застосування закону збереження і перетворення енергії для опису кривої втомної міцності.....	46
Висновки до розділу 2.....	56
РОЗДІЛ 3	
ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ПРИ РОТОРНОМУ БУРІННІ.....	58
3.1 Обґрунтування конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості.....	58

3.2. Уточнення математичної моделі роботи компоновки низу бурильної колони при роторному бурінні.....	66
3.3. Дослідження розподілу напружень в небезпечних перерізах елементів компоновки низу бурильної колони.....	82
Висновки до розділу 3.....	85

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ.....	87
4.1. Розробка конструкцій обважнених бурильних труб з замковими різьбовими з'єднаннями підвищеної міцності.....	87
4.1.1. Обґрунтування і розрахунок геометричних параметрів.....	87
4.1.2. Експериментальні дослідження напружень на опір втомі замкових різьбових з'єднань.....	91
4.1.3. Порівняння теоретичних та експериментальних результатів досліджень на опір втомі замкових різьбових з'єднань.....	95
4.2. Розробка обважнених бурильних труб з приварними різьбовими кінцями.....	99
4.2.1. Умови експлуатації обважнених бурильних труб при роторному бурінні.....	99
4.2.2. Розробка елементів конструкції та технології виготовлення.....	100
4.2.3. Дослідження впливу розвантажувальних канавок на опір втомі зварних з'єднань обважнених бурильних труб.....	115
4.2.4. Дослідження обважнених бурильних труб з приварними кінцями на довговічність на основі критеріїв механіки руйнування.....	120
Висновки до розділу 4.....	131

РОЗДІЛ 5

ПРОМИСЛОВА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	133
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	137
ДОДАТКИ.....	147

ВСТУП

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 у складі колони не перевищує 5...10%.

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

У 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 з 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.

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

внесли такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як Альтман Т., Баришніков А.І., Газанчан Ю.І., Гормлі Е.Ф., Данелянц С.М., Дубленич Ю.В., Івасів В.М., Ільський А.Л., Копей Б.В., Крижанівський Є.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.

Незважаючи на обсяги досліджень, 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 колон у процесі будівництва і експлуатації нафтових і газових свердловин», ДНТП «Технології буріння, пошук, видобування та переробка корисних копалин», ДНТП «Нові технології зварювання і суміжні процеси».

Мета і задачі дослідження

Мета роботи – 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 поздовжніх 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 – долотовибій» 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

елементів використані статистичні методи аналізу результатів моделювання динамічних процесів у бурильній колоні з допомогою програмного забезпечення.

Під час встановлення закономірностей впливу конструктивних і технологічних чинників на експлуатаційні характеристики елементів бурильної колони, дослідження напруженого стану різьбових з'єднань мають місце похибки, в наслідок прийнятих обумовленостей. А тому в роботі використовується комбінований метод, що передбачає теоретичне обґрунтування проблеми з подальшим його підтвердженням та доповненням результатами експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження проводились з використанням методики раціонального планування експериментів, що дало змогу значно скоротити їх кількість.

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 кінцевих 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 обважнених бурильних труб з приварними різьбовими кінцями за рахунок розвантажувальних канавок зварних з'єднань та одержаних аналітичних залежностей із визначення їх раціональних параметрів.

4. Вперше розроблено конструкції замкових різьбових 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 обважнених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми при поздовжніх і крутильних коливаннях.

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

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

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

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

Розроблено конструкції обважнених бурильних труб (ЗРЗ 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 до 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. Мойсишиним В.М.

Особистий внесок здобувача:

- на основі літературного та патентного пошуків проведено аналіз впливу конструктивних факторів на довговічність конічних різьбових з'єднань [58];
- 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 [57, 58, 59];
- 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 [65, 66, 67, 73, 74, 77, 101];
- визначено оптимальні параметри розвантажувальних канавок зварних з'єднань ОБТ, досліджено їх вплив на опір втомі в повітряному та корозійному середовищах [77];
- проведено дослідження на довговічність зварних з'єднань обважнених бурильних труб з використанням критеріїв механіки руйнування та встановлено вплив тренування на опір втомі [96, 99, 100];
- удосконалено методику 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.), на науково-

технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФІНГ (м. Івано-Франківськ, 1992-99рр.), на конференціях молодих вчених ІФІНГ (м. Івано-Франківськ, 1991-95рр.), на Міжнародному ярмарку науково-технічних досліджень (м. Москва, 1991р.), на Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми і шляхи енергозабезпечення України” (м. Івано-Франківськ, 1993р.), на 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 у 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.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПРОБЛЕМИ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз аварій з бурильними колонами при спорудженні глибоких свердловин

Бурильна колона, як відомо, служить для передачі осьового навантаження і крутного моменту долоту та забезпечує подачу промивальних рідин на вибій. При будівництві глибоких нафтових і газових свердловин найбільш несприятливі умови для роботи бурильної колони виникають при роторному способі буріння.

Елементи бурильної колони часто руйнуються внаслідок дії корозійного середовища (промивальної рідини) та значних статичних і динамічних навантажень. Руйнування елементів бурильної колони, що зумовлені втомними явищами, можна розділити на три основні групи: руйнування замкових різьбових з'єднань; руйнування труб у висадженій частині по трубній різьбі або по зварному шву; руйнування по гладкій частині труби.

У даній роботі проведено аналіз аварій з бурильними колонами при бурінні глибоких свердловин на нафту і газ на території України підприємствами ВАТ “Укрнафта”, і геологічними підприємствами України за період з 1984 по 2004рр та наведено результати наукових досліджень, виконаних авторами [1,2 3,].

Автором [1] встановлено, що на підприємствах Міністерства Геології за період з 1971 по 1982 роки сталося 244 аварії, при чому 38% від загальної кількості руйнувань елементів бурильної колони, становлять аварії, пов'язані з сталевими бурильними трубами, 15% – з легованими трубами і 15,1% – становлять аварії, які пов'язані з руйнуваннями замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб.

Автором [2,3] показано, що на підприємствах ВАТ «Укрнафта» при бурінні нафтових і газових свердловин відбувається достатньо велика кількість аварій, пов'язаних з втомним руйнуванням замкових різьбових з'єднань різних типорозмірів обважнених бурильних труб, частка яких складає 26% від загальної кількості аварій з різьбовими з'єднаннями бурильної колони.

Відмічено також, що при збільшенні глибин буріння ймовірність руйнувань зростає. Так, наприклад, при збільшенні глибини свердловини з 3500м до 5500м ймовірність аварій зростає майже в 2 рази при турбінному способі буріння та майже в 5 разів при роторному.

Стенові і промислові дослідження показали, що втомні руйнування замкових різьбових з'єднань ОБТ відбуваються по першому спряженому витку різьби ніпеля або по останньому спряженому витку різьби муфти. Місце злому залежить від ступеня не зрівноваженості з'єднання. При цьому замкові різьбові з'єднання ОБТ-108, ОБТ-120, ОБТ-146 руйнуються по першому спряженому витку різьби ніпеля (на відстані 22-24мм від упорного уступу), а ОБТ-178, ОБТ-203 та ОБТ-229 - по останньому спряженому витку муфтової частини з'єднання [3].

Зібрано дані і проведено статистичний аналіз аварій з бурильними колонами, пов'язаних з втомними руйнуваннями замкових різьбових з'єднань ОБТ на підприємствах ВАТ «Укрнафта» при бурінні свердловин роторним способом за період з 1984–2004рр. Встановлено, що за даний період зафіксовано 444 втомних руйнування замкових різьбових з'єднань різних типорозмірів ОБТ.

Результати статистичного аналізу аварій з замковими з'єднаннями ОБТ діаметром 108, 146, 178, 203, 229 і 245мм наведені в таблиці 1.1.

Аналіз показує, що основна частка аварій відбувається на великих глибинах, оскільки із збільшенням глибини свердловини зростають динамічні навантаження, які діють на різьбові з'єднання елементів бурильної колони.

Аналогічна картина спостерігалась і на геологічних підприємствах України, де за період з 1984 по 2004 рр. трапилося 57 втомних руйнувань замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб.

Статистичні дані про аварії з обважненими бурильними трубами при роторному бурінні свердловин на підприємствах ВАТ “Укрнафта”

РІК	Руйнування по ніпелю	Руйнування по муфті	Всього	Інтервали глибин, м		
				2000-3000	3000-4000	4000-5000
1984	13	18	31	5	9	17
1985	10	19	29	4	11	14
1986	9	17	26	6	9	11
1987	11	19	30	3	17	10
1988	8	20	28	2	14	12
1989	10	12	22	5	10	7
1990	9	15	24	4	10	10
1991	8	14	22	10	6	6
1992	6	10	16	4	8	4
1993	7	19	26	6	11	9
1994	6	10	16	2	9	7
1995	8	14	22	3	13	6
1996	11	13	24	5	12	7
1997	4	9	13	3	5	5
1998	5	10	15	3	9	3
1999	7	13	20	12	4	4
2000	8	13	21	7	6	8
2001	9	10	19	2	10	7
2002	3	5	8	1	3	4
2003	4	7	11	2	4	5
2004	3	9	12	2	10	—

Отже, недивлячись на те, що проблемі підвищення довговічності бурильних колон присвячена значна кількість досліджень і робіт, які дозволили підвищити ефективність буріння свердловин, все ще продовжують відбуватися аварії з замковими різьбовими з'єднаннями ОБТ.

Тому роботи, спрямовані на підвищення експлуатаційних характеристик замкових різьбових з'єднань, а відповідно і бурильної колони в цілому, є досить актуальними.

1.2. Умови роботи з'єднувальних елементів бурильної колони в свердловинах

Для буріння нафтових і газових свердловин застосовується бурильна колона, яка з'єднує породоруйнівний інструмент з наземним обладнанням і складається з ведучої труби, бурильних і обважнених бурильних труб. Вказані конструктивні елементи з'єднуються між собою замками з конічними різьбовими парами, згвинченими з натягом, виготовлених з сталей згідно ГОСТ 25.502-79.

При згвинчуванні конічних замкових різьбових з'єднань з натягом зростає його монолітність, відбувається перерозподіл напружень між муфтою та ніпелем і опір втомі з'єднання в цілому підвищується. Автором [2], на основі аналізу результатів експериментальних досліджень на опір втомі натурних зразків замкових різьбових з'єднань елементів бурильної колони, згвинчених оптимальними крутними моментами, встановлено, що додатній осьовий натяг підвищує опір втомі замкових різьбових з'єднань до 30%, а від'ємний осьовий натяг – зменшує до 20-22%. Проте, як показала практика, майже 90% замкових різьбових з'єднань, виготовлених на заводах України і Росії мають від'ємний осьовий натяг. Це пояснюється недотриманням технології при нарізанні різьб та використанням низькоякісних верстатів.

Для заміни породоруйнівного інструменту при бурінні свердловин проводяться опускально-підіймальні операції бурильної колони. Відповідно,

різбові з'єднання бурильної колони повинні забезпечувати швидке згвинчування-розгвинчування замкових пар, герметичність, взаємозамінність і володіти зносостійкістю і високим опором втомі при знакозмінних навантаженнях.

Теоретичні та експериментальні дослідження [3,4] показали, що в замковому з'єднанні існують два небезпечних перерізи, по яких можуть відбуватися руйнування: в ніпелі – по першому спряженому витку, який знаходиться на відстані 24 мм від упорного уступу та в муфті – по останньому спряженому витку різьби, на відстані 10 мм від торця ніпеля (рис. 1.1). Місце руйнування і відповідні значення границь витривалості замкових різьбових з'єднань залежать від співвідношення осьових моментів опору ніпеля і муфти у небезпечному перерізі.

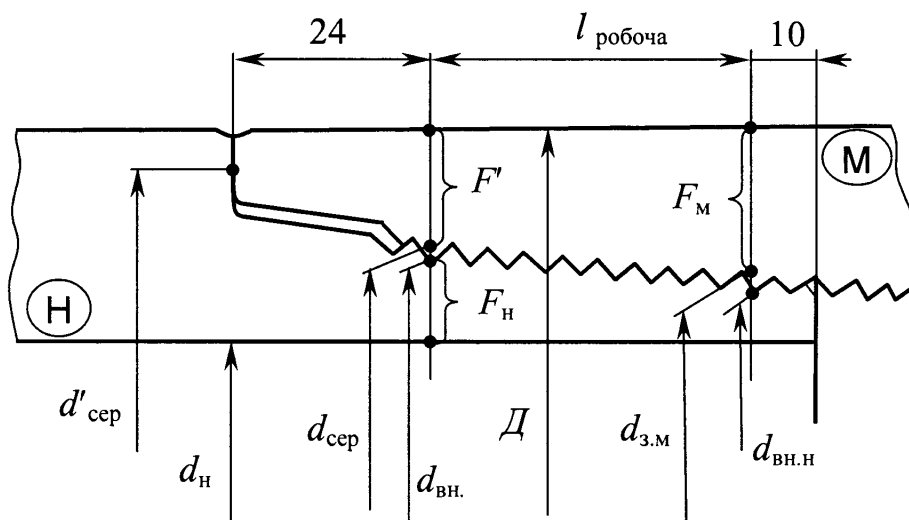


Рис. 1.1. Розрахункові перерізи кінцевого різьбового з'єднання.

Кінчні замкові різьбові з'єднання мають такі переваги над циліндричними різьбами:

а) Можливість одержання відповідних пресових посадок різьбових пар, згвинчених з натягом.

б) Різьбові з'єднання, згвинчені з позитивними натягами, утворюють монолітність конструкції ніпеля і муфти, підвищують герметичність і втомну міцність при дії динамічних навантажень.

в) Осьові напруження, що виникають внаслідок дії крутного моменту, в кінчному різьбовому з'єднанні розподіляються більш рівномірно по довжині конуса [4].

Для повного згвинчування - розгвинчування кінчних з'єднань кількість обертів залежить тільки від конусності, робочої висоти профілю, кроку, і не залежить від кількості витків різьби :

$$n = \frac{2h + \Delta}{\text{tg } \varphi S}, \quad (1.1)$$

де S - крок різьби;

h - висота профілю різьби;

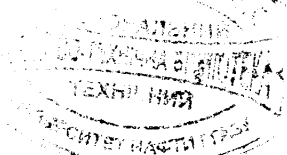
Δ - допуск на вимір;

$\text{tg } \varphi$ - конусність різьби.

При згвинчуванні кінчних замкових з'єднань у процесі опускально - підймальних операцій ніпель входить у муфту на значну глибину, що забезпечує самоцентрування різьби і розподіл осьового навантаження на більшу кількість витків.

Замкові різьбові з'єднання, що використовуються для з'єднання бурильного інструменту, повинні мати повну взаємозамінність, тобто будь-який ніпель чи муфта відповідного розміру повинні згвинчуватися одне з одним.

До переваг відноситься також те, що кінчні різьбові з'єднання розрізняються характером контакту по профілю різьби. В з'єднаннях бурільних труб і гвинтових двигунах, в основному, використовуються кінчні різьби з



кутом 60° та контактом по бокових сторонах профіля і зазорами по зовнішньому і внутрішньому діаметрах різьби.

У замковому з'єднанні для відновлення профіля різьби необхідно відрізати лише незначну частину довжини різьби. Так для повної перенарізки різьби З-147, необхідно відрізати 25–30мм, а при ремонті різьби лише 15–20мм довжини деталі замка.

Таким чином, забезпечення безаварійного використання ОБТ є першочерговим завданням у розв'язанні проблеми підвищення роботоздатності бурильних колон.

У зв'язку зі складністю визначення сил, які діють в реальних умовах на елементи бурильної колони при бурінні свердловин, на практиці це завдання розв'язується шляхом встановлення нормативу роботоздатності труб, який для різних районів буріння визначається на основі статистичної обробки даних аварійності. Наприклад, при бурінні свердловин буровими підприємствами ВАТ „Укрнафта“ гарячекатані обважнені бурильні труби, які виготовлені із вуглецевих сталей по ТУМ-3-835-79 знімаються з експлуатації та відправляються для перенарізки різьб через 400 годин буріння роторним способом, а обважнені бурильні труби стабілізовані, та виготовлені із легованих сталей – через 2500 годин. Норматив роботоздатності різьбових з'єднань ОБТ залежить у першу чергу від сукупності діючих навантажень при бурінні свердловини, механічних характеристик матеріалу труб та конструктивних чинників.

Бурильна колона в процесі експлуатації втрачає стійку прямолінійну форму, приймаючи вигляд просторової спіралі змінного кроку, на яку діють різноманітні навантаження. За результатами робіт [5,6,7,8,9,10,11,12,13] можна виділити такі характерні навантаження, що діють на різьбові з'єднання бурильної колони в свердловині:

- осьові сили розтягу від власної ваги бурильного інструменту;
- осьові сили розтягу в ніпелі замкового з'єднання від моменту згвинчування;
- додаткові осьові сили розтягу від перепаду тиску при прокачуванні промивальної рідини;

- осьові сили стиснення при створенні навантажень на долото;
- крутний момент, необхідний для обертання колони труб і підведення потужності на бурове долото;
- змінний згинаючий момент, що виникає при роботі колони на викривлених ділянках свердловини, від поздовжнього прогину при стиску і під дією відцентрових сил;
- інерційні навантаження при проведенні спуско-підіймальних операцій;
- динамічні навантаження при обертанні колони труб, спуско-підіймальних операціях, а також роботі долота.

Експериментальними та промисловими дослідженнями [12,14,15,16] встановлено, що в нижній частині бурильної колони динамічні навантаження набувають значних величин і залежать від компоновки низу колони, типу доліт та режиму навантаження. Основним найбільш тривало діючим навантаженням в колоні при роторному способі буріння свердловин є знакозмінний згинаючий момент, що призводить до накопичення втомних тріщин, а відповідно і втомних руйнувань елементів бурильних колон [14,15,16].

Виходячи з цього, при розрахунку бурильних колон на опір втомі враховуються тільки знакозмінні згинаючі напруження.

Із збільшенням глибини буріння нафтових і газових свердловин зростають динамічні навантаження на бурильну колону, тому зростають вимоги до підвищення експлуатаційних та міцнісних характеристик бурильних і обважнених бурильних труб.

1.3. Вивчення впливу основних чинників на роботоздатність елементів бурильної колони при роторному бурінні

Під дією знакозмінних напружень у металах виникають явища поступового накопичення пошкоджень, що зумовлюють втомне руйнування. Довговічність елементів бурильної колони, які працюють при знакозмінних навантаженнях, в

значній мірі визначається опором втомі матеріалів, з яких вони виготовлені.

При виборі матеріалу для елементів бурильної колони, які працюють при знакозмінних навантаженнях, необхідно врахувати їх розміри і концентрації напружень.

У роботі [17] наведені результати дослідження зразків валів діаметром від 10 до 200 мм, виготовлених з легованих і вуглецевих сталей. Авторами [17] встановлено, що при відсутності концентраторів напружень перевага валів з термічно оброблених легованих сталей перед вуглецевими зберігається при збільшенні їх діаметра з 15 до 100 мм.

У роботах [18,19,20] подані узагальнені результати впливу концентратора напружень і масштабного фактору на опір втомі вуглецевих і легованих сталей.

Дослідниками встановлено, що легована сталь більш чутлива до впливу концентратора напружень і масштабного фактора, ніж вуглецева. Так, границя витривалості суцільного тіла труби із легової сталі становить 210 МПа, а замкових різьбових з'єднань – 70 МПа, відповідно границя витривалості суцільного тіла труби з вуглецевої сталі становить 190 МПа, а замкових різьбових з'єднань – 65 МПа.

Г.Б. Ужик [21] вказує, що перевищення міцності гладких зразків при знакозмінному навантаженні не є показником міцності зразків з надрізом, які мають концентрацію напружень. Опір втомі деталей з гострим надрізом залежить від здатності металу витримувати дію концентрації напружень при об'ємному напруженому стані [22]

Автором [23] встановлено, що збільшення розмірів замкових різьбових з'єднань ОБТ від 80 до 178 мм із легованих сталей призводить до зниження границі витривалості з 75 до 41 МПа. На підставі експериментальних і теоретичних досліджень визначено границі витривалості різьбових з'єднань від їх геометричних розмірів та встановлена залежність оптимального напруження згвинчування σ_z (рис.1.2.). Експериментальні дослідження проводились на натурних зразках замкових з'єднань виготовлених із сталі з $\sigma_{0,2}=640-800$ МПа та $\sigma_{0,2}\geq 900$ МПа .

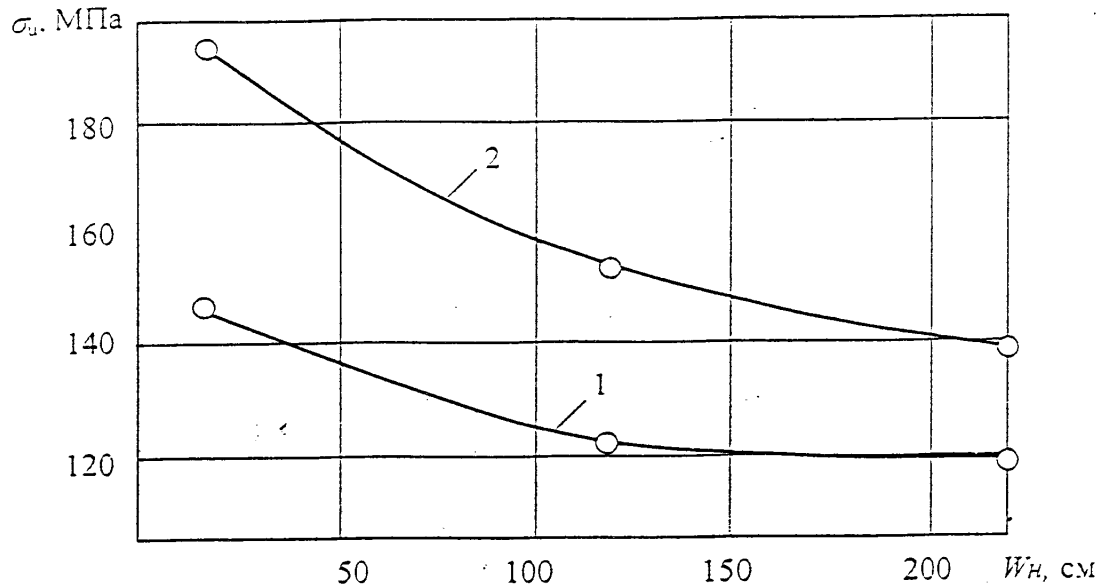


Рис. 1.2. Залежність границі витривалості замкових різьбових з'єднань, згвинчених оптимальним крутним моментом від матеріалу та масштабного чинника

1 – натурні зразки із сталі з $\sigma_{0,2} = 640 \dots 800 \text{ МПа}$,

2 – натурні зразки із сталі з $\sigma_{0,2} \geq 900 \text{ МПа}$.

У роботі [24] на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень одержана залежність зміни відношення границі витривалості від геометричного розміру різьбових з'єднань виготовлених з вуглецевих і легованих сталей (рис. 1.3).

З рисунка слідує, що масштабний фактор більше впливає на конструкції з вуглецевої сталі лише при їх малих розмірах, а далі спостерігається вирівнювання границь витривалості.

Зважаючи на те, що збільшення глибин буріння ставить вимоги використання сталей підвищеної міцності, авторами [24,25,26] проведені дослідження на опір втомі натурних зразків конічних різьбових з'єднань різних типорозмірів (від 80 до 192 мм) із легованих сталей 40ХН, 40ХН2МА, 43ХН2МФА з $\sigma_{0,2} = 940 \dots 1100$ МПа.

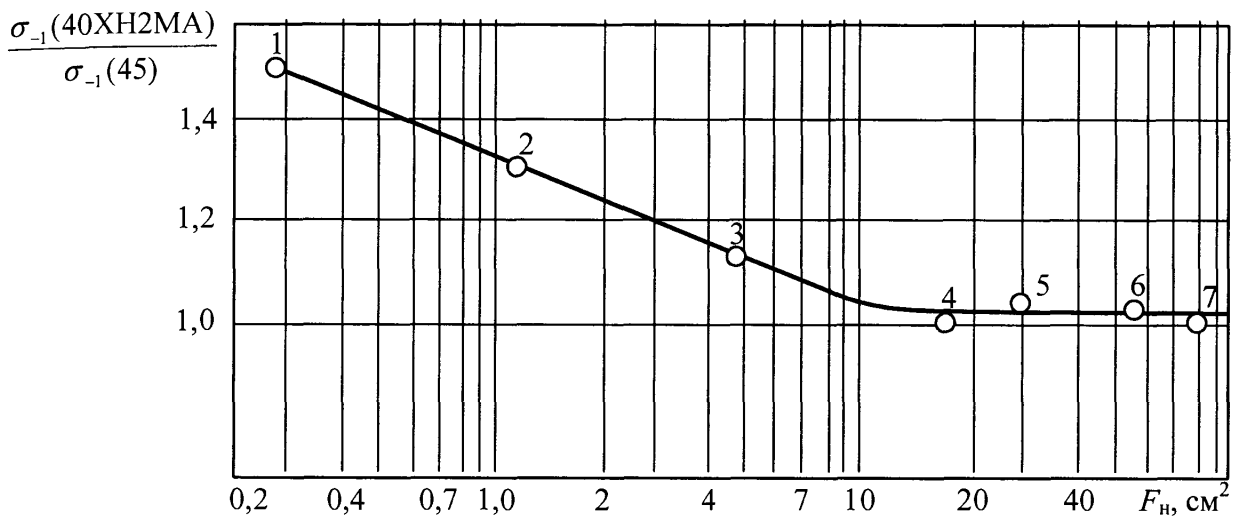


Рис. 1.3. Вплив масштабного чинника на зміну відношення границь витривалості зразків ЗРЗ із легованої та вуглецевої сталі.

На підставі аналізу результатів теоретичних і експериментальних досліджень авторами [24,25,26] встановлено, що, починаючи з $F_H \approx 25 \text{ см}^2$ границі витривалості замкових різьбових з'єднань згвинчених оптимальними крутними моментами, виготовлених із вуглецевих та легованих сталей ($\sigma_{0,2} = 380 \dots 1100$ МПа), відрізняються між собою не більше 10%. На рис.1.4. наведено порівняння границь витривалості натурних зразків замкових різьбових

з'єднань ОБТ-146, виготовлених із сталей: 40ХН2МА, 40ХН та вуглецевої сталі 45.

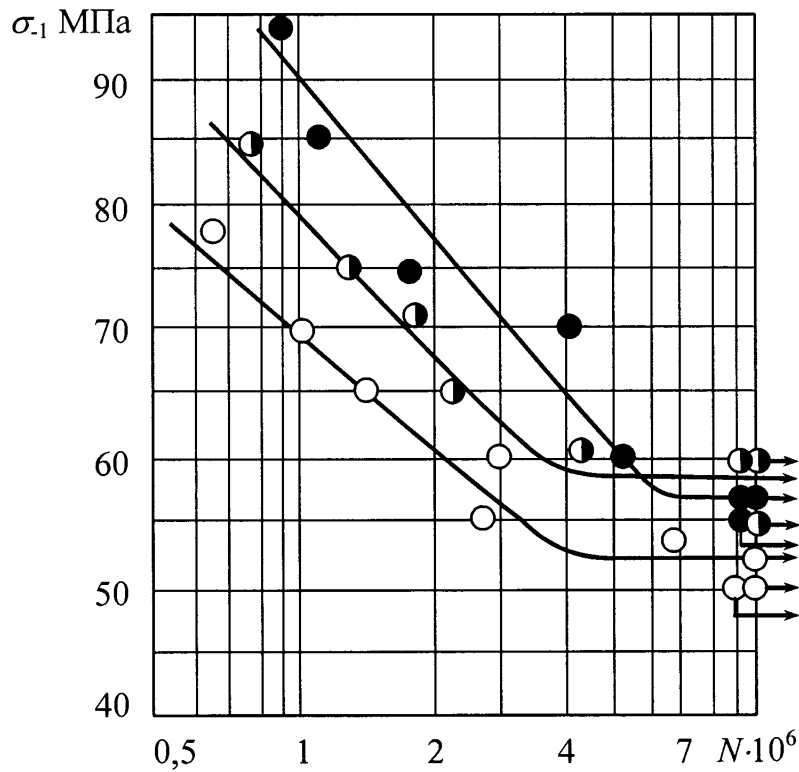


Рис. 1.4. Криві втоми різьбового з'єднання ОБТ-146 з різьбою 3-121:

○- натурні зразки із сталі 45,

◐- натурні зразки із сталі 40ХН

● - натурні зразки із сталі 40ХН2МА.

Оскільки натурні дослідження замкових з'єднань дають лише інтегральні характеристики їх довговічності, авторами [27,28,29] були проведені дослідження

сталей на тріщиностійкість у повітряному та в корозійному середовищі, що дало змогу пояснити механізм одержання однакових границь витривалості замкових різьбових з'єднань з різних сталей та з різними механічними властивостями.

Дрогобицьким експериментально-механічним заводом випускаються обважені бурильні труби з легованої сталі з термообробленими кінцями довжиною 6...6,5 м (ОБТС), ОБТС2(ТУ39-076-80). Оскільки середня частина труб не термооброблена, то великий практичний інтерес викликають роботи, пов'язані з розробкою конструкцій обважених бурильних труб з приварними різьбовими кінцями довжиною 9-12 м з легованих і вуглецевих сталей.

Крім того, при бурінні свердловин широко використовуються бурильні труби з приварними замками. На основі статистичного аналізу аварій бурильних колон в роботі [2] показано, що руйнування по зварному шву труб ТБПВ відбуваються досить часто і становлять більше 10% від загальної кількості аварій.

Широке використання зварних конструкцій призвело до розвитку багатьох способів зварювання: газове, термічне, ручне дугове, напівавтоматичне і автоматичне дугове, з обертанням дуги в магнітному полі, контактнo-стикове та лазерне. Проте, зі всіх перелічених способів найбільш широке практичне застосування одержали електро-дугове та контактнo-стикове зварювання.

Достатньо широко вивчено вплив різних факторів на міцнісні характеристики зварних з'єднань тонкостінних конструкцій, виготовлених електро-дуговим способом. Крім цього слід відмітити, що більшість робіт присвячено дослідженню зварювання однорідних сталей.

На підприємствах ВОТ «Печеранефть» (РФ) при бурінні свердловин, які знаходяться далеко від трубної бази, практикували проведення ремонту обважених бурильних труб безпосередньо на буровій: відрізали різьбові кінці замкового різьбового з'єднання (ніпель і муфту) і після центрування приварювали електро-дуговим способом нові, які були виготовлені із сталі 40ХН2МА із $\sigma_{0,2} = 680-720$ МПа.

Дослідження на опір втомі зварних конструкцій, які були проведені у ВНДБТ показали, що границя витривалості таких з'єднань досить низька і

становить 40-45 МПа, тобто відповідає границі витривалості замкових різьбових з'єднань зі збігом різьби. Цим пояснюються часті втомні руйнування зварних з'єднань ОБТ при бурінні свердловин роторним способом.

Враховуючи, що товщина стінки ОБТ в 8-10 разів перевищує товщину стінок бурильних труб, то потреба дослідження на втомну міцність зварних з'єднань ОБТ із різнорідних сталей, з урахуванням впливу корозійного середовища на довговічність зварних з'єднань очевидна.

Для з'єднання елементів бурильної колони широкого застосування набули конічні різьби. Габарити їх строго обмежені по зовнішньому і внутрішньому діаметру, тому в процесі вибору основних параметрів різьб у більшості випадків виходять із обмеженої товщини стінок деталі.

З метою забезпечення монолітності та високого опору втомі різьбові з'єднання згвинчуються значними крутними моментами і в процесі експлуатації при частому їх згвинчуванні і розгвинчуванні відбувається зношування витків різьби. Дослідження показали, що знос конічних різьб у значній мірі залежить від механічних властивостей матеріалу, а також від точності виготовлення кута профілю різьби. Відхилення цього параметру від нормативного значення призводить до зміни умов контакту поверхонь витків, що труться [30].

Різьба є концентратором напружень і теоретичний коефіцієнт концентрації напружень визначається за формулою[31]:

$$\alpha_k = 1,6 - 0,2\alpha + \frac{1}{7\sqrt{\alpha^3} \left(1 + \frac{1}{\varphi}\right) + 0,4\sqrt{\alpha}}, \quad (1.2)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{R}{d};$$

$$\varphi = \frac{t}{d};$$

t - глибина концентратора;

R - радіус заокруглення впадини різьби;

d - товщина стінки деталі.

Таким чином, зі збільшенням радіуса заокруглення впадини різьби концентрація напружень зменшується і витривалість з'єднань суттєво зростає.

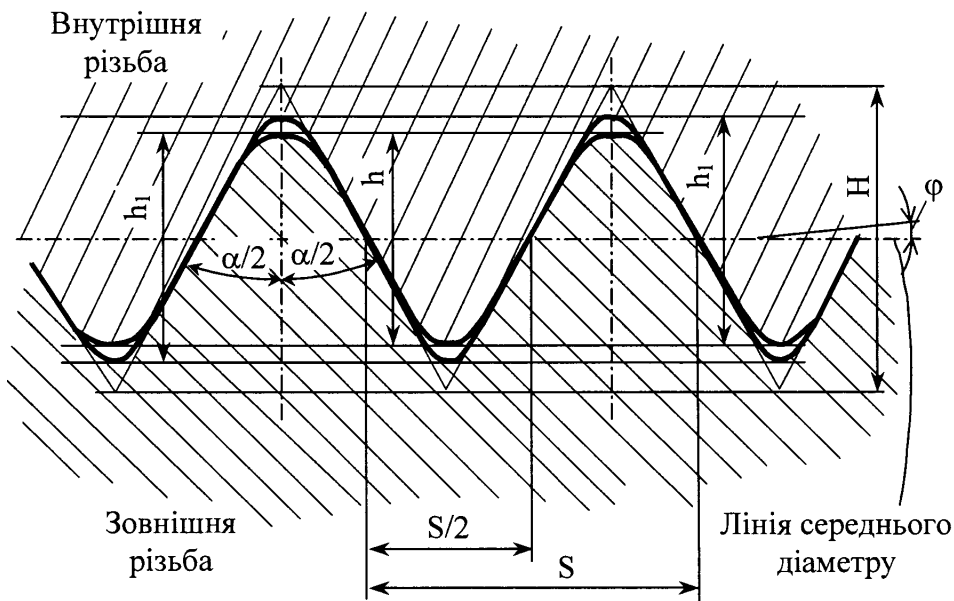


Рис. 1.5. Різьба трикутного профілю з посадкою по бічних сторонах профілю

h_1 - висота профілю;

S - крок різьби;

h - робоча висота профілю;

ϕ - кут нахилу.

Так, наприклад, при переході від різьби з плоскою впадиною до різьби з радіусом заокруглення $R = 0,1S$ границя витривалості збільшується на 23%, а при

переході до різьби з $R = 0,4S$ гранична амплітуда для з'єднань з різьбою М 10 зростає в 2,25 рази [32].

У роботі [7] наведені результати досліджень впливу радіуса заокруглення впадини різьби на втомну міцність конічних різьбових з'єднань корпусів турбобура. На втомну міцність досліджувались натурні зразки з'єднань діаметром 195 мм з різьбою РКТ 177×5,08×1:16 з радіусами заокруглення $R = 0,5$ мм ($\frac{R}{S} = 0,1$) та $R = 0,87$ мм ($\frac{R}{S} = 0,145$). Дослідження показали, що збільшення радіуса заокруглення впадини різьби з $R = 0,1S$ до $R = 0,145S$ підвищує границю витривалості з'єднань на 17%.

У ВНДІБТ на основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено різьбові з'єднання СК90, які мають збільшений радіус заокруглення впадин різьби і кут профілю рівний 90° [7].

Дослідники встановили, що застосування таких типів різьб підвищує зносостійкість з'єднань до 30-35%, а втомну міцність на 31-60%. Причому різьбові з'єднання з кутом профілю 90° рекомендують застосовувати лише в колоні ОБТ, де осьові навантаження не перевищують 300÷400 кН.

У роботі [23] подані результати досліджень замкових різьбових з'єднань ЗУ-155 з різьбою З-133 по ГОСТ 5286-75, основною відмінністю яких від стандартних різьб є збільшений радіус заокруглення впадин $R = 0,965$ мм, замість $R = (0,508 \text{ і } 0,635)$ мм. Проведені дослідження натурних зразків різьбових з'єднань на втомну міцність показали, що збільшення радіуса заокруглення призводить до підвищення границі витривалості відповідно на 25-30%. Окрім з'єднань ЗУ-155 досліджувався вплив радіуса заокруглення різьб на втомну міцність з'єднань ЗШ-178 з різьбою З-147×6,35×1:6 та конструкції з'єднань АНІ 56, які виготовлені згідно нормативного документу американського нафтового інституту.

Результати дослідження наведені графічно на рис. 1.6. Як видно з цього рисунка, втомна міцність з'єднань АНІ 156 з радіусом заокруглення $R = 0,965$ мм

вища за втомну міцність з'єднань ЗШ-178 з радіусом заокруглення $R = 0,635$ мм (при $M_{кр} = 15000 \text{ Н} \cdot \text{м}$) на 23%.

Оскільки при збільшенні радіуса заокруглення впадини різьби приріст витривалості досягається шляхом безпосереднього впливу на величину концентрації напруження у впадині першого спряженого витка різьби з'єднання, то величину приросту границі витривалості $\Delta\sigma$ можна, з певним наближенням, визначити безпосередньо із співвідношення теоретичних коефіцієнтів концентрації напружень.

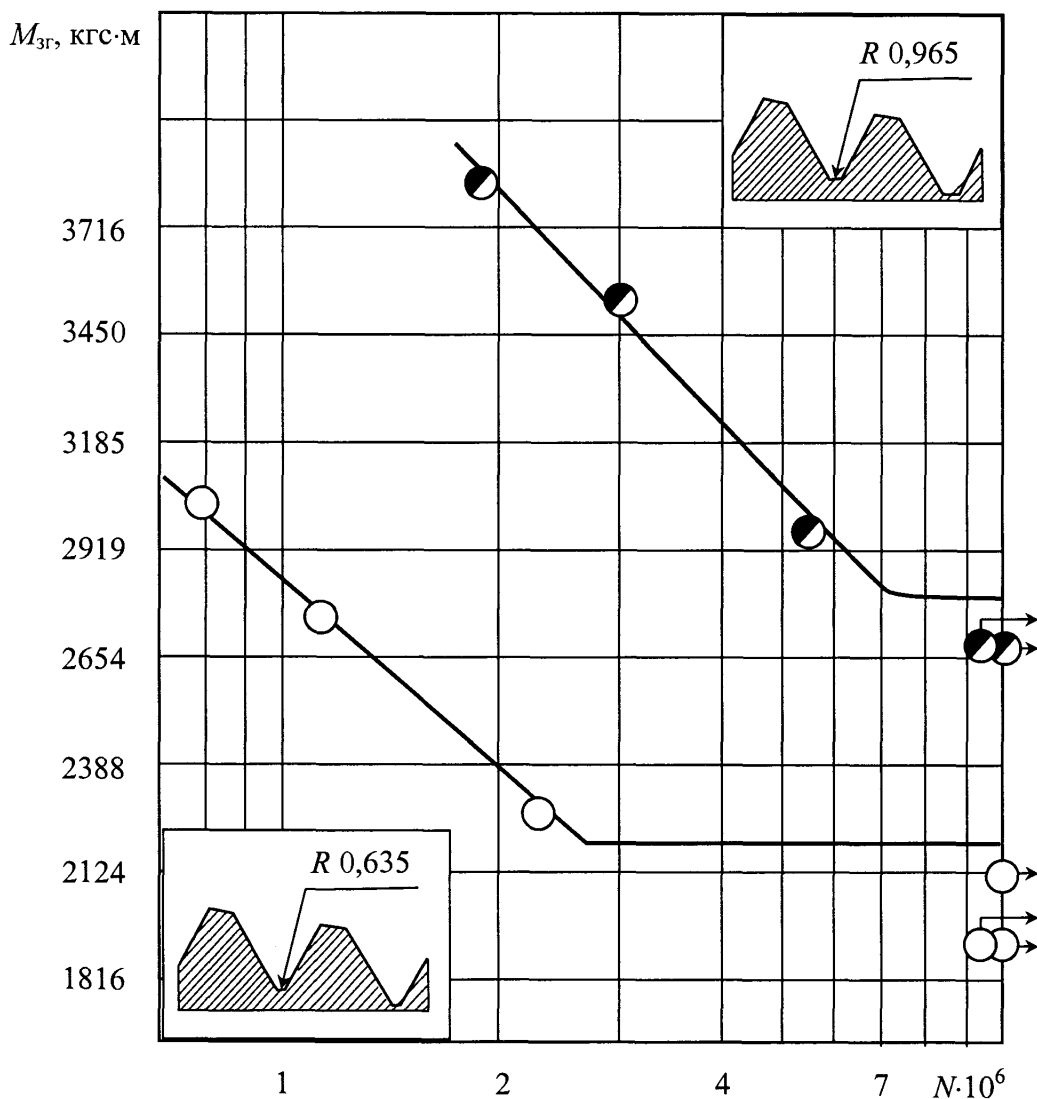


Рис. 1.6. Криві втоми замкових з'єднань ЗШ-178 з різьбою 3-147×6,35×1:6:

○ - з'єднання ЗШ-178;

◐ - з'єднання АНІ 56.

Аналізуючи наведені вище результати досліджень можна зробити висновок, що границю витривалості конічних замкових різьбових з'єднань можна значно підвищити шляхом перерозподілу навантажень між витками різьби та зменшенням коефіцієнта концентрації напружень.

Дослідженню абсолютної величини та характеру розподілу напружень, які виникають у замковому різьбовому з'єднанні при дії крутного та згинаючого моментів присвячена достатньо велика кількість робіт [33,34,35,36,37,38, 39,40,41,42].

У роботах [34,89] подано результати досліджень напружень, які виникають у ніпелі різьбового з'єднання при дії згинаючого моменту. Дослідником [34] показано, що максимальні напруження виникають у впадині першого спряженого витка різьби ніпеля і зростають прямо пропорційно згинаючому моменту до тих пір, доки упорні торці муфти і ніпеля не розкриваються.

Більш детальні дослідження напружень, які виникають у ніпельній та муфтовій частинах замкового різьбового з'єднання діаметром 75 мм, згвинчених різними крутними моментами при дії на них згинаючого моменту, проведені авторами [35,36]. Автором встановлено, що максимальні напруження виникають у впадині першого спряженого витка різьби при всіх значеннях крутного моменту згвинчування.

Автор [37] досліджував розподіл напружень, які виникають вздовж перерізів різьбового з'єднання корпусів турбобурів ЗТСШ-172 з різьбою МК156×5,5×1:32. Для цього в муфтовій та ніпельній частинах різьбового з'єднання по довжині різьби прорізувались пази, в які за спеціальною схемою вклеювались тензодатчики. Деформації, що виникали, вимірювались за допомогою тензометричної станції "ТОПАЗ-3".

Досліджуючи розподіл напружень по довжині різьби при дії крутного та згинаючого моментів, автор [37] встановив, що напруження розподіляються нерівномірно і основне навантаження припадає на перших 3-4 робочих витки.

Так, при згвинчуванні з'єднання оптимальним крутним моментом, рівним 25000 Н·м, напруження у впадині п'ятого спряженого витка різьби ніпеля

становили 16% від величини напружень, що виникали в першому спряженому витку. Процентне співвідношення напружень між витками різьби не змінилось і при дії згинаючого моменту.

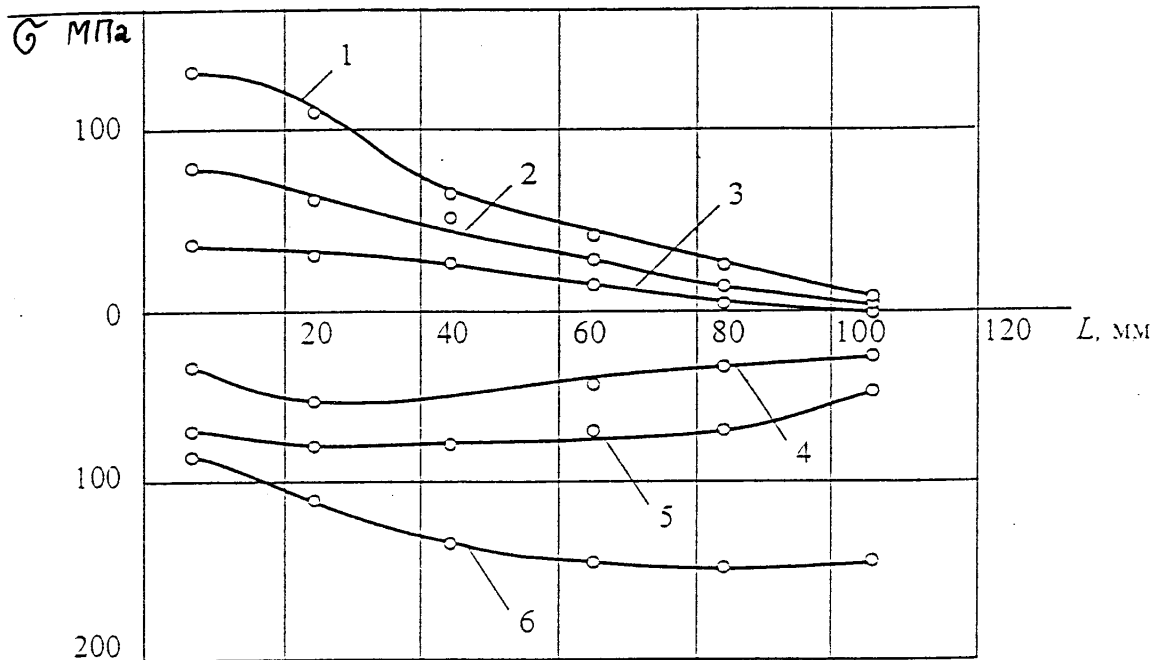


Рис. 1.7. Напруження вздовж згиненого різьбового з'єднання

МК 156×5,5×1:32 з нульовим додатнім та від'ємним осьовими натягами

1,2,3, - у канавці муфти, відповідно з осьовими натягами

$H=3,2$, $H=0...0,5$ та $H=-(1,8...1,85)$ мм;

4,5,6, - у канавці ніпеля, відповідно з осьовими натягами

$H=-(1,8...1,85)$, $H=0,05$ та $H=3,2$ мм.

Автори [38,39,40] досліджували розподіл напружень у перерізах по довжині різьби МК 156×5,5×1:32 з від'ємними, нульовими та додатніми осьовими

натягами (-2,0; 0; +3,4 мм) при дії крутного та згинаючого моментів. Результати досліджень наведені на рис.1.7. З рис.1.7. видно, що осьові напруження, які виникають у площині першого спряженого витка різьби ніпеля і муфти у з'єднаннях з додатнім осьовим натягом у два рази більші, ніж у з'єднаннях з нульовим натягом та в три рази більші, ніж у з'єднаннях з від'ємним натягом. Згвинчування різьбових з'єднань з додатнім натягом призводить до підвищення монолітності різьбового з'єднання та до перерозподілу навантажень між муфтою та ніпелем, а відповідно і довговічності даного з'єднання.

Експериментальні дослідження натурних зразків корпусів турбобурів з різьбою МК 156×5,5×1:32 на опір втомі показали, що границя витривалості різьбових з'єднань з додатнім осьовим натягом на 30% більша в порівнянні з різьбовими з'єднаннями з від'ємним осьовим натягом [38,39,40].

Аналіз результатів вищенаведених досліджень дає підстави зробити висновок, що нерівномірність розподілу напружень між витками різьби кінцевого замкового різьбового з'єднання закладена вже в самій конструкції і є основною причиною зменшення його опору втомі.

Очевидно, що зменшення напружень у площинах небезпечного перерізу ніпеля і муфти та зміна розподілу напружень між витками різьби призведе до підвищення опору втомі замкового різьбового з'єднання.

1.4. Постановка задач досліджень

На підставі аналізу аварійності з елементами бурильної колони констатуємо, що найбільш часто руйнуються замкові різьбові з'єднання (31%), різьбові з'єднання замок-труба (33,6%) і тіло бурильної труби (35,4%). Причому, 80% вказаних руйнувань настають з причини втоми матеріалу, зумовленої дією знакозмінних напружень та корозійного середовища.

Із збільшенням глибини буріння свердловин зростає і величина циклічних навантажень, що діють на бурильну колону.

Надійність роботи бурильної колони залежить від конструктивних особливостей бурильної колони та компоновки низу бурильної колони. При використанні існуючих конструкцій бурильних колон і КНБК при роторному способі буріння в різьбі і тілі труби в перехідній зоні від бурильних до обважнених бурильних труб виникають значні напруження, а, відповідно і накопичуються втомні тріщини. Виходячи з чого, великий теоретичний і практичний інтерес являють собою роботи, які спрямовані на підвищення довговічності бурильної колони за рахунок вдосконалення конструкцій КНБК.

З метою підвищення ефективності буріння, економії дорогої легованої сталі ставиться завдання впровадження обважнених бурильних труб з приварними кінцями довжиною 9-12 м із вуглецевої та легованої сталей. Слід відзначити, що конструктивні особливості, технологія зварювання та втомна міцність зварних з'єднань достатньо широко досліджені лише для бурильних труб з приварними замками і виготовлених з однорідного матеріалу.

Синтез відомих з літератури результатів досліджень впливу конструктивних та технологічних чинників на довговічність елементів бурильної колони показує, що в цій галузі ще є багато прогалин, які потребують висвітлення цілої низки питань:

- аналіз промислових даних про роботу бурильної колони з метою виявлення основних причин аварій, пов'язаних з різьбовими з'єднаннями;
- дослідження напружень, які виникають у кінцевих різьбових з'єднаннях елементів бурильних колон при роторному способі буріння і розробка конструкцій кінцевих різьбових з'єднань підвищеної міцності за рахунок перерозподілу навантажень між витками різьби;
- удосконалення математичної моделі опису роботи бурильної колони для різних конструкцій КНБК з метою оцінки напруженого стану бурильної колони;
- експериментальні дослідження напружень і втомної міцності різьбових з'єднань обважнених бурильних труб змінної жорсткості. Оцінка роботоздатності колони з ОБТЗЖ при осьових навантаженнях на долото;

– оцінка ефективності застосування обважнених бурильних труб різних геометричних розмірів. Експериментальні дослідження обважнених бурильних труб з приварними кінцями на тріщиностійкість та втомну міцність. Розробка конструкцій та технології виготовлення ОБТЗЗ;

– промислова апробація наукових розробок конструкцій і технологій, спрямованих на підвищення роботоздатності бурильних колон;

Висновки до розділу 1

Дослідженнями [1, 2, 3, 4, 7, 11, 15, 16, 23, 26, 29, 40, 41, 42] встановлено, що конічні різьбові з'єднання елементів бурильної колони мають достатньо низький опір втомі ($\sigma_a = 50 \dots 25$ МПа) за рахунок концентрації напружень, впливу корозійного середовища та конструктивної не вдосконаленості, що в свою чергу призводить до аварій та ускладнень при бурінні свердловин.

Границя витривалості замкових різьбових з'єднань залежить від розподілу напружень між витками різьби ніпеля та муфти [3, 15, 16, 33, 34, 35, 37, 39]. Великий науковий інтерес та практичну цінність являють роботи, направлені на створення конструкції замкових різьбових з'єднань високої міцності, за рахунок перерозподілу напружень між витками різьби, для чого необхідно провести цілий комплекс досліджень.

Роботоздатність бурильної колони залежить від вибору конструкції компоновки низу бурильної колони [3, 5, 6, 8, 11, 12] Оскільки існуючі компоновки низу бурильної колони не забезпечують зниження напружень в перехідній зоні від бурильних до обважнених бурильних труб, необхідно провести теоретичні та експериментальні дослідження з визначення оптимальних та гранично допустимих значень напружень, створення обважнених бурильних труб змінної жорсткості і удосконаленню технології буріння з ОБТЗЖ.

Аналіз існуючих конструкцій обважнених бурильних труб показав, що вони мають достатньо малий ресурс. Враховуючи, що досліджень зі створення конструкцій обважнених бурильних труб з приварними кінцями із різнорідних сталей довжиною 9–12 м проведено недостатньо, необхідно провести комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, з метою розробки раціональних параметрів елементів конструкцій та технології виготовлення.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ

2.1. Методика експериментальних досліджень

2.1.1. Конструкції натурних зразків різьбових і зварних з'єднань та вибір дослідницьких стендів. Труднощі, що виникають при бурінні глибоких свердловин, пов'язані не тільки із складностями геологічної будови різних родовищ, але й з конструктивними і технологічними особливостями бурового інструменту, який використовується.

Під час аварій бурових колон, що виникають при бурінні свердловин роторним способом, в основному руйнуються і залишаються в свердловині елементи бурильної колони. Аварії зумовлені надмірно високими рівнями напружень у різьбових з'єднаннях бурильних і обважнених бурильних труб, які спричиняють втомне руйнування матеріалу.

Втомний характер руйнування різьбових з'єднань бурильних та обважнених бурильних труб [2, 3, 23, 36, 37] визначає, які види досліджень необхідно провести на опір втомі їх натурних зразків у стендових умовах. Натурні дослідження елементів конструкцій мають на меті встановлення характеристик опору втомі і довговічності деталей в залежності від конструктивних параметрів, матеріалу, технології виготовлення, умов зборки.

Найбільш характерним змінним навантаженням для визначення опору втомі різних конструкцій різьбових з'єднань труб прийнято вважати знаковмінний згин з постійною амплітудою змінних напружень, що відповідає умовам роботи бурильної колони при роторному бурінні. Достовірність вибору основного навантаження підтверджується відповідністю місця та характеру втомних

руйнувань, як одержані під час експериментальних досліджень, а також на підставі спостережень у процесі експлуатації (рис. 2.1, 2.2).

У різьбових з'єднаннях замкового типу існує певний зв'язок між усталеними напруженнями σ_m , що виникають у ніпелі з'єднання під час згвинчування та змінним амплітудним напруженням σ_a під час дії на нього зовнішнього змінного навантаження.

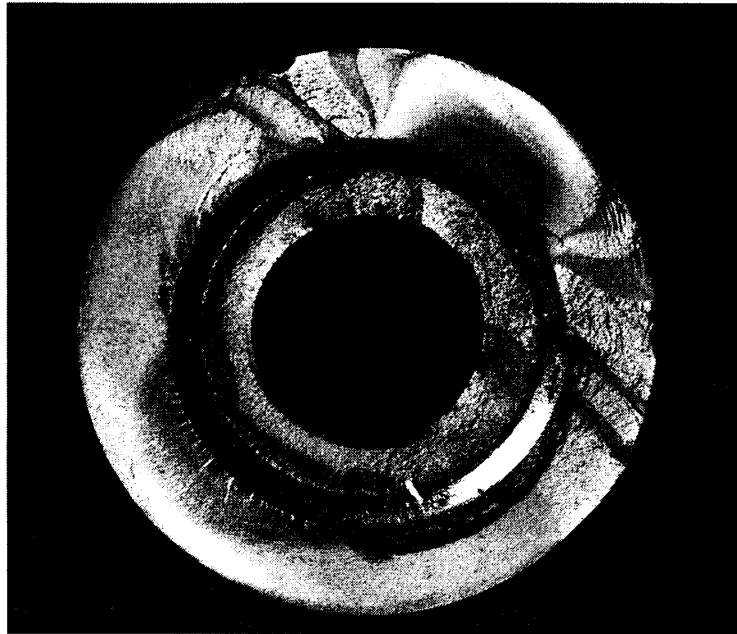


Рис. 2.1. Втомне руйнування замкового різьбового з'єднання по муфті.

Тому в умовах знакозмінного згину ніпель замкового з'єднання перебуває в умовах асиметричного циклу навантаження. При цьому напруження згвинчування σ_m визначають асиметрію циклічного навантаження.

Опір втомі характеризується кривою втоми, яка являє собою залежність амплітуди циклу σ_a від числа N циклів напружень до руйнування. При дослідженні сталевих зразків з'єднань приймалось базове число циклів $N \cdot 10^6$.

Вплив радіуса заокруглення впадин різьби, жорсткості витків, профілю витків (форми та розмірів галтелей) на експлуатаційні характеристики замкових з'єднань досліджувались на натурних зразках труб діаметром 80 і 178 мм. Зразки виготовлялись із сталі 45 і 40ХН2МА. Механічні властивості досліджуваних зразків наведені в таблиці 2.1 Частина натурних зразків різьбових з'єднань з різьбою 3-62 і 3-147 була виконана із спеціально профрезованими пазами вздовж твірних конуса різьби ніпеля і муфти для розміщення в них тензодатчиків електричного опору. Глибина пазу на 1мм більша глибини впадин різьби, ширина пазу – 12 мм [2, 3, 23].

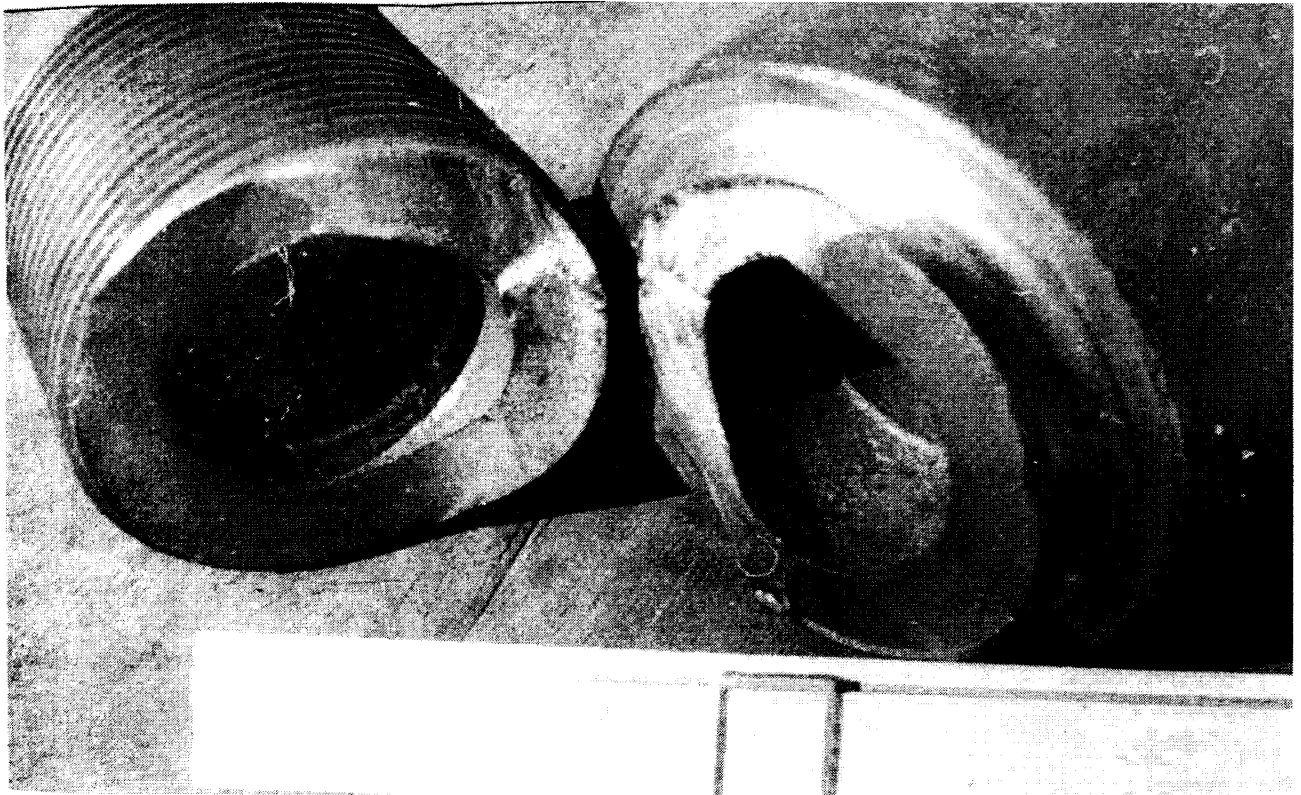


Рис. 2.2. Втомне руйнування по ніпелю різьбового з'єднання 3-171.

Напружений стан і міцнісні характеристики замкових різьбових з'єднань із застосуванням у компоновці бурильної колони труб змінної жорсткості досліджувались на натурних зразках ОБТ діаметром 80 і 178 мм.

Після виготовлення зразків різьбові з'єднання перевірялись накладними вимірювальними приладами, різьбовими і гладкими калібрами.

Під час згвинчування натурних зразків застосовувались мастила Р416 (коефіцієнт тертя в різьбі $\mu = 0,09 \dots 0,11$ [7]).

Для виявлення впливу якості матеріалу, масштабного фактору і технології виготовлення на опір втомі зварних з'єднань досліджувались натурні зразки зварних з'єднань труб діаметром 80, 146, 178 мм. Зразки виготовлялись із сталі 45, 36Г2С, 40ХН, 40ХН2МА (табл.2.1). З метою усунення початкових напружень, що виникають у зварних з'єднаннях під час їх виготовлення проводився термовідпуск.

З обох боків зварного з'єднання виготовлювались розвантажувальні канавки, форма і розміри яких відповідали параметрам конструкцій ОБТ з приварними різьбовими кінцями.

Для визначення параметрів тріщиностійкості матеріалів, з яких виготовлялись натурні зразки замкових різьбових та зварних з'єднань, з тіла труб вирізалися призматичні зразки розміром $4 \times 10 \times 100$ мм. На бокових поверхнях зразків нарізалися V-подібні концентратори глибиною 1 мм з радіусом заокруглення 0,1 мм

При виготовленні стендів для проведення експериментальних досліджень натурних зразків замкових різьбових та зварних з'єднань виходили з можливості відтворення реальних навантажень, що діють на елементи бурильної колони в процесі буріння свердловин.

Дослідження на опір втомі натурних зразків різьбових з'єднань та зварних конструкцій ОБТ діаметром 146-203 мм проводились на дослідницькій машині резонансного типу УП-200 конструкції ЦНДІТМАШ із $M_{зг.макс} = 70$ кН·м (рис. 2.3), яка дає змогу проводити випробовування на втому при плоскому знакозмінному згині зразків діаметром до 240 мм.

Принцип роботи машини базується на явищі резонансу коливань, які дають можливість циклічно навантажувати зразки.

Досліджуваний зразок, разом з навантажуючими масами, являє собою вільний коливальний контур, що може коливатись у горизонтальній площині.

Колівання збуджуються інерційним вібратором неспрямованої дії, який приводиться в рух електродвигуном постійного струму. Електродвигун допускає регулювати швидкість обертання в широкому діапазоні і тим самим – підгонку вимушеної частоти власних коливань системи під резонанс з власними коливаннями.

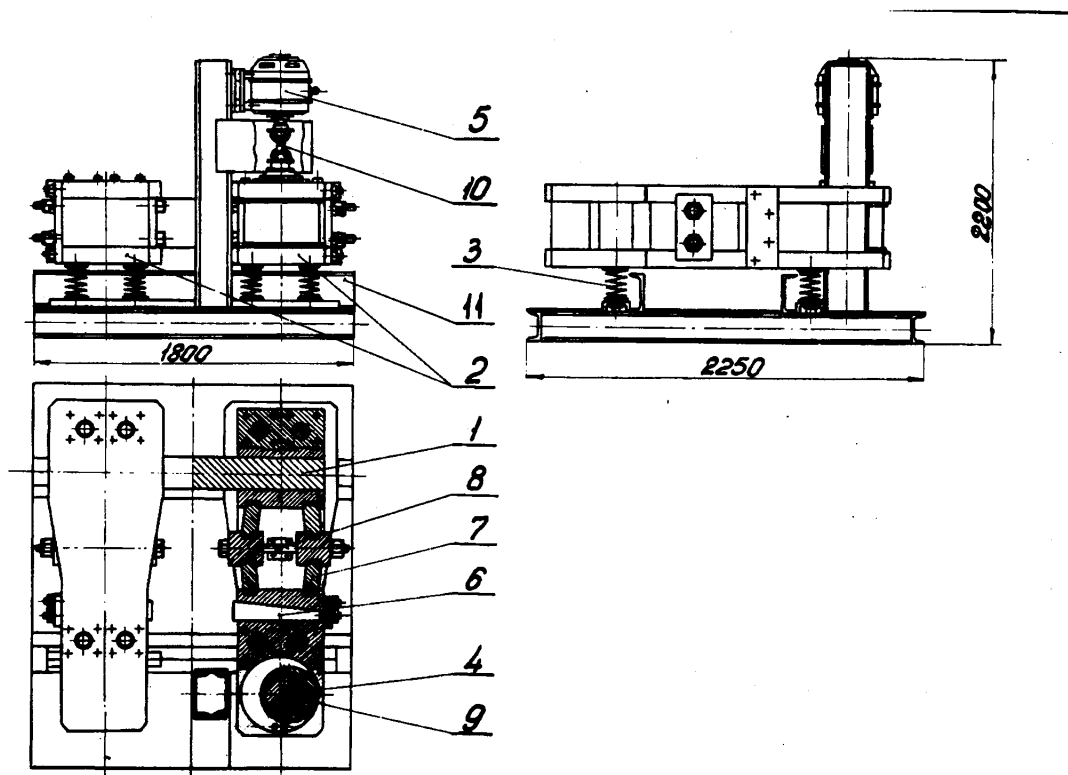


Рис. 2.3. Схема дослідницької машини УП-2000:

1 – зразок; 2 – навантажуючі маси; 3 – пружини; 4 – вал ексцентрика; 5 – електродвигун; 6 – клин; 7 – зажимні ричаги; 8 – стягуючий гвинт; 9 – ексцентрик; 10 – редуктор.

Величина напруження в досліджуваному зразку встановлюється зміною ексцентриситету незрівноваженої маси вібратора, регулюванням його швидкості або одночасною зміною обох цих величин.

Деформації в досліджуваному зразку визначалися за допомогою відтарованого осцилографа і за зміною електричного опору тензодатчиків, які закріплюються на зразку.

Для проведення досліджень зразків з'єднань менших розмірів (50-100мм) нами використовувалась випробна машина УП-100, конструкція якої аналогічна до УП-200.

Таблиця 2.1

Механічні характеристики натурних зразків, досліджуваних на опір втомі

Тип з'єднання	Позначення	Марка сталі	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	Ψ , %	a_n , МПа	НВ
ЗН-80	З-62	40ХН2МА	680	890	15,8	53	0,62	284
ЗН-80	З-62	45	380	680	24,0	50	0,6	220
ОБТ-146	З-121	45	470	795	24,5	56	0,54	220
ОБТ-146	З-121	40ХН2МА	700	850	16,0	51	0,89	290
ОБТ-178	З-147	40ХН2МА	680	885	16,0	52	0,60	284
ОБТ-80	зварне	36Г2С	390	640	23,0	50	0,61	230
		40ХН2МА	685	890	15,8	53	0,62	284
ОБТ-80	зварне	40ХН2МА	680	810	15,8	52	0,62	284
		45	384	690	24,0	50	0,60	220
ОБТ-146	зварне	40ХН2МА	690	885	16,0	52	0,60	290
		45	380	680	23,5	51	0,61	220
ОБТ-178	зварне	40ХН2МА	685	880	16,0	51	0,61	280
		45	380	680	24,0	51	0,61	220
ОБТЗЖ-178	З-147	40ХН2МА	680	880	16,0	51	0,60	285
ОБТЗЖ-203	З-161	40ХН2МА	680	880	16,0	52	0,60	285

Дослідження на опір втомі і напружень, які виникають у різьбових з'єднаннях бурильних труб діаметром до 120 мм проводились на випробній машині конструкції АЗІНМАШа і ВНДІБТ - СІТУ з інерційним збудженням нерухомого досліджуваного зразка незрівноваженим вантажем, що обертається з $M_{зг.мах}=27$ кН·м (рис. 2.4). Визначення параметрів тріщиностійкості (в'язкості руйнування) матеріалів проводились на втомній машині УРТ-8, яка забезпечує сталий коефіцієнт інтенсивності напружень в околі вершин тріщини, що розвивається [41].

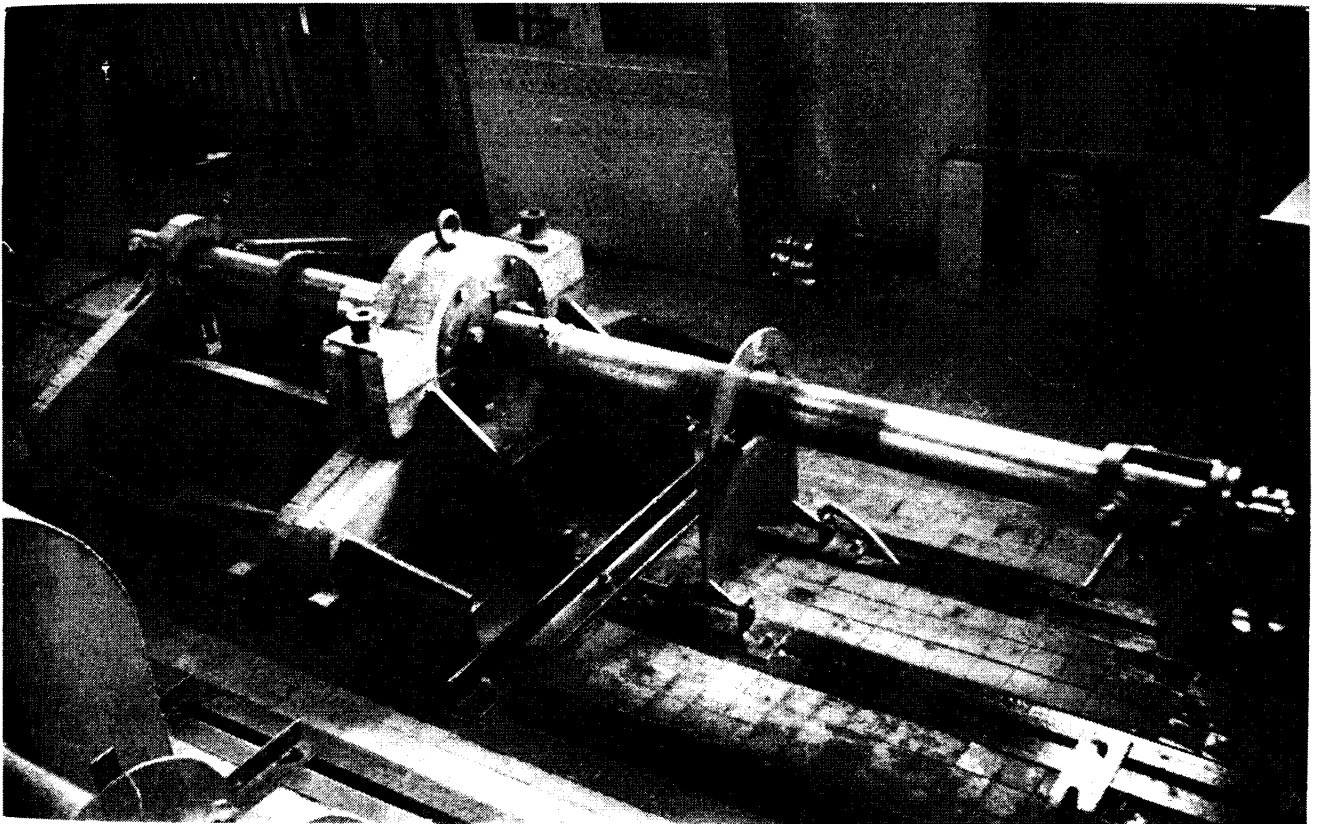


Рис. 2.4. Стенд СІТУ для випробовування натурних зразків різьбових з'єднань на опір втомі при знакозмінному згині.

Спостереження за втомною тріщиною в процесі її росту проводились з допомогою мікроскопа. Максимальна амплітуда згину досліджуваного зразка – 3 мм, частота навантаження – 24 Гц.

2.1.2. Вибір вимірювальних засобів і реєструючого обладнання. В процесі експлуатації бурильної колони на різьбові з'єднання діють різні за величиною напруження, що нерівномірно розподіляються по довжині різьби. Тому, при дослідженні різьбових з'єднань на опір втомі особливо важливим є визначення дійсних величин деформацій, які виникають як і при згинчуванні з'єднань, так і при дії на них згинаючого моменту.

При дослідженні деформацій в різьбовому та зварному з'єднаннях в якості вимірювальних елементів використовувались тензодатчики опору з базою 5 і 10 мм і опором відповідно 100 і 200 Ом.

Для дослідження закономірності зміни деформації по довжині згинченого з'єднання, тензодатчики розміщувались на зовнішній поверхні муфти, і внутрішній – ніпеля, а також у спеціальних пазах, які профрезеровані вздовж твірної конуса різьби ніпеля і муфти згідно схеми, наведеної на рисунку (рис.2.5). У зварних з'єднаннях тензодатчики розміщувались на зовнішній поверхні по обидві сторони з'єднання, а також у розвантажувальній канавці.

Вимірювання і реєстрація деформацій проводились за допомогою тензометричної станції “Топаз-3”.

2.1.3. Методика обробки результатів експериментальних досліджень.

Визначення впливу конструктивних чинників (радіуса заокруглення впадин і профілю різьби, матеріалу, жорсткості, розвантажувальних канавок) на опір втомі замкових різьбових та зварних з'єднань бурильних труб пов'язано з проведенням великої кількості досліджень на втому натурних зразків. Основним

параметром, який характеризує опір втомі різьбових з'єднань є границя витривалості.

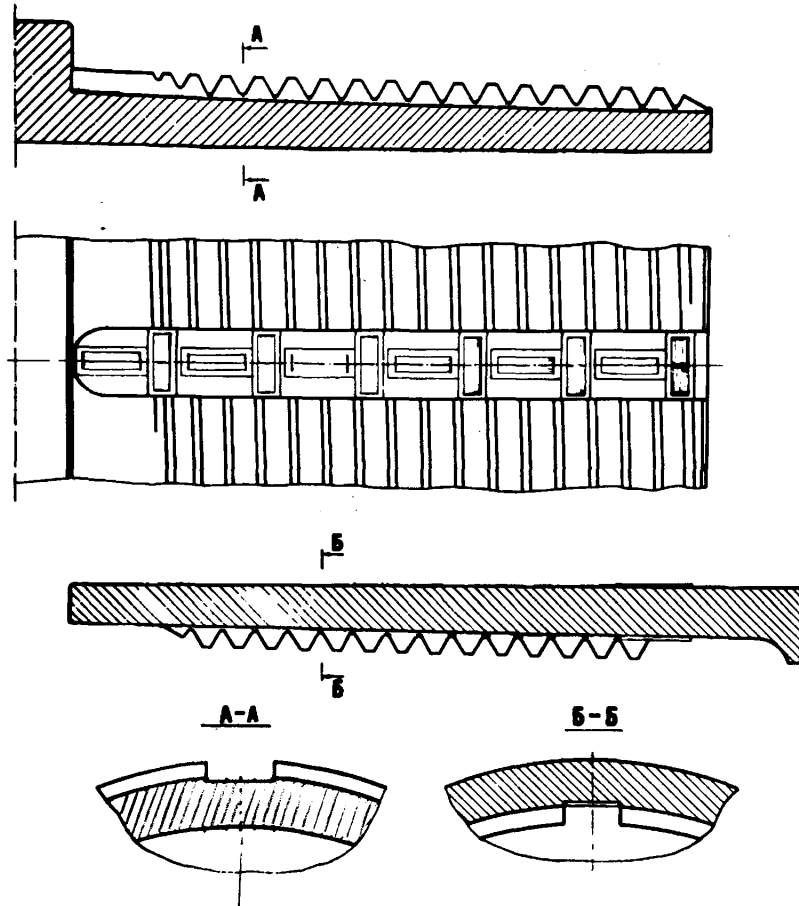


Рис. 2.5. Схема розміщення тензодатчиків у пазах різьбового з'єднання для дослідження напружень

При визначенні границі витривалості і кількості циклів до руйнування спостерігається значне розсіювання. Важливою умовою визначення границі витривалості є визначення випадковості нижніх границь і допустимих інтервалів.

Математична обробка експериментальних даних проводилась за відомою методикою та порівнювалась з удосконаленою методикою, яка базується на законах збереження енергії. В основу методики розрахунково-експериментальної оцінки характеристик опору втомі різьбових з'єднань покладено рівняння кривої втоми в координатах $N \sim \sigma$.

$$N = \frac{Q}{\sigma} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma - \sigma_R}{V_0} \right) - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (2.1)$$

де Q - коефіцієнт витривалості $Q = N_\delta \sigma_R$;

N_δ - абсциса точки злому кривої втоми;

σ_R - границя витривалості;

V_0 - параметр, що характеризує тангенс кута нахилу кривої в напівлогарифмічній системі координат. При цьому приймається, що розподіл границь витривалості підлягає нормальному закону розподілу.

Початкове значення Q приймається рівним 10^7 . Для цього значення Q визначаються параметри V_0 і σ_R (σ_R - середнє значення границі витривалості при даному значенні Q).

$$V_0 = \frac{n \sum_{i=1}^n I_i \sigma_i - \sum_{i=1}^n I_i \sum_{i=1}^n \sigma_i}{n \sum_{i=1}^n I_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n I_i \right)^2}; \quad (2.2)$$

$$\sigma_R = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i^2) \sum_{i=1}^n (\sigma_i) - \sum_{i=1}^n I_i \sigma_i \sum_{i=1}^n I_i}{n \sum_{i=1}^n I_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n I_i \right)^2}; \quad (2.3)$$

$$\text{де } I = \ln \left\{ 1 - \left[\exp \left(\frac{\sigma_i N_i}{Q} \right) - 1 \right]^{-1} \right\};$$

Використовуючи вираховані значення параметрів σ_R і N_i , визначають числові значення границь витривалості σ_{Ri} за формулою:

$$\sigma_{Ri} = \sigma_i V_0 \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma_i N_i}{Q} \right) - 1 \right]^{-1} \right\}. \quad (2.4)$$

На підставі одержаних значень мінімальних параметрів σ_R і Q оцінюється база випробовувань натурних зразків елементів бурильної колони:

$$N = \frac{Q}{\bar{\sigma}_R}. \quad (2.5)$$

Середнє квадратичне відхилення значень границь витривалості S визначається за формулою

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_{Ri} - \bar{\sigma}_R)_{\min}^2}{n-1}}, \quad (2.6)$$

де $\sum (\sigma_{Ri} - \bar{\sigma}_R)_{\min}$ - мінімальне значення суми, а n - кількість зруйнованих зразків.

Ця формула справедлива при $n = 8 - 10$ зразків.

Оскільки σ_R і S самі є випадковими величинами, які можуть змінюватися при повторенні експерименту, то для них визначаємо довірчі інтервали, які відповідають заданому значенню довірчої ймовірності.

Оцінка точності статистичних характеристик витривалості визначається за формулою:

$$\alpha = t_{*k} \frac{1}{\sqrt{n}} V \leq [\alpha], \quad (2.7)$$

де $V = \frac{S}{\sigma_R}$ - коефіцієнт варіації;

t_{α} - квантіль розподілу Стюдента, який залежить від довірчої ймовірності і числа зруйнованих зразків.

Одержані результати експериментальних досліджень натурних зразків різьбових і зварних з'єднань оброблялись за наведеною методикою. Характеристики витривалості, які вираховані на комп'ютері за результатами досліджень, наведені в таблиці 2.2. За числовими значеннями таблиці і обчислень побудовані криві в координатах $N \sim \sigma$.

2.2. Застосування закону збереження і перетворення енергії для опису кривої втомної міцності

Ньютонівська механіка дає можливість розв'язувати задачі динаміки тіл двома методами, які забезпечують однакові результати.

Перший метод застосовується в тих випадках, коли повне описування фізичної системи можна зробити аналітично: в межах законів динаміки, що дозволяє ретельно визначити зміну стану системи з плином часу. Знаючи закони дії сил на частинки системи і стан самої системи, відносно початку відліку у деякий початковий момент часу, можна за допомогою рівнянь руху передбачити стан системи у будь-який проміжок часу.

Другий метод застосовується в тих випадках, коли перший стає практично не здійсненним з причини невідомості законів динаміки або надзвичайної складності самої системи, в якій докладний розгляд руху окремих частинок внаслідок їхньої неосяжної кількості просто недоступний. Окрім того, трапляються випадки, коли спостереження за зміною стану системи не може бути пояснене наявністю яких-небудь сил взаємодії між частинками. Тобто, доволі часто практично неможливо виявити ті рушійні чинники, які генерують процес.

Характеристики опору втомі різбових і зварних з'єднань

Тип з'єднання	Позначення різьби	Сталь	осьовий натяг, мм	$M_{кр.згв.}$ кН·м	Q , МПа,	V_0	σ_{-1} , МПа	S
ЗН-80	3-62×5,08×1:4	40ХН2МА, $\sigma_{0,2} = 940$ МПа	0,25	5,25	$1,8 \cdot 10^8$	69,9	67,7	2,9
ЗН-80	3-62×5,08×1:4	40ХН2МА, $\sigma_{0,2} = 680$ МПа	0,20	3,0	$1,6 \cdot 10^8$	58,7	57,4	3,4
ОБТ-178	3-147×6,35×1:6	40ХН2МА	0,27	25,0	$6,42 \cdot 10^8$	14,61	43,2	2,5
ОБТ-178	3-147×6,35×1:6 (різьба з галтелями)	40ХН2МА	0,30	25,0	$2,35 \cdot 10^8$	19,7	60,3	3,9
Д-80	зварне з'єднання	45×40ХН2МА	-	-	$2,1 \cdot 10^8$	43,1	39,6	4,2
Д-80	зварне з'єднання	36ГС×40ХН2МА	-	-	$2,6 \cdot 10^8$	37,4	35,3	4,0
Д-146	зварне з'єднання	45×40ХН2МА	-	-	$2,3 \cdot 10^8$	40,6	37,4	3,6
Д-178	зварне з'єднання	45×40ХН2МА	-	-	$3,8 \cdot 10^8$	32,6	29,6	4,1

Виходячи з принципів, що впливають із законів Ньютона, можна обійти вказані труднощі і приступити до розв'язування задач будь-якої складності шляхом застосування незмінних у часі величин, якими є закони збереження енергії, імпульсу та моменту імпульсу.

При розв'язуванні порівняно нескладних задач динаміки обидва методи дають однакові результати. Крім того, вказані закони збереження виходять за межі механіки Ньютона і вважаються універсальними законами природи, що закладені в основу сучасної фізики

Енергія – повсюдне явище, яке виступає в різноманітних формах, а закони перетворення і збереження енергії в часі не залежать ані від характеру діючих сил, ані від фазового стану речовини. Мірою енергії є механічна робота, але те, що вдається вимірювати, як корисну роботу, ще не дає підстав вважати, що все вивчено, бо є такі форми енергії, які прямим способом вимірювання не піддаються.

Закономірності, що ґрунтуються на енергетичних засадах, дають можливість визначати рівень напружено-деформованого стану пружного твердого тіла, яке перебуває під дією зовнішніх сил.

Слід звернути увагу, що метод екстремальних енергетичних принципів є універсальним лише для лінійно-пружних матеріалів, коли можна застосовувати принцип суперпозиції. Для елементів конструкцій, виготовлених з матеріалів, що мають нелінійну поведінку, енергетичні методи застосовуються лише на підставі рівнянь балансу форм енергій, які формально збігаються з принципом суперпозиції, але мають фізичний зміст.

Згідно стандарту (ГОСТ 25.502.-79) в цілому світі з кожного матеріалу виготовляють партії зразків однакових геометричних розмірів та з однаковим ступенем чистоти обробки поверхонь [42]. Стандартні зразки піддаються випробуванням симетричним або асиметричним знакозмінним деформаціям на дослідницьких стендах, які дозволяють змінювати рівень напружень у матеріалі зразка. Криву випробування будують у координатах $N \sim \Delta\sigma$. Ця

експериментальна діаграма має назву діаграми Веллера, який вперше запропонував такі випробовування.

Складними і мало обґрунтованими залишаються питання переносу експериментальних лабораторних результатів, одержаних при випробовуванні зразків, на натурні елементи конструкцій, які працюють у режимі знакозмінних деформувань.

Сучасні фізичні теорії втомного руйнування полікристалічних матеріалів і сплавів дають можливість лише обґрунтувати закономірності виникнення в матеріалі втомних тріщин, але ще не дають можливості передбачати кількісні характеристики опору втомі і крихкого руйнування реальних елементів конструкції з урахуванням конструктивних, технологічних та експлуатаційних чинників.

Наші теоретичні міркування побудовані на засадах використання закону збереження енергії для розв'язування задачі дослідження втомної міцності полікристалічних матеріалів.

Для формулювання задачі необхідно узагальнити теоретичні результати механіки руйнування з експериментальними результатами випробувань елементів конструкцій на втомну міцність з урахуванням впливу, конструктивних, технологічних та експлуатаційних чинників.

Розв'язок цієї задачі побудуємо на відомих досягненнях хімії поверхневих явищ та механіки руйнування з урахуванням балансу питомих енергій, які впливають на зміну стану полікристалічного матеріалу [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

Всі міркування базуються на принципі, що руйнування настає внаслідок вичерпування запасу внутрішньої енергії, акумульованої матеріалом під час його технологічного виготовлення. Якщо до матеріалу від зовнішнього середовища підвести будь-яким способом (механічним, тепловим, хімічним, радіаційним тощо) таку кількість енергії, яка акумульована в ньому, тоді настає критичний стан і матеріал розпадається на частини або плавиться. Величина критичної енергії руйнування в усіх випадках і для кожного матеріалу залишається сталою і еквівалентною кількості енергії плавлення [43].

Розглядається тільки багатоциклічна втома полікристалічного матеріалу, при якій руйнування зразка (елемента конструкції) відбувається без ознак залишкових деформацій і без будь-якої зміни числових значень сталих для ізотропного матеріалу. Зразок розглядається як замкнута термодинамічна система, яка зазнає лише енергообміну з зовнішнім середовищем, але без масообміну. Припускається, що матеріал зразка (елемента конструкції) підпорядковується закону Гука.

Кількість потенціальної енергії пружної деформації, що нагромаджена в нескінченно малому елементі об'єму dV тіла, внаслідок циклової зміни напружень, запишеться виразом

$$\delta W = D \cdot N \cdot dV, \quad (2.8)$$

де δ - символ неповного диференціала;

N - кількість циклів знакозмінного напруження;

D - питома енергія пружної деформації матеріалу, величина якої для одного циклу визначається розмірами петлі гістерезису у вигляді [47,48]

$$D = \frac{\Delta\sigma}{2\varepsilon} + \sigma_a \varepsilon, \quad (2.9)$$

тут $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$ - величина амплітудного напруження за цикл;

σ_{\max} і σ_{\min} - максимальне і мінімальне значення одновісних напружень;

$\Delta\sigma$ - границя витривалості;

ε - відносне видовження зразка матеріалу від дії амплітудного напруження.

Для визначення величини ε , яка входить у рівняння (2.9), використаємо енергетичний критерій граничної рівноваги тріщини, утвореної в пластинці

одиночної товщини і з обмеженими розмірами як вздовж, так і впоперек, який записується класичною формулою Гріффітса у вигляді [46]

$$\frac{\sigma_k^2}{2E} = \frac{C\gamma}{Pa_{ef}}, \quad (2.10)$$

де σ_k - нормальне критичне напруження, яке діє перпендикулярно до берега тріщини;

E - модуль лінійної пружності матеріалу;

$C = 1/(1-\nu^2)$ - коефіцієнт, який характеризує плоску деформацію пластинки.

Для плоского напруженого стану $C=1$;

ν - коефіцієнт Пуассона;

a - половина довжини тріщини;

γ - ефективна поверхнева густина енергії;

P – критерій, який характеризує вплив стану поверхні.

На підставі фундаментальних досліджень, узагальнених у монографії В. Панасюка [45], можна стверджувати, що фізичний зміст формули Гріффітса (2.10) залишається справедливим також і для тіл скінчених розмірів. Тоді формула 2.10 набуває вигляду:

$$\frac{\sigma_{ном}^2}{2E} = \frac{C\gamma}{Pa_{ef}}, \quad (2.11)$$

де $\sigma_{ном}$ - номінальне напруження;

$a_{ef} = \eta \cdot a$ - ефективна величина половини довжини тріщини;

η - коефіцієнт, який залежить від співвідношення товщини до діаметра стержня або ширини смуги.

Закон Гука щодо номінальних напружень і деформацій записується у вигляді [46]

$$\sigma_{ном} = E \varepsilon_{ном}. \quad (2.12)$$

Тепер вираз (2.11) з урахуванням (2.12) перепишемо у вигляді:

$$\varepsilon_{ном} = \frac{2}{G_{rf}}, \quad (2.13)$$

де G_{rf} - безрозмірний критерій Гріффітса, яким позначено комплекс величини:

$$G_{rf} = \frac{\Pi a_{ef} \sigma_{ном}}{C\gamma} = \frac{K_m}{C\gamma}, \quad (2.14)$$

де $K_m = \Pi a_{ef} \sigma_{ном}$ - сталий коефіцієнт, який характеризує локальне деформування та руйнування матеріалу в околі кінчика тріщини. Розмірність цього коефіцієнта така ж, як у γ .

Рівняння (2.13) описує рівнобоку гіперболу, а в логарифмічних координатах – пряму лінію, нахилену під кутом $\alpha = 45^\circ$ до осі абсцис, тобто до осі G_{rf} . Оскільки рівняння (2.13) відображає узагальнену формулу Гріффітса (2.11) в безрозмірному вигляді, то можна вважати, що на базі цього рівняння можна здійснювати експериментальні дослідження на елементах конструкцій довільних розмірів.

Якщо тепер у (2.9) замість ε ввести значення $\varepsilon_{ном}$ з (2.13), то для питомої енергії втомного руйнування одержимо вираз:

$$D = \frac{\Delta\sigma}{G_{rf}}. \quad (2.15)$$

Оцінку числового значення безрозмірного критерію G_{rf} для конструкційних сталей можна зробити на підставі (2.13), виходячи з таких міркувань. Оскільки $\sigma_{ном} \leq \sigma_m$, то очевидно, що $\varepsilon_{ном} \leq \varepsilon_m$. Тобто величина $\varepsilon_{ном}$ не може виходити за межі величин зібраних у довідковій таблиці на підставі експериментальних випробувань зразків, виготовлених із різних марок сталей [47]. Якщо згідно з довідковими даними діапазон зміни відносної деформації ε для конструкційних сталей знаходиться в межах $0,0001 \leq \varepsilon \leq 0,004$, то на підставі (2.13) констатуємо, що критерій (2.14) знаходиться в межах $500 \leq G_{rf} \leq 20000$.

Внаслідок обробки поверхонь елементів конструкцій будь-яким способом елементарні частинки матеріалу зазнають пошкоджень і втрачають енергетичну рівновагу. Одинична новоутворена поверхня твердого тіла з розірваними зв'язками володіє певною частиною вивільненої енергії, яка має назву поверхневої. Робота проти скомпенсованих сил міжмолекулярної взаємодії на межі двох фаз (твердого тіла і повітря або твердого тіла і рідини) дорівнює вільній енергії, яка описується виразом [48]:

$$\delta W_s = \gamma_s dA, \quad (2.16)$$

де A – площа поверхні розмежування двох фаз;

γ_s - поверхневий натяг, який характеризує градієнтність між фазами, тобто енергетичну різницю між скомпенсованими зв'язками поверхонь тих фаз, які межують. Чим більша енергетична різниця між розмежованими фазами, тим більший поверхневий натяг [49].

Стосовно впливу зовнішнього середовища (рідини або газу) на зміну границі втомної міцності матеріалів зробимо зауваження, що цей процес, в основному, пов'язаний з явищем адсорбції, тобто вбиранням газів або рідин поверхневим шаром твердого тіла, що істотно впливає на зміну величини поверхневої енергії (2.16) [49].

Явище адсорбції впливає на процеси деформації та руйнування твердого тіла за рахунок зміни кількості поверхневої енергії (2.16) та зниження енергетичного рівня утворення нових поверхонь у вигляді мережі тріщин по поверхні твердого тіла [49]. До такої групи впливу відносяться, зокрема, поверхнево-активні речовини (ПАР).

Залежно від природи адсорбційних сил розрізняють два види адсорбції: фізичну та хімічну (хемосорбцію). За фізичної адсорбції тверде тіло і адсорбент вважається незалежними системами. Дія адсорбуючої молекули на кристалічну гратку твердого полікристалічного тіла вважається дуже малою. Величина зміни хімічної енергії окремої підсистеми записується співвідношенням [44]:

$$\delta W_x = \mu_i dn_i, \quad (2.17)$$

де μ_i - хімічний потенціал i -го компонента;

n_i - кількість молів i -го компонента.

Припускаючи, що тверде тіло (закрита термодинамічна система) повинно перебувати в енергетичній рівновазі при одночасному енергообміні двома незалежними способами: а) пружним зрівноваженням дії зовнішніх сил; б) взаємодією з зовнішнім середовищем через різницю поверхневої енергії, і оскільки між поверхневим шаром, зовнішніми силами та внутрішніми областями тіла повинна зберігатися енергетична рівновага, то на підставі (2.8), (2.16), (2.17) запишемо рівняння балансу внутрішньої та зовнішньої енергії у вигляді:

$$\delta W - \delta W_o - \delta W_s + \delta W_x = 0, \quad (2.18)$$

де W_o - внутрішній енергетичний запас кількості акумульованої механічної роботи для даного матеріалу, який взаємодіє з зовнішнім середовищем.

Відповідно, баланс енергії (2.18) з урахуванням вищевказаного можна переписати у вигляді:

$$DN = U_0 + \gamma_s \omega - Z, \quad (2.19)$$

де $U_0 = \frac{\delta W_0}{dV}$ - стала величина питомої енергії акумульованої матеріалом.

Вичерпування цієї енергії призводить до руйнування матеріалу. В усіх випадках величина критичної енергії руйнування для кожного матеріалу залишається сталою і еквівалентною величині енергії плавлення [43]; ω - питома площа поверхні твердого тіла (площа поверхні твердого тіла, що припадає на одиницю його об'єму), яка для зразка циліндричної форми діаметром d_0 і завдовжки l дорівнює:

$$\omega = \frac{dA}{dV} = \frac{4\beta}{Kd_0}, \quad (2.20)$$

тут $\beta = \frac{F_i}{F_p}$ - коефіцієнт жорсткості поверхні, $\beta \leq 1$;

F_i - площа ідеально гладкої поверхні зразка;

F_p - площа жорсткої поверхні зразка;

$K = \frac{d}{d_0}$ - коефіцієнт концентрації напруження, $K \geq 1$;

d_0 - менший діаметр зразка (елемента конструкції);

d - більший діаметр зразка.

Останній член правої частини рівняння (2.19) характеризує вплив агресивності зовнішнього середовища на поверхню твердого тіла і описується таким співвідношенням:

$$Z = \frac{\delta W_x}{dV} = \frac{\mu_i dn_i}{dV} = \mu_i C_i, \quad (2.21)$$

де $C_i = \frac{dn_i}{dV}$ - молярна об'ємна концентрація середовища, кмоль/м³. Якщо рівняння (2.12) розв'язати, враховуючи (2.15), (2.18), (2.19), відносно кількості циклів N , то в осях $N \sim \Delta G$ одержимо рівняння гіперболи, яке відповідає експериментальній кривій Веллера:

$$\Delta\sigma = \frac{G_{rf}}{N} \left(U_o + \frac{\gamma_s 4\beta}{kd} - Z \right). \quad (2.22)$$

На підставі (2.22) констатуємо, що для випадку, коли $\Delta\sigma \rightarrow 0$, тоді $N \rightarrow \infty$, а коли $\Delta\sigma \rightarrow \sigma_{\max} - \sigma_s$, $\sigma_{\min} = 0$, тоді $N = 1$. Тут σ_s - границя тимчасового опору втомі при одноактному випробуванні матеріалу.

Оскільки рівняння (2.22) побудоване на підставі інтенсивних величин (балансу питомих енергій), то це дало можливість позбутися впливу масштабного фактора. Тобто, рівняння (2.22) дозволяє позбутися необхідності пошуків обґрунтування перенесення експериментальних результатів, одержаних при випробуванні стандартних зразків, на реальні розміри елементів конструкції.

Запропонована автором [50] гіпотеза опису кривої втомної міцності із застосуванням закону збереження і перетворення енергії може стати методикою визначення границі витривалості елементів бурильної колони лише після підтвердження її достовірності експериментальними даними. А для цього необхідно провести цілий комплекс теоретичних та експериментальних досліджень.

Висновки до розділу 2

Аналіз зломів ОБТ у процесі експлуатації свідчить про втомні руйнування замкових різьбових з'єднань, що визначило вибір методики і стендів для проведення випробувань.

Для проведення випробовувань виготовлені конструкції натурних зразків замкових різьбових та зварних з'єднань діаметром 73, 80, 146, 178 та 203 мм.

Експериментальні дослідження на опір втомі зразків замкових різьбових та зварних з'єднань проводили на випробних машинах УП-100, УП-200 і СІТУ.

Дослідження призматичних зразків на тріщиностійкість проводились в повітряному і корозійному (3% водний розчин NaCl) середовищах на випробній машині УРТ-8.

Опис кривої втомної міцності проводився по відомій методиці та порівнювався з методикою, яка базується на законах збереження і перетворення енергії.

РОЗДІЛ 3

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ПРИ РОТОРНОМУ СПОСОБІ БУРІННЯ

3.1. Обґрунтування конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості

У процесі буріння свердловин роторним способом на бурильну колону діють значні статичні та динамічні навантаження. Дослідженню напружень, які виникають при цьому, присвячена достатньо велика кількість робіт [5,6,8,51,52,53]. Авторами [51,52, 53] встановлено, що при бурінні нафтових і газових свердловин роторним способом, максимальний згинаючий момент $M_{зг.мах}$, який діє на елементи бурильної колони, визначається залежністю:

$$M_{зг.мах} = \frac{E \cdot I (11,2 f R_0 + l^2)}{l^2 R_0}, \quad (3.1)$$

де E – модуль пружності;

I – момент інерції поперечного перерізу відносно вертикальної осі, яка проходить через центр мас;

f – стріла прогину колони в свердловині;

l – довжина півхвилі згину;

R_0 – радіус кривизни осі свердловини;

$E \cdot I$ – величина, яка визначає жорсткість перерізу колони при згині.

Бурильна колона являє собою конструкцію, яка включає ведучу трубу, бурильні труби і обважені бурильні труби (ОБТ), які входять в компоновку низу

бурильної колони для створення навантаження на породоруйнівний інструмент та надання необхідної жорсткості низу бурильної колони. Розміри і кількість ОБТ визначаються конструктивними і технологічними характеристиками свердловини.

Обважені бурильні труби, які виготовляються підприємствами України (ТУ-39-076-80), мають незмінні по всій довжині труби зовнішній і внутрішній діаметри, а відповідно однаковий момент інерції поперечного перерізу відносно вертикальної осі обертання, яка проходить через центр мас.

При бурінні свердловин буровими підприємствами України та країн ближнього зарубіжжя для з'єднання секцій бурильних і обважнених бурильних труб різних типорозмірів використовуються перехідники довжиною 0,3-0,7 м [54]. Оскільки маса одиниці довжини ОБТ в десятки разів перевищує масу відповідної довжини бурильних труб, таке конструктивне рішення призводить до різкої зміни жорсткості та значних напружень у перехідних перерізах, які спричиняють накопичення втомних тріщин та руйнування бурильних труб у процесі буріння свердловин роторним способом. Як впливає з (3.1) для досягнення однакової стріли прогину до труб з більшою товщиною стінки треба прикласти більший згинаючий момент $M_{зг.мах}$.

При бурінні похило-спрямованих і горизонтальних свердловин у США, згідно рекомендацій АРІА, для з'єднання секцій бурильних та обважнених бурильних труб застосовують проміжну бурильну трубу [55], конструкція якої складається з трьох частин. Середня частина довжиною до 6м має незмінний по довжині труби зовнішній та внутрішній діаметри, а товщина стінки дещо перевищує товщину стінки звичайної бурильної труби. До висаджених кінців такої труби приварені товстостінні секції з однаковою товщиною стінки: нижня довжиною до 0,6 м, верхня – до 2,4 м. Така труба, в порівнянні з перехідником, забезпечує більшу податливість компоновки низу бурильної колони при бурінні похило-спрямованої свердловини.

Слід відзначити, що проміжна бурильна труба не вирішує проблеми зниження концентрації напружень у бурильних трубах, розміщених безпосередньо над колоною ОБТ, та не впливає на підвищення їх роботоздатності.

У зв'язку з цим, великий теоретичний і практичний інтерес викликають роботи, які спрямовані на розробку конструкцій обважнених бурильних труб та компоновок низу бурильної колони, які б забезпечували плавну зміну моменту інерції та зниження напружень у перехідній зоні від бурильних до обважнених бурильних труб, підвищення стійкості та надійності бурильної колони.

На підставі аналізу існуючих конструкцій бурильних колон та обважнених бурильних труб нами запропоновано нові конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості (ОБТЗЖ) [56,57]. При розробці конструкцій ми виходили з умови плавної зміни жорсткості від муфтового кінця труби до ніпельного, за рахунок зменшення моменту інерції поперечного перерізу. Розроблено дво- та триступінчасті конструкції обважнених бурильних труб змінної жорсткості [56].

Всі конструкції ОБТЗЖ включають в собі корпус з просвердленим внутрішнім каналом і змінною по довжині товщиною стінки та приєднувальні різьби на кінцях. Переріз труб з боку ніпеля має найбільший діаметр, а з боку муфти – найменший, причому ділянки з різними діаметрами розміщуються в порядку поступового зменшення від ніпельної частини до муфтової.

Схематичні зображення та геометричні розміри конструкцій ОБТЗЖ подано відповідно на рис. 3.1 і в табл. 3.1.

Характерною ознакою двоступінчастої ОБТЗЖ (рис. 3.1“б”) є наявність середньої конусоподібної ділянки, яка призводить до зниження перепаду динамічних складових напружень у перехідній зоні від труб одного типорозміру до іншого і сприяє досягненню, як свідчить практика, вищого в порівнянні зі звичайною компоновкою ресурсу елементів бурильної колони.

Позначивши через x поточну координату середньої ділянки з відліком від верхнього перерізу труби з зовнішнім діаметром D_2 , змінний діаметр $D(x)$ знайдемо за формулою

$$D(x) = D_2 - \frac{x}{\operatorname{tg} \gamma}, \quad (3.2)$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \gamma = \frac{D_2 - D_1}{L_2}.$$

Триступінчаста ОБТЗЖ (рис. 3.1"в") складається з трьох ділянок, момент інерції кожної з яких в порівнянні з попередньою, якщо брати відлік знизу вгору, є меншим на 25-30%, тобто $I_2 = (0,7 - 0,75)I_1$, $I_3 = (0,5 - 0,55)I_1$.

Вибране співвідношення моментів інерції пояснюється тим, що при менших значеннях неможливо виконати стандартну різьбу у верхній частині труби, а при більшій - невиправдано завищується момент інерції поперечного перерізу.

Наявність саме трьох ділянок з послідовним зменшенням моменту інерції обґрунтовується тим, що при реальних довжинах ОБТ (6-9м) ділити трубу на більшу кількість частин недоцільно, а менша не забезпечить потрібного зниження перепаду напружень в перехідній зоні.

Площу поперечного перерізу та полярний момент інерції x - перерізу труби змінної жорсткості знаходимо за формулами

$$A(x) = \frac{\pi}{4}(D^2(x) - d^2), \quad I_0(x) = \frac{\pi}{32}(D^4(x) - d^4), \quad (3.3)$$

де d – внутрішній діаметр.

Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень показав, що наявність у компоновці низу бурильної колони дво- або триступінчастих конструкцій обважнених бурильних труб змінної жорсткості призводить до зниження напружень у перехідній зоні, але повністю не вирішує проблему зняття напружень та можливість руйнування елементів бурильної колони при роторному способі буріння свердловин.

У зв'язку з цим запропонована конструкція обважнених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми [57]. Схематичне зображення та геометричні розміри даної конструкції подано також на рис. 3.1 та в табл.3.1.

Характерною особливістю ОБТЗЖ експоненціальної форми (рис. 3.1"а") є зміна зовнішнього діаметру труби від ніпельної до муфтової частини за експоненціальною залежністю:

$$D_{(x)} = 2e^{\alpha x + \beta}, \quad (3.4)$$

де D – зовнішній діаметр труби;

x – координата зміни поперечного перерізу труби з початком відліку від ніпеля;

α та β – константи.

Сталі α та β – визначаються за формулами:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)}{L}, \quad (3.5)$$

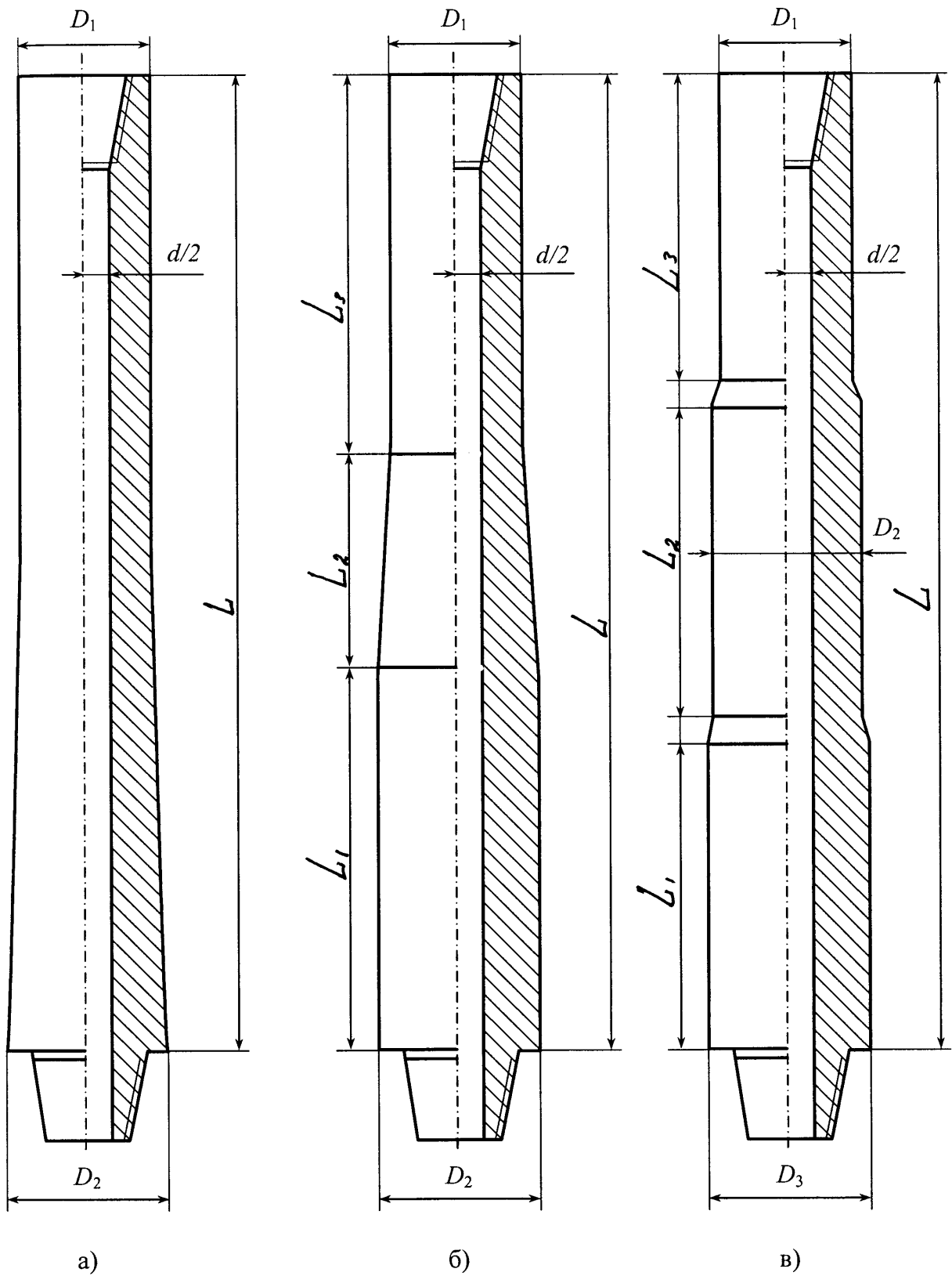
$$\beta = \ln\left(\frac{D_2}{2}\right), \quad (3.6)$$

де D_1 і D_2 – відповідно максимальний і мінімальний зовнішній діаметри корпусу труби;

L – довжина корпусу труби.

Експоненціальні конструкції ОБТ зі змінним моментом інерції поперечного перерізу, що пропонуються, утворюють у КНБК перехідну ділянку, яка сприяє плавній зміні динамічних складових напружень, усуває їх концентрацію в місцях переходу від труб одного типорозміру до іншого.

Обважені бурильні труби змінної жорсткості муфтою приєднуються до бурильних труб, а ніпелем – до колони ОБТ. При використанні КНБК, що складається з ОБТ різного діаметру, пропонована труба приєднується муфтовим кінцем до труб меншого діаметру, а ніпелем – до труб більшого діаметру.



а)

б)

в)

Рис. 3.1. Схематичні зображення ОБТЗЖ:

а) експоненціальна конструкція;

б) двоступінчаста конструкція;

в) тріступінчаста конструкція.

Геометричні розміри ОБТЗЖ

Маркування	Довжини, м					Діаметри, м			
	L	L ₁	L ₂	L ₃	δ	D ₁	D ₂	D ₃	d
Експоненціальна конструкція									
ОБТЗЖ І 140/178	8	-	-	-	-	0,140	0,178	-	0,080
ОБТЗЖ І 178/203	8	-	-	-	-	0,178	0,203	-	0,080
ОБТЗЖ І 203/229	8	-	-	-	-	0,203	0,229	-	0,090
ОБТЗЖ І 229/247	8	-	-	-	-	0,229	0,2473	-	0,100
Двоступінчаста конструкція									
ОБТЗЖ ІІ 140/178	8	3	2	3	-	0,140	0,178	-	0,080
ОБТЗЖ ІІ 178/203	8	3	2	3	-	0,178	0,203	-	0,080
ОБТЗЖ ІІ 203/229	8	3	2	3	-	0,203	0,229	-	0,090
ОБТЗЖ ІІ 229/247	8	3	2	3	-	0,229	0,2473	-	0,100
Триступінчаста конструкція									
ОБТЗЖ ІІІ 140/178	9	2,9	2,9	2,9	0,15	0,140	0,160	0,178	0,080
ОБТЗЖ ІІІ 178/203	9	2,9	2,9	2,9	0,15	0,178	0,190	0,203	0,090
ОБТЗЖ ІІІ 203/229	9	2,9	2,9	2,9	0,15	0,203	0,216	0,229	0,090
ОБТЗЖ ІІІ 229/247	9	2,9	2,9	2,9	0,15	0,229	0,238	0,2437	0,100

З ростом глибини буріння різниця діаметрів ОБТ і бурильних труб зростає. У такому випадку свіча перехідної ділянки включає кілька труб змінної жорсткості, причому найменший діаметр попередньої ОБТЗЖ є більшим від наступної. Наприклад, при переході від ОБТ 229 до бурильних труб з зовнішнім діаметром 140 мм, свіча перехідної ділянки включає три труби ОБТЗЖ 203/229, ОБТЗЖ 178/203 і ОБТЗЖ 140/178, де першими в маркуванні труб вказано діаметри D_1 , а другими – D_2 (для одно- та двоступінчастих конструкцій), або D_3 (для триступінчастої конструкції труби змінної жорсткості).

Обважені бурильні труби змінної жорсткості виготовляють з хром–нікель–молібденових сплавів 40ХН2МА та 38ХН2МФА. Перед токарними роботами заготовки проходять термічну обробку. Канал ОБТЗЖ свердлять, а необхідну збалансованість забезпечують механічною обробкою.

Проточки зовнішньої поверхні одноступінчастої ОБТЗЖ зі зміною діаметра по експоненціальній залежності, а також конусовидної ділянки двоступінчастої труби змінної жорсткості обробляються на станках з числовим програмним управлінням.

Застосування ОБТЗЖ дозволяє підвищити надійність і довговічність елементів бурильної колони за рахунок зниження концентрації напружень в місцях з'єднання ОБТ з бурильними трубами або ОБТ різних типорозмірів. У процесі роботи колони бурильних труб у місці установки ОБТЗЖ забезпечується плавна зміна жорсткості та моменту інерції поперечного перерізу від важкого низу до бурильних труб, пов'язані з поступовим зменшенням діаметрів пропонованих конструкцій. Використання ОБТЗЖ забезпечує зниження рівня вібрацій та підвищення стійкості бурильної колони.

Потовщена біля ніпельної частини ділянка корпусу ОБТЗЖ захищає муфту від зношування по зовнішній поверхні, що сприяє підвищенню значення границі витривалості різьбового з'єднання.

ОБТЗЖ дозволяє забезпечити в порівнянні з традиційною обваженою товстостінною трубою більшу гнучкість компоновки низу в умовах інтенсивного згину похило-спрямованої свердловини, створити плавний перехід від жорсткої

секції ОБТ до бурильних труб, вписуючись у профіль свердловини і не створюючи тим самим надмірного гальмівного моменту при обертанні бурильної колони. Одночасно проміжна труба, встановлена над комплектом ОБТ, надає йому деякої додаткової маси.

При бурінні з компоновками зі зміщенням до вибою центром ваги низу бурильної колони використання ОБТЗЖ забезпечує акумулювання енергії коливань у стиснутій частині компоновки [57].

При бурінні свердловин у небезпечних з точки зору прихоплень розрізах, компоновку низу бурильної колони слід набирати з труб змінної жорсткості. Утворювані при цьому в компоновці перепади жорсткості дозволяють створювати гальмуючі зусилля, які знижують ймовірність прихоплень.

При збиранні свічі з пропонованих труб утворюються уступи по довжині, які використовуються для підвішування в елеваторі, що веде до прискорення спуско-підіймальних операцій.

3.2. Уточнення математичної моделі роботи компоновки низу бурильної колони при роторному бурінні

При бурінні свердловин роторним способом одночасна дія сил і моментів по довжині колони, занурених у буровий розчин, призводить до появи в трубах постійних та знакозмінних напружень, а відповідно до корозійно-втомного руйнування елементів компоновки.

Для попередження передчасних втомних руйнувань елементів бурильної колони рекомендується підбір компоновки і режимних параметрів на підставі відповідних динамічних розрахунків, які дають можливість визначити закономірність зміни напружень, їх безпечний рівень та екстремальні значення.

Динамічні розрахунки базуються на математичних моделях, побудованих таким чином, щоб можна було визначити поздовжні, крутильні і поперечні коливання бурильної колони, як механічної системи з розподіленими параметрами.

Ці моделі залишаються справедливими і для компоновок з трубами змінної жорсткості.

Розрахункова схема фізичних тіл, що описуються відповідними математичними залежностями, приведена на рис. 3.2. Вона включає канати талевої системи 1 з жорсткістю K_0 , рухомі частини талевої системи 2 масою M_0 , секції, які складаються з бурильних труб 3, обважнених бурильних труб змінної жорсткості 4 і обважнених бурильних труб з постійним поперечним перерізом по їх довжині 5, а також долото 6 масою M_L і гірську породу 7, подану пружним елементом K_L . Геометричні розміри труб приведені в таблицях 3.2 і 3.3.

Динамічні розрахунки ступінчастих компоновок відомі, а тому на них, зокрема на розрахунку триступінчастої ОБТЗЖ, зупинятись не будемо. Розрахунки стержнів змінного перерізу в технічній літературі також знайти не важко [58,59]. Проте, для конічних труб, особливістю яких є наявність внутрішнього отвору, точного розв'язку нема. Для заповнення цієї прогалини зупинимось на однопрогінному вертикальному стержні змінного перерізу з внутрішнім отвором постійного діаметра. Для багатопрогінного стержня можна, наприклад, скористатись методом початкових параметрів, взявши за крайові умови рівність сил та переміщень у місцях з'єднання ОБТЗЖ з нижче та вище розміщеними ділянками труб.

Диференціальне рівняння поздовжніх коливань труби змінної жорсткості візьмемо у вигляді

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[A(x)E \frac{\partial u}{\partial x} \right] = \rho A(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \rho A(x)g - f(x,t), \quad (3.7)$$

де $u(x,t)$ - переміщення x - перерізу труби в момент часу t ,

E - модуль пружності,

ρ - густина матеріалу труби,

g - прискорення земного тяжіння.

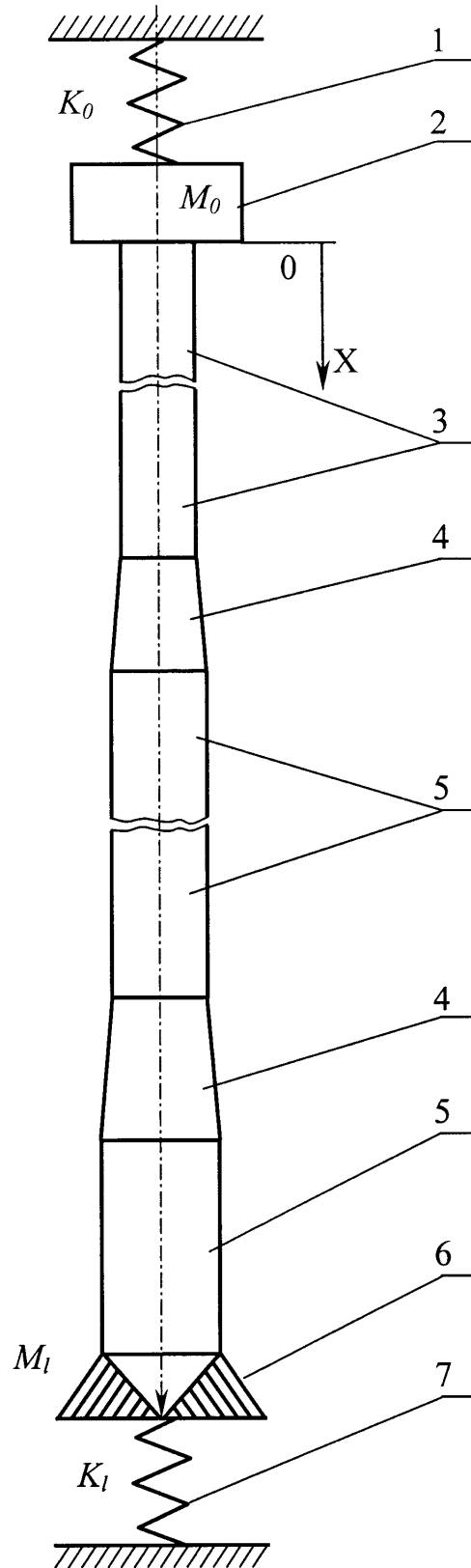


Рис. 3.2. Розрахункова схема для вивчення поздовжніх і крутильних коливань механічної системи:

1 – талева система; 2 – маса рухомих частин; 3 – бурильні труби; 4 – ОБТЗЖ; 5 – ОБТ; 6 – долото, 7 – пружний елемент.

У випадку гармонічної збурної сили $f(x,t) = F(x)e^{ip_0t}$ покладемо $\Lambda^2 = \rho \frac{p_0^2}{E}$,

$u(x,t) = \tilde{U}(x)e^{ip_0t}$, де $\tilde{U}(x)$ задовольняє рівняння

$$\frac{d^2\tilde{U}}{dx^2} + \frac{A'(x)}{A(x)} \frac{d\tilde{U}}{dx} + \Lambda^2\tilde{U} = \frac{\rho}{E}g - \frac{F(x)}{EA(x)}, \quad (3.8)$$

тут $A'(x) = dA(x)/dx$.

При дослідженні вільних коливань приймемо $F(x) = 0$, замість Λ^2 візьмемо $\lambda^2 = \rho\omega^2/E$, де ω - частота вільних коливань [60,61]. Таким чином диференціальне рівняння руху (3.7) зводиться до вигляду

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{A'(x)}{A(x)} \frac{dU}{dx} + \lambda^2U = 0. \quad (3.9)$$

Переміщення $u(x,t)$ x -перерізу труби представимо сумою

$$u(x,t) = U(x)e^{i\omega t} + \tilde{U}(x)e^{ip_0t}, \quad (3.10)$$

де $\tilde{U}(x)$ - частинний розв'язок неоднорідного рівняння (3.8), $U(x)$ - загальний розв'язок однорідного рівняння (3.9).

Диференціюючи (3.7) по x , дістаємо

$$[A(x)U']' + \lambda^2 A(x)U = 0. \quad (3.11)$$

Ввівши позначення $A(x)U' = z'$, після інтегрування одержимо

$$U(x) = \int \frac{z'(x)}{A(x)} dx + C_0. \quad (3.12)$$

Геометричні параметри обважнених бурильних труб

Зовнішній діаметр труби, мм	Тип різьбового з'єднання	Конусність різьби	Довжина муфти з повним профілем, мм	Внутрішній діаметр різьби муфти в площині торця, мм	Найбільший допустимий діаметр муфти, необхідний для нарізання різьби з повним профілем, мм
178	3-147	1:6	118	141,363	121,69
203	3-161	1:6	118	155,334	135,66
203	3-171	1:6	118	164,950	145,29
209	3-171	1:6	118	164,950	145,29

Підкладаючи (3.12) в (3.11) при $C_0 = 0$, одержимо залежність

$$z' + \lambda^2 A(x) \int \frac{z'(x)}{A(x)} dx = 0, \quad (3.13)$$

після диференціювання якої приходимо до диференціального рівняння

$$z'' + z' \left(\lambda^2 - \frac{A'(x)}{A(x)} \right) = 0, \quad (3.14)$$

яке явно не містить шуканої функції і допускає пониження порядку.

Нехай $z' = y$, тоді

$$\frac{dy}{dx} = y \left(\frac{A'(x)}{A(x)} - \lambda^2 \right). \quad (3.15)$$

Після відокремлення змінних та інтегрування одержимо

$$y(x) = C_1 A(x) e^{-\lambda^2 x} \quad (3.16)$$

Загальний розв'язок однорідного рівняння (3.8) набуде вигляду

$$U(x) = -\frac{C_1}{\lambda^2} e^{-\lambda^2 x} + C_2 \quad (3.17)$$

Для розв'язку неоднорідного рівняння (3.17) скористаємось методом Лагранжа варіації довільних сталих, згідно якого

$$\tilde{U}(x) = -\frac{1}{\Lambda^2} e^{-\Lambda^2 x} C_1(x) + C_2(x) \quad (3.18)$$

Функції $C_1(x)$, $C_2(x)$ поки-що невідомі, похідні від них знаходимо з системи

$$\begin{cases} -C_1'(x) \frac{1}{\Lambda^2} e^{-\Lambda^2 x} + C_2'(x) = 0, \\ C_1'(x) e^{-\Lambda^2 x} = \frac{\rho}{E} g - \frac{F(x)}{E A(x)} \end{cases} \quad (3.19)$$

Підставимо $C_1(x)$ і $C_2(x)$ в (3.18):

$$\tilde{U}(x) = \frac{\Lambda^2}{E} \left[\int \left(\rho g - \frac{F(x)}{A(x)} \right) dx - e^{-\Lambda^2 x} \int e^{\Lambda^2 x} \left(\rho g - \frac{F(x)}{A(x)} \right) dx \right] \quad (3.20)$$

Таким чином, загальний розв'язок диференціального рівняння (3.7) набуде вигляду

$$\begin{aligned} u(x,t) = & \left(C_2 - \frac{C_1}{\lambda^2} e^{-\lambda^2 x} \right) e^{i\omega t} + \frac{\Lambda^2}{E} \left[\int \left(\rho g - \frac{F(x)}{A(x)} \right) dx - \right. \\ & \left. - e^{-\Lambda^2 x} \int e^{\Lambda^2 x} \left(\rho g - \frac{F(x)}{A(x)} \right) dx \right] e^{i\rho t}. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Сталі інтегрування C_1 та C_2 знаходимо з граничних умов. Наприклад, для випадку $U(0) = A_0$, $U(l) = A_l$ маємо

$$C_1 = \frac{\lambda^2(A_0 - A_l)}{e^{-\lambda^2 l} - 1}, \quad C_2 = \frac{A_0 e^{-\lambda^2 l} - A_l}{e^{-\lambda^2 l} - 1}. \quad (3.22)$$

Для знаходження величини реального переміщення в (3.21) замість $e^{i\omega t}$ слід взяти $\cos \omega t$, а замість $e^{ip_0 t}$ - множник $\cos p_0 t$.

Слід відмітити, що диференціальне рівняння поздовжніх коливань (3.7) не містить складової, яка відповідала б за опір середовища. Другий доданок в (3.21), що відповідає за вимушені коливання, при врахуванні опору в'язкої рідини незначно (на 3-5%) зменшиться, а от перший – зникне, оскільки вільні коливання затухають при найнезначнішому опорі [62].

При бурінні свердловин роторним способом, за рахунок обертального руху, в елементах бурильної колони виникають значні поздовжні, поперечні та крутні напруження.

Обертальний рух бурильної колони розіб'ємо на переносний, викликаний рівномірним обертанням ротора з кутовою швидкістю ω_0 , і відносний, пов'язаний з періодичними збурними моментами [63,64].

Кут повороту $\varphi^e(x, t)$ при переносному русі буде сумою

$$\varphi^e(x, t) = \omega_0 t + \varphi^0(x), \quad (3.23)$$

де $\varphi^0(x)$ - початковий кут закручування x -перерізу труби змінної жорсткості силами опору, який визначається з рівняння:

$$\frac{d}{dx} \left[I_0(x) G \frac{d\varphi^e}{dx} \right] = \chi \omega_0, \quad (3.24)$$

при відповідних граничних умовах [65]. В рівнянні $I_0(x)$, G , χ - відповідно полярний момент інерції поперечного x -перерізу ОБТЗЖ, модуль зсуву матеріалу труби та коефіцієнт в'язкого тертя.

Сформулюємо задачу для переносного руху. У результаті додавання моментів, що діють на нескінченно малий елемент труби, приходимо до диференціального рівняння вигляду

$$\frac{d}{dx} \left[I_0(x) E \frac{d\varphi}{dx} \right] = I_0(x) \rho \frac{d^2\varphi}{dt^2} - h(x, t), \quad (3.25)$$

де $h(x, t) = H(x) e^{ig_0 t}$ - гармонічна збурна сила.

Позначивши через $N^2 = \frac{\rho g_0^2}{G}$, $\varphi(x, t) = \tilde{\Phi}(x) e^{ig_0 t}$, для $\tilde{\Phi}(x)$ одержимо наступне рівняння

$$\frac{d^2\tilde{\Phi}}{dx^2} + \frac{I_0'(x)}{I_0(x)} \frac{d\tilde{\Phi}}{dx} + N^2\tilde{\Phi} = -\frac{H(x)}{G I(x)}. \quad (3.26)$$

При дослідженнях вільних крутильних коливань слід прийняти $H(x) = 0$, $\nu^2 = \rho\mu^2/E$, де μ - частота вільних крутильних коливань [67].

Загальний розв'язок однорідного рівняння

$$\frac{d^2\tilde{\Phi}}{dx^2} + \frac{I_0'(x)}{I_0(x)} \frac{d\tilde{\Phi}}{dx} + \nu^2\tilde{\Phi} = 0 \quad (3.27)$$

матиме вигляд

$$\tilde{\Phi}(x) = -\frac{C_3}{\nu^2} e^{\nu^2 x} + C_4, \quad (3.28)$$

а частинний розв'язок неоднорідного (3.26)

$$\tilde{\Phi}(x) = \frac{N^2}{G} \left[e^{-N^2 x} \int e^{N^2 x} \cdot \frac{H(x)}{I_0(x)} dx - \int \frac{H(x)}{I_0(x)} dx \right]. \quad (3.29)$$

Отже, відносна складова руху визначиться, як

$$\varphi(x, t) = \left(C_4 - \frac{C_3}{\nu^2} e^{-\nu^2 x} \right) e^{i\mu x} + \frac{N^2}{G} \left[e^{-N^2 x} \int e^{N^2 x} \cdot \frac{H(x)}{I_0(x)} dx - \int \frac{H(x)}{I_0(x)} dx \right] e^{ig_0 t}. \quad (3.30)$$

Для випадку $\Phi(0) = \Phi_0$, $\Phi(l) = \Phi_l$ сталі інтегрування C_3 , C_4 будуть наступними

$$C_3 = \frac{\nu^2 (\Phi_0 - \Phi_l)}{e^{-\nu^2 l} - 1}, \quad C_4 = \frac{\Phi_0 e^{-\nu^2 l} - \Phi_l}{e^{-\nu^2 l} - 1}. \quad (3.31)$$

Для знаходження реального значення кута повороту в (3.31) замість $e^{i\mu t}$ слід взяти $\cos \mu t$, а замість $e^{ig_0 t}$ - множник $\cos g_0 t$.

Як і у випадку поздовжніх коливань, внаслідок взаємодії труби з промивальною рідиною, складовою, що відповідає за вільні крутильні коливання, можна знехтувати.

У (3.21) та (3.30) під p_0 та g_0 розуміємо “грунтові” частоти збурюваної сили та збурюваного моменту відповідно. У випадку полігармонічного збурення слід взяти суму доданків, що відповідають за вимушені коливання на кожній із частот збурювання.

Динамічні складові сили $F(x, t)$ та крутного моменту $M(x, t)$ в x -перерізі труби змінної жорсткості знаходимо за формулами

$$F(x, t) = -A(x)E \frac{d\tilde{U}(x)}{dx} e^{ip_0 t}, \quad (3.32)$$

$$M(x,t) = -I_0(x)G \frac{d\tilde{\Phi}(x)}{dx} e^{igt}. \quad (3.33)$$

На підставі (3.32) та (3.33) розроблено програму, складено алгоритм і проведено розрахунки динамічних складових сил та крутних моментів в елементах бурильної колони при різних КНБК [67].

Динамічні розрахунки ступінчастих компоновок свідчать про наявність різких перепадів динамічних складових сил і моментів у місцях переходу від труб одного типорозміру до іншого, що викликає в експлуатаційних умовах значну концентрацію напружень, внаслідок чого знижується опір з'єднувальних елементів компоновок знакозмінним навантаженням. Характерні залежності зміни амплітуд динамічних складових переміщень $\tilde{U}(x)$, сил $F(x)$, кутів повороту $\tilde{\Phi}(x)$ і крутних моментів $M(x)$ по довжині x бурильної колони подані на рис. 3.3.

У розглядуваному випадку (амплітуда збурень на “грунтовій” частоті 4,4 мм) від секції ОБТ довжиною 60 м до бурильних труб динамічні складові сили і крутного моменту значно зменшуються. Їх перепад відповідно складає $\Delta F = 150 - 40 = 110$ кН, $\Delta M = 215 - 2 = 213$ Н·м.

Включення ОБТЗЖ в компоновку низу бурильної колони сприяє “ліквідації” перепадів осьової сили ΔF та крутного моменту ΔM по довжині перехідної ділянки компоновки.

На рис. 3.4 - 3.7 наведені графіки зміни приростів переміщення $\Delta\tilde{U} = \tilde{U}(0) - \tilde{U}(x)$, кута повороту $\Delta\tilde{\Phi} = \tilde{\Phi}(0) - \tilde{\Phi}(x)$, сили $\Delta F = F(0) - F(x)$ та крутного моменту $\Delta M = M(0) - M(x)$ по довжині тіла труби змінної жорсткості. Вихідні дані для розрахунків були прийняті наступними: $E = 2,06 \cdot 10^{11}$ Н/м², $G = 8 \cdot 10^{10}$ Н/м², $g = 9,81$ м/с², $\rho = 7800$ кг/м³, $n = 60$ об/хв, $F = 2,5 \cdot 10^4$ Н, $H = 500$ Н·м.

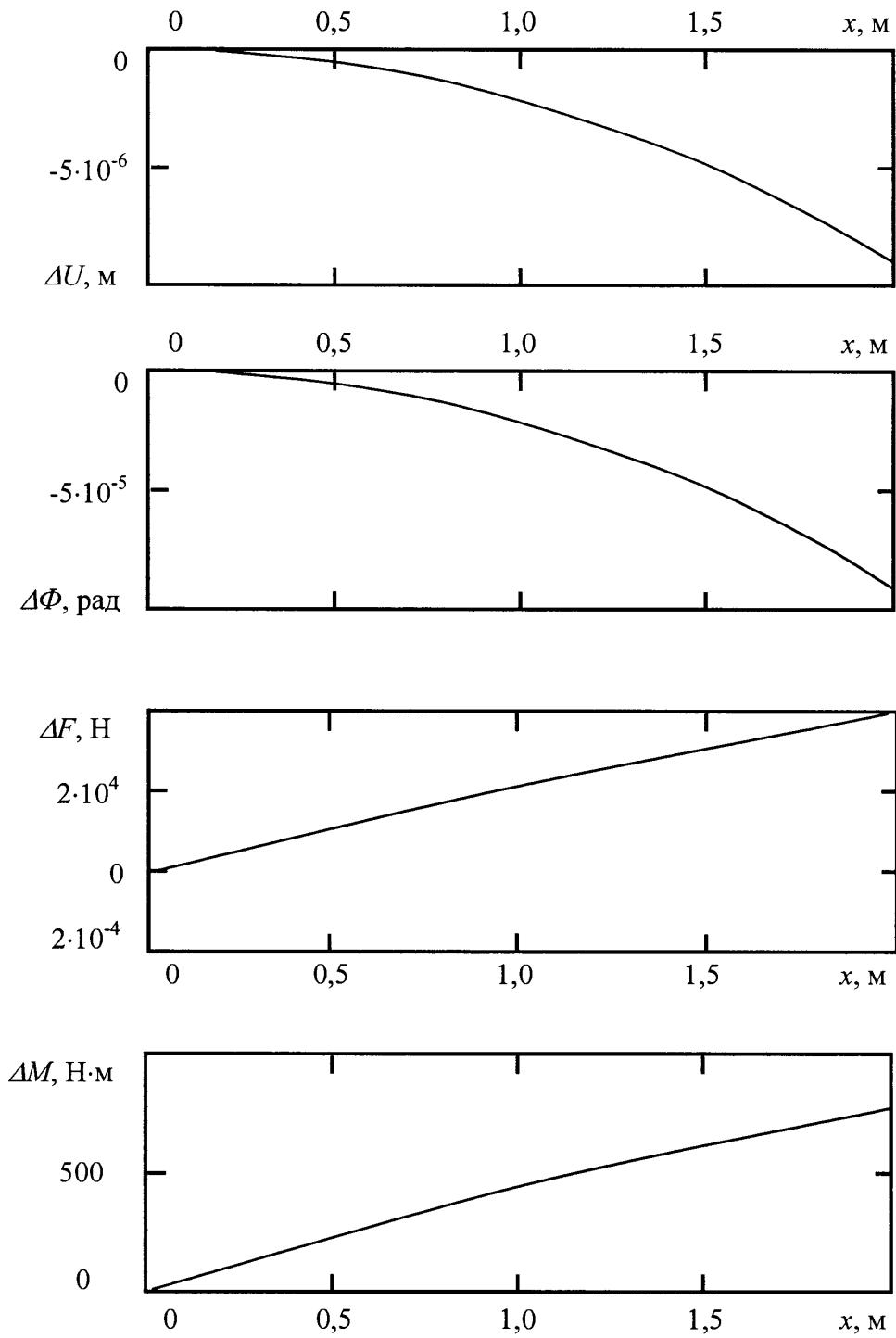


Рис. 3.3. Закономірність зміни амплітуд динамічних складових переміщень $U(x)$, осьової сили $F(x)$, кута повороту $\Phi(x)$ і крутного моменту $M(x)$ по довжині бурильної колони.

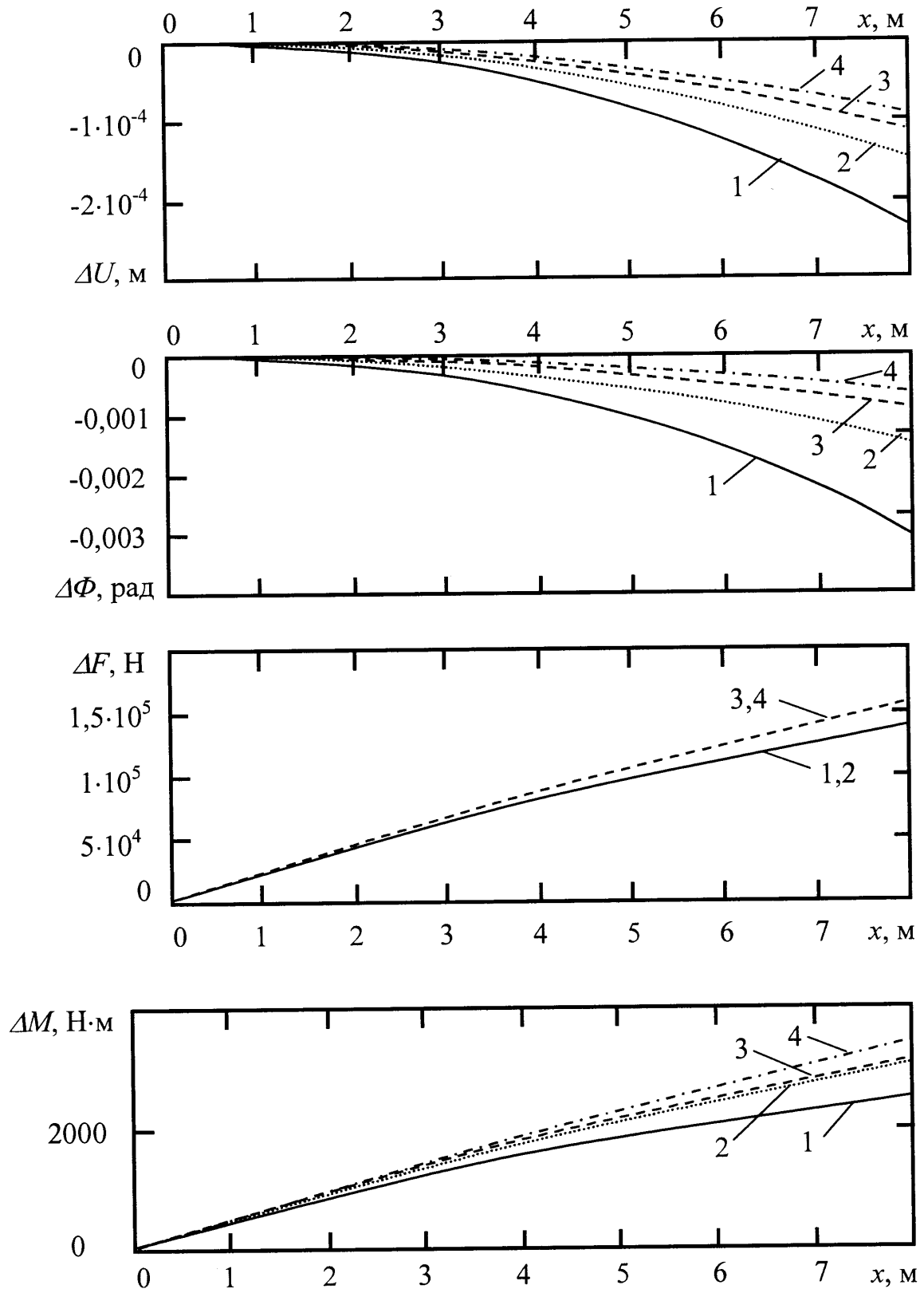


Рис. 3.4. Зміна приростів динамічних характеристик $\Delta U(x)$, $\Delta F(x)$, $\Delta \Phi(x)$ і $\Delta M(x)$ по довжині труби ОБТЗЖ II 178/203 при різних амплітудах збурень: 1 - $F=2,5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $H=0,5 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; 2 - $F=5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $H=1,0 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; 3 - $F=10 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $H=1,5 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$

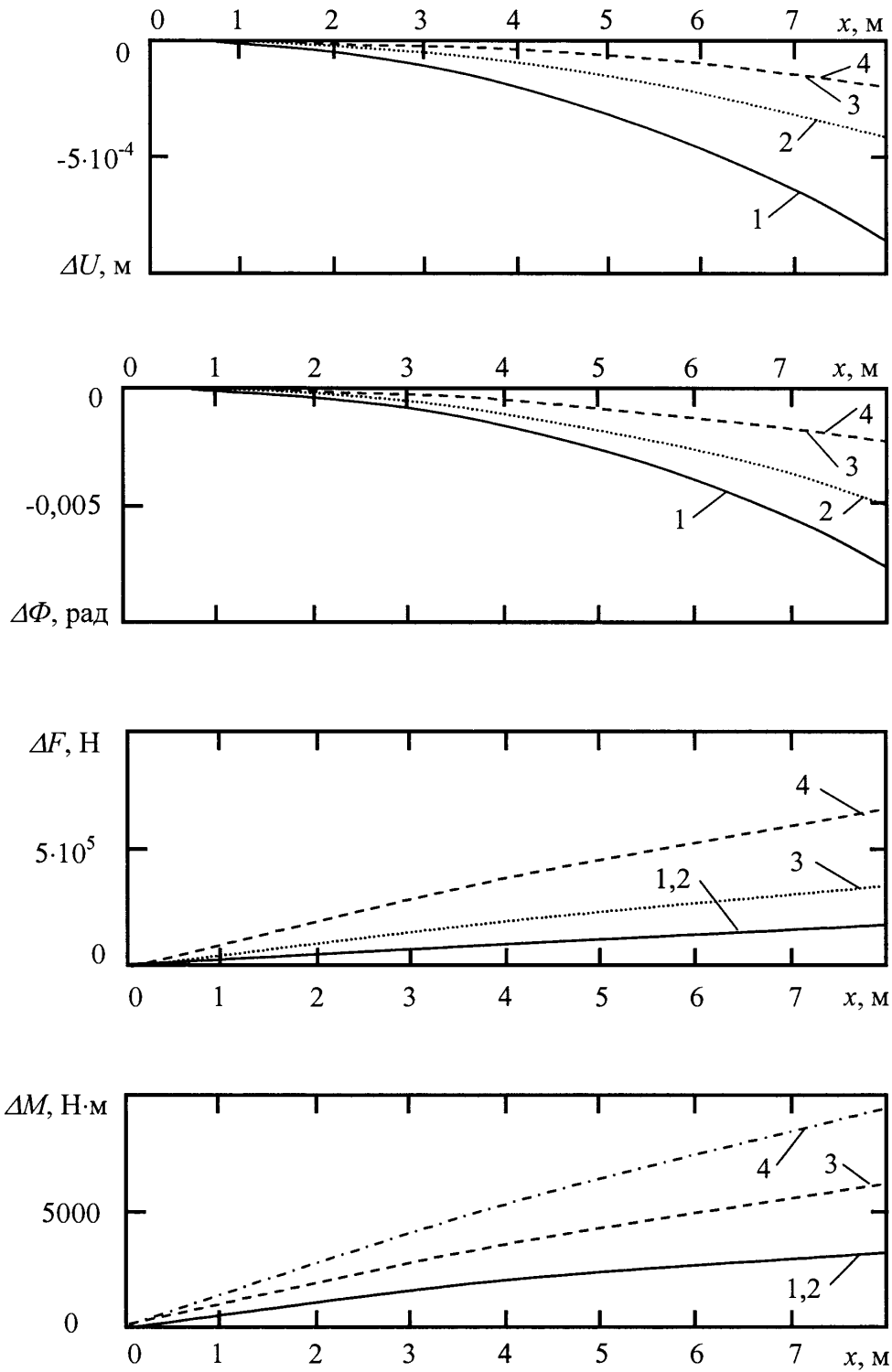


Рис. 3.5. Зміна приростів динамічних складових переміщення $\Delta U(x)$, осьової сили $\Delta F(x)$, кута повороту $\Delta \Phi(x)$ і крутного моменту $\Delta M(x)$ по довжині одноступінчастих труб змінної жорсткості при $F=2,5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $H=0,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{ м}$; 1 - ОБТЗЖ І 140/178; 2 - ОБТЗЖ І 178/203; 3 - ОБТЗЖ І 203/229; 4 - ОБТЗЖ І 229/247.

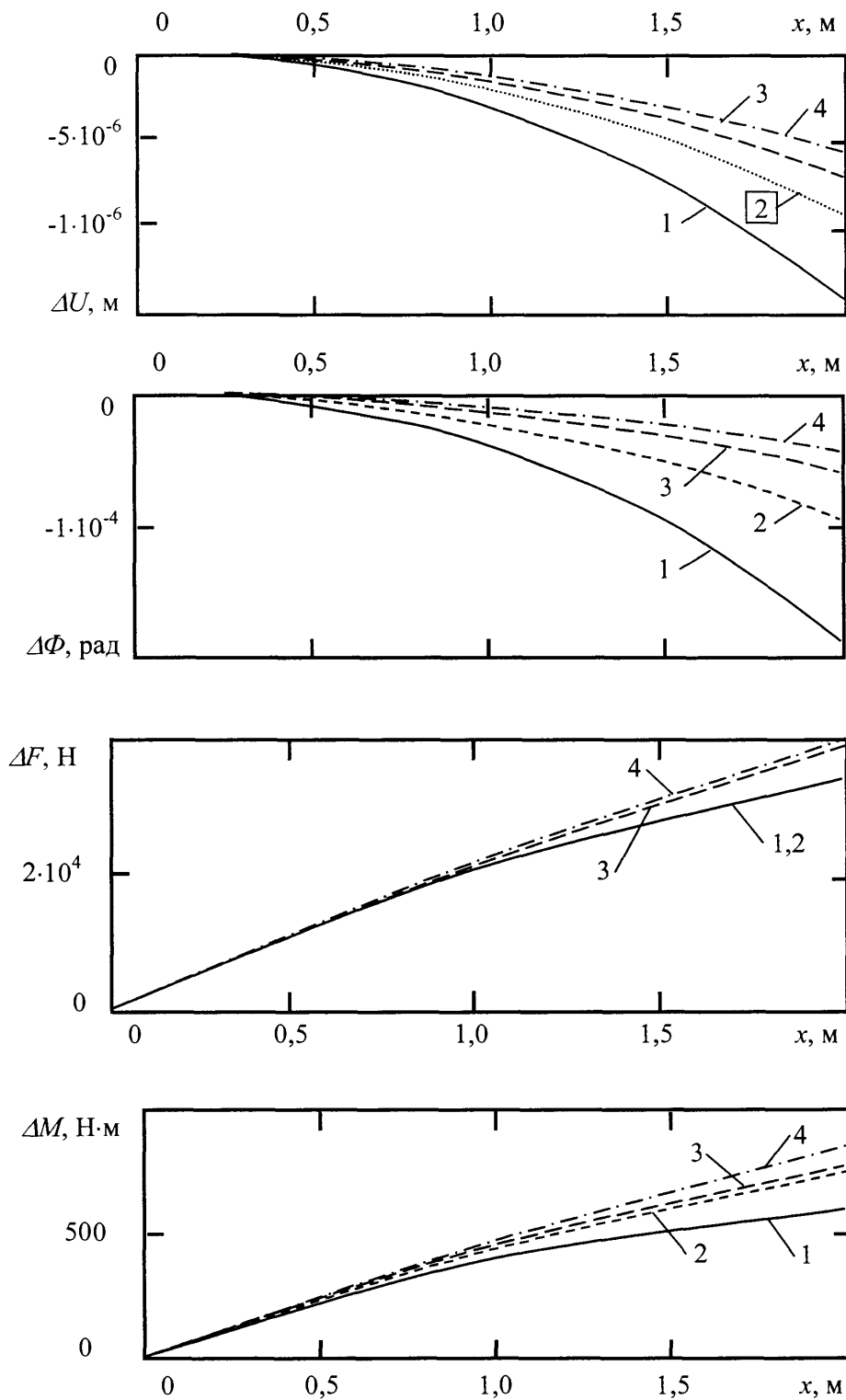


Рис. 3.6. Зміна приростів динамічних складових переміщення $\Delta U(x)$, осьової сили $\Delta F(x)$, кута повороту $\Delta \Phi(x)$ і крутного моменту $\Delta M(x)$ по довжині одноступінчастих труб змінної жорсткості при $F=2,5 \cdot 10^4$ Н, $H=0,5 \cdot 10^3$ Н·м; 1 - ОБТЗЖ II 140/178; 2 - ОБТЗЖ II 178/203; 3 - ОБТЗЖ II 203/229; 4 - ОБТЗЖ II 229/247.

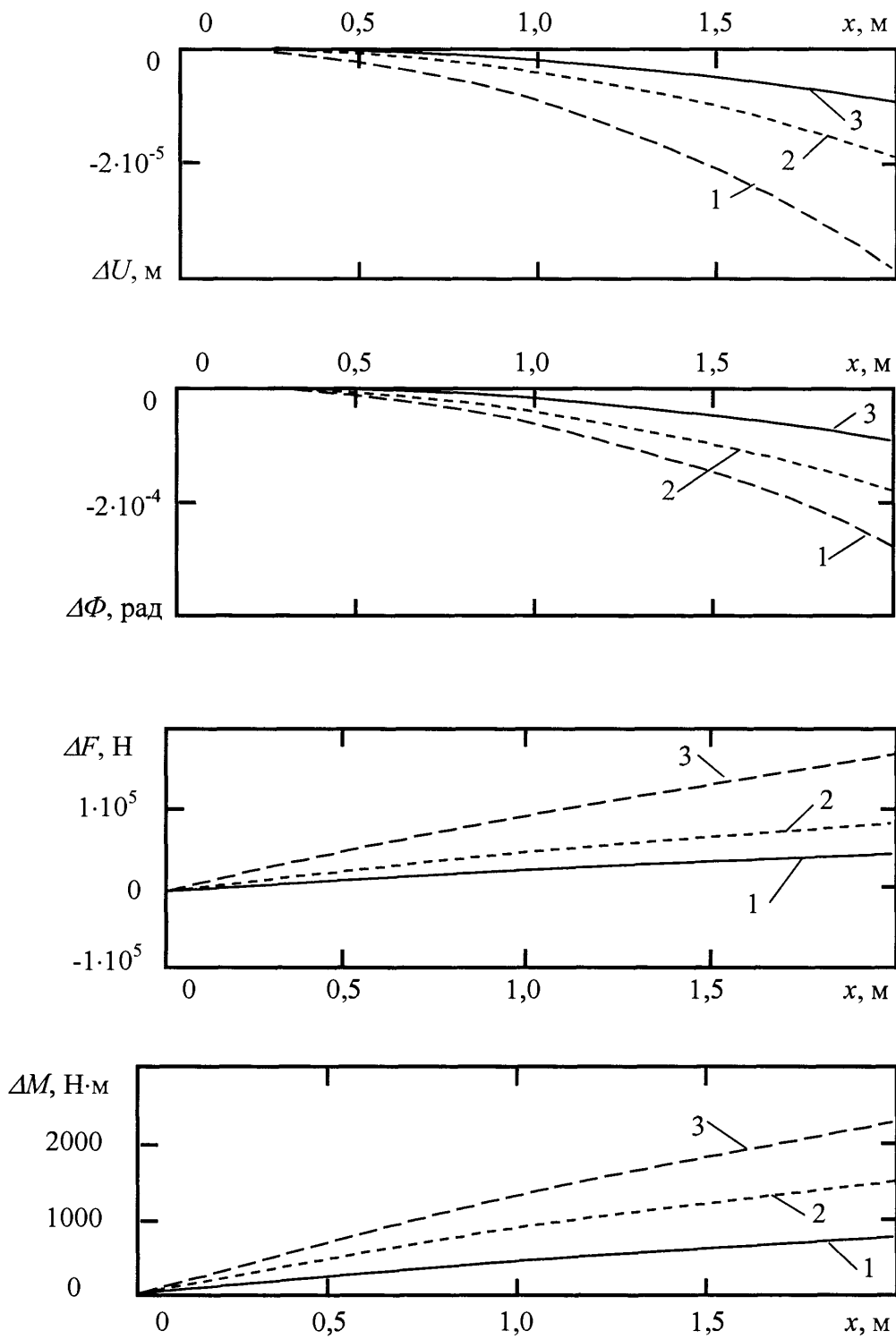


Рис. 3.7. Зміна приростів динамічних характеристик $\Delta U(x)$, $\Delta F(x)$, $\Delta \Phi(x)$ і $\Delta M(x)$ по довжині труби ОБТЗЖ I 178/203 при різних амплітудах збурень: 1 - $F=2,5 \cdot 10^4$ Н, $H=0,5 \cdot 10^3$ Н·м; 2 - $F=5 \cdot 10^4$ Н, $H=1,0 \cdot 10^3$ Н·м; 3 - $F=10 \cdot 10^4$ Н, $H=1,5 \cdot 10^3$ Н·м.

Як бачимо, зі збільшенням діаметрів ОБТЗЖ, так само як і амплітуд збурної сили F і крутного моменту M , прирости динамічних характеристик за абсолютною величиною збільшуються причому, якщо у випадку зміни діаметрів труб характер цього збільшення можна подати параболічними залежностями для всіх чотирьох динамічних характеристик, то у випадку зміни амплітуд сили F і моменту H для переміщень $\Delta\tilde{U}$ і кутів повороту $\Delta\tilde{\Phi}$ залежності параболічні, а для сил ΔF і крутних моментів ΔM - близькі до лінійних.

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

3.3. Дослідження розподілу напружень у небезпечних перерізах елементів компоновки низу бурильної колони

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 довжиною 6 м, виготовлених із сталі 40ХН2МА з $\sigma_{0,2}=680\text{МПа}$. Досліджували напруження, які виникають у замкових різьбових з'єднаннях ОБТ-178 з різьбою 3-147, ОБТ-178×ОБТ-203, ОБТ-178×ОБТЗЖ-203, зібраних з додатнім натягом при оптимальному значенні величини крутного моменту згвинчування, рівному 25,0 кН·м [68,69]. Дослідження напружень проводились за допомогою тензOMETричної станції "ТОПАЗ-3" згідно методики, приведеної в розділі 2, при дії статичного навантаження $P = 2 \cdot 10^6 \text{ Н}$.

Порівняльна характеристика розподілу нормальних осьових напружень у характерних перерізах по довжині згвинченого замкового з'єднання ОБТ-178 з різьбою 3-147 приведено на рис. 3.8, де криві 1, 3, 5 одержані автором [7].

З рис. 3.8. видно, що застосування обважнених бурильних труб змінної жорсткості, на ділянках переходу від одного типорозміру ОБТ до іншого

призводить до зменшення величини напружень у замковому різьбовому з'єднанні до 30% (криві 2, 5 і 6).

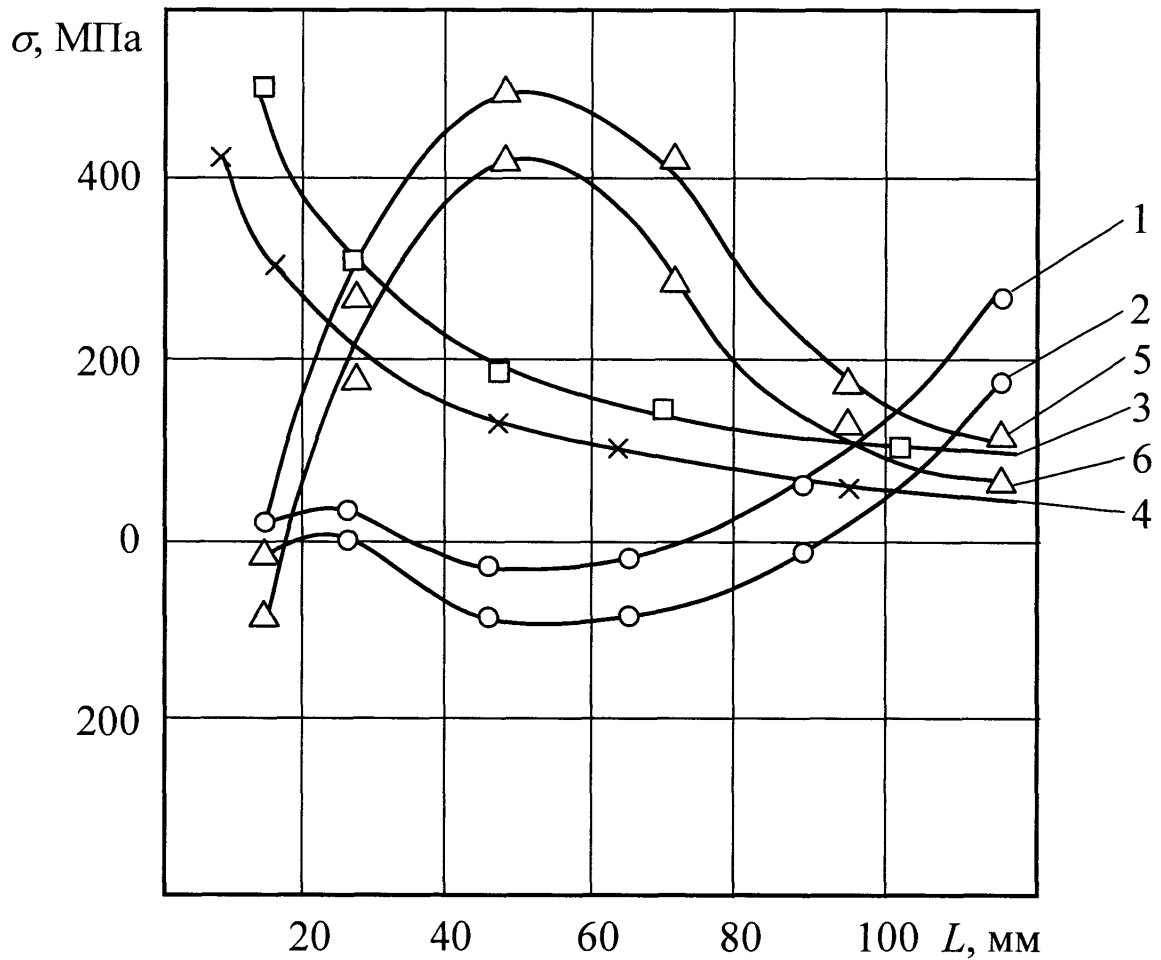


Рис. 3.8. Розподіл нормальних осьових напружень по довжині різьби замкового з'єднання 3-147 при $M_{кр.згв.} = 25$ кН·м та $P = 2 \cdot 10^6$ Н:
 1, 2 – муфта, зовнішня поверхня ОБТ-178×ОБТ-203;
 ОБТ-178×ОБТЗЖ-203;
 3, 4 – ніпель, канавка ОБТ-178×ОБТ-203; ОБТ-178×ОБТЗЖ-203;
 5, 6 – ніпель, внутрішня поверхня ОБТ-178×ОБТ-203;
 ОБТ-178×ОБТЗЖ-203.

Аналіз результатів промислових та експериментальних досліджень на опір втомі натурних зразків бурильних труб показав, що бурильні труби руйнуються або у перерізі по останньому спряженому витку різьби замок-труба, або по тілу труби [69]. Дослідження напружень, які виникають у небезпечних ділянках тіла труби, проводили по приведеній вище методиці. Натурний зразок бурильної труби діаметром 140 мм групи міцності Л та довжиною 3 м нерухомо закріплювався замком у стенді, а до іншого вільного кінця приєднувалися ОБТ-178, 203, ОБТЗЖ-178 та прикладався згинаючий момент $M_{зг.} = 90$ кН·м. Обважені бурильні труби, які мали постійний по довжині поперечний переріз, приєднувались до бурильної труби за допомогою перехідника.

Результати експериментальних досліджень приведені на рис. 3.9. На підставі рис. 3.9 констатуємо, що максимальні нормальні осьові напруження при дії згинаючого моменту виникають на відстані 0,3...0,6 м від торця замка (криві 1, 2, 3). Порівнюючи між собою криві 1 і 3, бачимо, що напруження, які виникають по тілу бурильної труби, з'єднаної з ОБТ-203 (крива 1) перевищують за рахунок зміни жорсткості напруження при конструкції з ОБТЗЖ-178 (крива 3) майже на 50%.

Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень підтвердив практичну доцільність нових конструкцій обважнених бурильних труб змінної жорсткості, 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 вдосконалення технології буріння, з використанням в КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості, що затверджений у ВАТ „Укрнафта“ та ВГО ПНГГ.

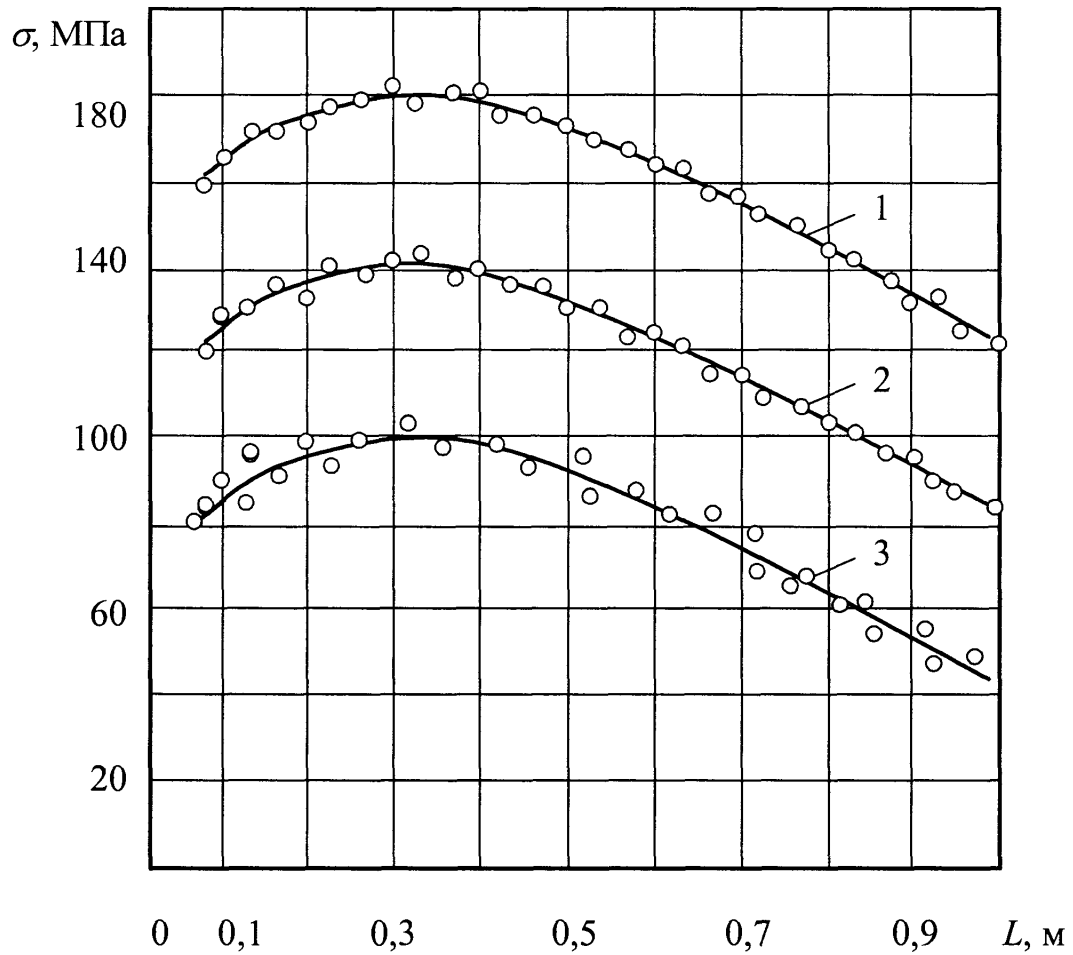


Рис. 3.9. Розподіл нормальних осьових напружень по тілу бурильної труби в перехідній зоні від БТ до ОБТ при $M_{зг.} = 90$ кН·м:

1 - БТ-140×ОБТ-203;

2 - БТ-140×ОБТ-178;

3 - БТ-140×ОБТЗЖ-178.

Висновки до розділу 3

Теоретичними та експериментальними дослідженнями доведено доцільність використання в КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості, які усувають небезпечні ділянки з високими концентраторами напружень та

підвищують довговічність роботи елементів бурильної колони при роторному способі буріння.

Побудовані аналітичні залежності, які дали можливість розробити раціональну конструкцію обважнених бурильних труб змінної жорсткості.

Запропонована математична модель роботи бурильної колони. Вперше розв'язана задача визначення напружень, які виникають у перерізах ОБТЗЖ кінчної форми при дії статичних та динамічних навантажень.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень підтвердив практичну доцільність нових конструкцій обважнених бурильних труб змінної жорсткості експоненціальної форми, які забезпечують зниження концентрації напружень у перехідній зоні від бурильних до обважнених бурильних труб, зменшують амплітуду поздовжніх коливань бурильної колони та підвищують її стійкість, що призводить до підвищення роботоздатності бурильної колони в процесі буріння свердловин роторним способом.

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

4.1. Розробка конструкцій обважнених бурильних труб із замковими різьбовими з'єднаннями підвищеної міцності

4.1.1. Обґрунтування і розрахунок геометричних параметрів. На основі аналізу результатів літературного та патентного досліджень зроблено висновок, що експлуатаційні характеристики замкових різьбових з'єднань суттєво залежать від геометричних параметрів різьби та розподілу напружень між витками різьби. Встановлено, що основними причинами низької границі витривалості різьбових з'єднань є їх конструктивна недосконалість та нерівномірний розподіл напружень між витками різьби.

І.А. Біргер та Г.Б. Іосілевич [70,71] досліджували конічне різьбове з'єднання з заглибленнями у впадині різьби ніпеля, виконаними по всій його довжині з ненавантаженого боку витка. Авторами було встановлено, що таке конструктивне рішення призводить до підвищення границі витривалості різьбового з'єднання на 27%.

Оскільки заглиблення на ніпелі конічного різьбового з'єднання мають однакову глибину і сталий радіус заокруглення, то виявлене підвищення границі витривалості можна пояснити лише за рахунок зменшення коефіцієнта концентрації напружень, тому що таке конструктивне рішення не призводить до перерозподілу напружень між витками різьби.

При згвинчуванні замкових різьбових з'єднань із значним крутним моментом виникають різні осьові деформації тіла муфти і ніпеля, що зумовлює нерівномірне навантаження складових ЗРЗ [72]. Великий теоретичний та практичний інтерес викликають роботи, пов'язані з розробкою такого різьбового з'єднання, яке б забезпечило високі експлуатаційні характеристики і разом з тим не потребувало змін калібрів, тобто задовольняло б вимоги взаємозамінимості.

Виходячи з цього нами розроблена конструкція конічного різьбового з'єднання, яка задовольняє поставленим вимогам [73,74].

У запропонованій конструкції на різьбових ділянках ніпеля і муфти з ненавантаженого боку витка виконані заглиблення змінної величини, які одночасно призводять до зменшення коефіцієнта концентрації напружень за рахунок збільшення радіуса заокруглення впадин різьби та до перерозподілу напружень по довжині різьбового з'єднання за рахунок різної податливості витків. Заглиблення (так звані галтелі) збільшуються від торців ніпеля і муфти і досягають оптимальних значень у площинах небезпечного перерізу. Галтелі можна виконувати по всій довжині різьбового з'єднання, або лише на першій половині найбільш навантажених витків різьби. Величина заглиблення на один виток визначається співвідношенням:

$$\delta = \frac{C_1 D^2}{d_1 \cdot n}, \quad (4.1)$$

де D – зовнішній діаметр труби, мм;

d_1 – внутрішній діаметр різьби в площині небезпечного січення, мм;

n – кількість повних витків різьби;

C_1 – коефіцієнт пропорційності, який визначається геометричними параметрами різьби;

а радіус заокруглення заглиблення визначається співвідношенням:

$$r_2 = \frac{0,1 \cdot S^2}{h_1}, \quad (4.2)$$

де S – крок різьби;

h_1 – висота профілю різьби, мм [73].

Схема запропонованої конструкції конічного різьбового з'єднання, у якого заглиблення виконані по всій довжині різьби ніпеля та муфти показано на рис. 4.1.

Як раніше було показано, втомні руйнування конічного різьбового з'єднання наступають або в небезпечному перерізі ніпеля (перший спряжений виток різьби), або в небезпечному перерізі муфти (останній спряжений виток різьби). Отже, в зонах небезпечного січення (рис. 4.1) внутрішнє заглиблення у впадинах різьби має максимальну величину $\delta_{\max} = \delta_1 \cdot n$ і відповідно даний виток, наділений максимальною податливістю. Таким чином, запропоноване різьбове з'єднання можна розділити на дві частини, в першій половині якого більш податливі витки різьби ніпеля та менш податливі витки різьби муфти, а в другій половині навпаки.

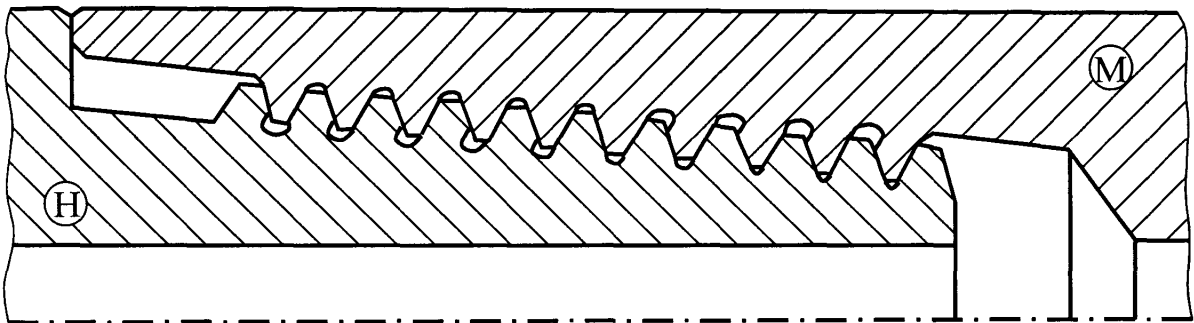


Рис. 4.1. Схема замкового різьбового з'єднання з “галтелями” на ніпелі і в муфті.

При згвинчуванні різьбового з'єднання крутними моментами ($\sigma_3 = 0,6 \dots 0,7 \sigma_{0,2}$ [75]), за рахунок різної податливості витків різьби ніпеля і муфти відбувається перерозподіл напружень між витками по довжині різьбового з'єднання.

Крім цього, найбільший радіус заокруглення в небезпечних перерізах різьби призводить до зменшення коефіцієнта концентрації напружень.

Таким чином, зменшення напружень у площині небезпечного перерізу за рахунок зміни податливості витків різьби і збільшення радіуса заокруглення впадин різьби, призводить до підвищення опору втомі кінцевого різьбового з'єднання, а разом з цим і до підвищення роботоздатності та надійності всієї конструкції різьбового з'єднання в процесі експлуатації.

Під час розробки конструкції кінцевого різьбового з'єднання ми виходимо з умов одержання оптимальних параметрів різьби, які б забезпечили високу експлуатаційну надійність при дії статичних та динамічних навантажень.

Зокрема, при розрахунку максимальної величини заглиблення в площині небезпечного перерізу ніпеля виходили з того, щоб дане заглиблення не зменшило опір витків різьби на зріз при дії статичних навантажень. Так, наприклад, ОБТ-178 з різьбою 3-147 згідно ГОСТ 5286-80 має зовнішній діаметр $D=178$, діаметр різьби в площині небезпечного перерізу ніпеля $d_1=144,0$ мм, кількість витків $n = 17$, крок різьби $S=5,08$ мм (при конусності 1:4); висоту профілю різьби $h_1 = 2,993$ мм, а коефіцієнт пропорційності $C_1 = 0,011$.

Користуючись запропонованими співвідношеннями, оптимальна величина заглиблення на один виток різьби при умові нарізання по всій довжині становить: $\delta_1 = 0,074$ мм, а в площині небезпечного перерізу $\delta_{\max} = 0,074 \cdot 17 = 1,26$ мм.

Радіус заокруглення галтелі визначаємо згідно наведеного вище співвідношення (4.2):

$$r_z = \frac{0,1 \cdot (5,08)^2}{2,993} = 0,86 \text{ мм}.$$

Якщо заглиблення змінної величини виконується по всій довжині різьбового з'єднання (наприклад, на перших восьми спряжених витках ніпеля і останніх восьми спряжених витках різьби муфти), то величина заглиблення на один виток становить $\delta_1=0,154$ мм.

Розроблена конструкція замкового різьбового з'єднання ОБТ може бути виготовлена на серійних різьбонарізних станках з модернізованим механізмом подачі різця або на станках з числовим програмним управлінням. Під час нарізання галтелі забезпечують крок подачі різця на величину δ_1 більшу на кожний виток різьби, а профіль галтелі забезпечується фігурним різцем з радіусом заокруглення r_2 .

Для підтвердження результатів аналітичних досліджень впливає необхідність провести експериментальні дослідження напружень і на опір втомі розробленої конструкції ЗРЗ при дії знакозмінних навантажень.

4.1.2. Експериментальні дослідження напруженого стану і на опір втомі замкових різьбових з'єднань. При згвинчуванні різьбового з'єднання з натягом підвищується монолітність з'єднання за рахунок створення в ньому напруженого стану. Дослідження напруженого стану проводили на натурних зразках різьбових з'єднань корпусів турбобура ЗТСШ1-172 з різьбою МК156×5,5×1:32 з позитивним осьовим натягом, рівним 3,2 мм, виконаних згідно РТМ 2602-15-82 та нової розробленої конструкції. Розподіл напружень між витками різьби нової конструкції досліджувався на з'єднаннях, в яких по всій довжині різьби ніпеля і муфти виконані заглиблення змінної величини та з'єднання, в якому заглиблення виконані на перших шести спряжених витках різьби ніпеля та останніх шести спряжених витках різьби муфти. Дослідження проводились при крутних моментах згвинчування $M_{кр.згв.} = 10000$ Н·м; 20000 Н·м та 25000 Н·м. На рис. 4.2 наведені результати дослідження напруженого стану різьбового з'єднання, в якому заглиблення змінної величини виконані на перших 6-ти витках різьби ніпеля і на останніх 6-ти витках різьби муфти.

З рис. 4.2 видно, що напруження, які виникають у площині небезпечного перерізу ніпеля різьбового з'єднання з заглибленнями змінної величини на 35% менші, ніж напруження в тій же частині різьбового з'єднання, виконаного згідно РТМ 2602-15-82. Зменшення напружень спостерігається і у впадинах на 2-6 витків різьби з'єднання галтельного типу, а на решті витках різьби спостерігається збільшення напружень. Зміна напружень по довжині різьби з'єднання суттєво залежить від величини крутного моменту згвинчування $M_{кр.згв.}$ (крива 1' і 2' на рис. 4.2). Із збільшенням $M_{кр.згв.}$ зростає податливість витків різьби, що призводить до перерозподілу напружень. Аналогічний результат спостерігається і при дослідженні розподілу напружень між витками різьби в різьбовому з'єднанні, в якому галтелі змінної величини виконані по всій довжині різьби ніпеля і муфти. Конічні різьби, які застосовуються в обважнених бурильних трубах, в основному мають конусність 1:4 і 1:6 та згвинчуються значними крутними моментами (наприклад. ОБТ-203 з різьбою 3-171 рекомендований $M_{кр.згв.} = 87$ кН·м), і застосування різьб з галтелями змінної величини відповідно призведе до ще більшого перерозподілу напружень по довжині різьби.

Для підтвердження теоретичних результатів досліджень напруженого стану проведено експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків різьбового з'єднання ЗН-80 з різьбою 3-62 із сталі 40ХН2МА з $\sigma_{0,2} = 680$ МПа.

На опір втомі досліджувались дві серії натурних зразків (8-10 зразків в серії) різьбових з'єднань, згвинчених оптимальними крутними моментами $M_{кр.згв. опт.} = 3$ кН·м. Одна серія зразків була виконана згідно ГОСТ 5286-75, а друга серія різьбових з'єднань з галтелями змінної величини, виконаних на перших шести спряжених витках різьби ніпеля та останніх шести спряжених витках різьби муфти. Дослідження проводились на дослідній машині УП-100 (розд. 2).

Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 4.3.

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

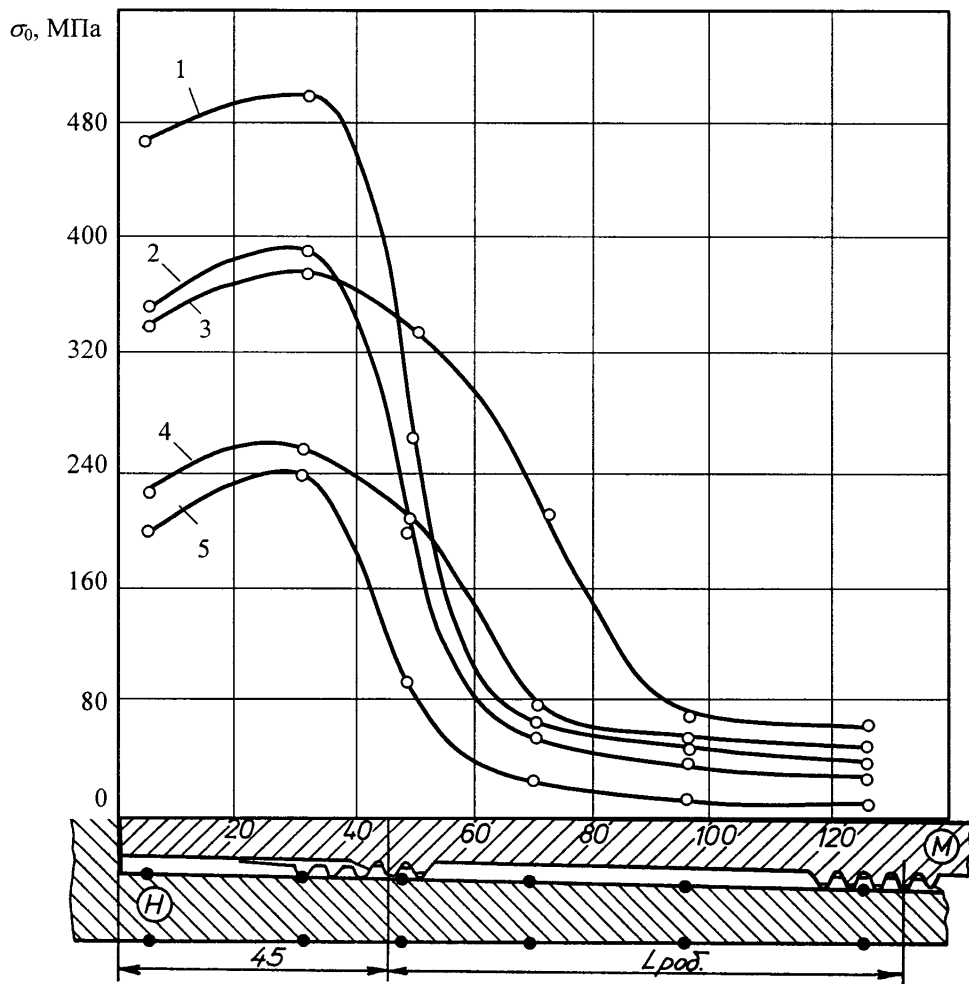


Рис. 4.2. Розподіл нормальних осьових напружень у різьбовому з'єднанні МК156×5,5×1:32:

1, 2, 5 – у поздовжній канавці різьби ніпеля, відповідно при $M_{кр.} = 25; 20; 15$ кН·м;

3, 4 – у поздовжній канавці різьби ніпеля з заглибленнями змінної величини, відповідно при $M_{кр.} = 25; 20$ кН·м;

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що збільшення радіусу заокруглення впадин різьби і перерозподіл напружень між витками по довжині різьби за рахунок галтелей змінної величини призводить до зменшення

коефіцієнта концентрації напружень у площинах небезпечного січення та збільшення границі витривалості з'єднання на 52%, а відповідно до підвищення експлуатаційних характеристик бурильної колони.

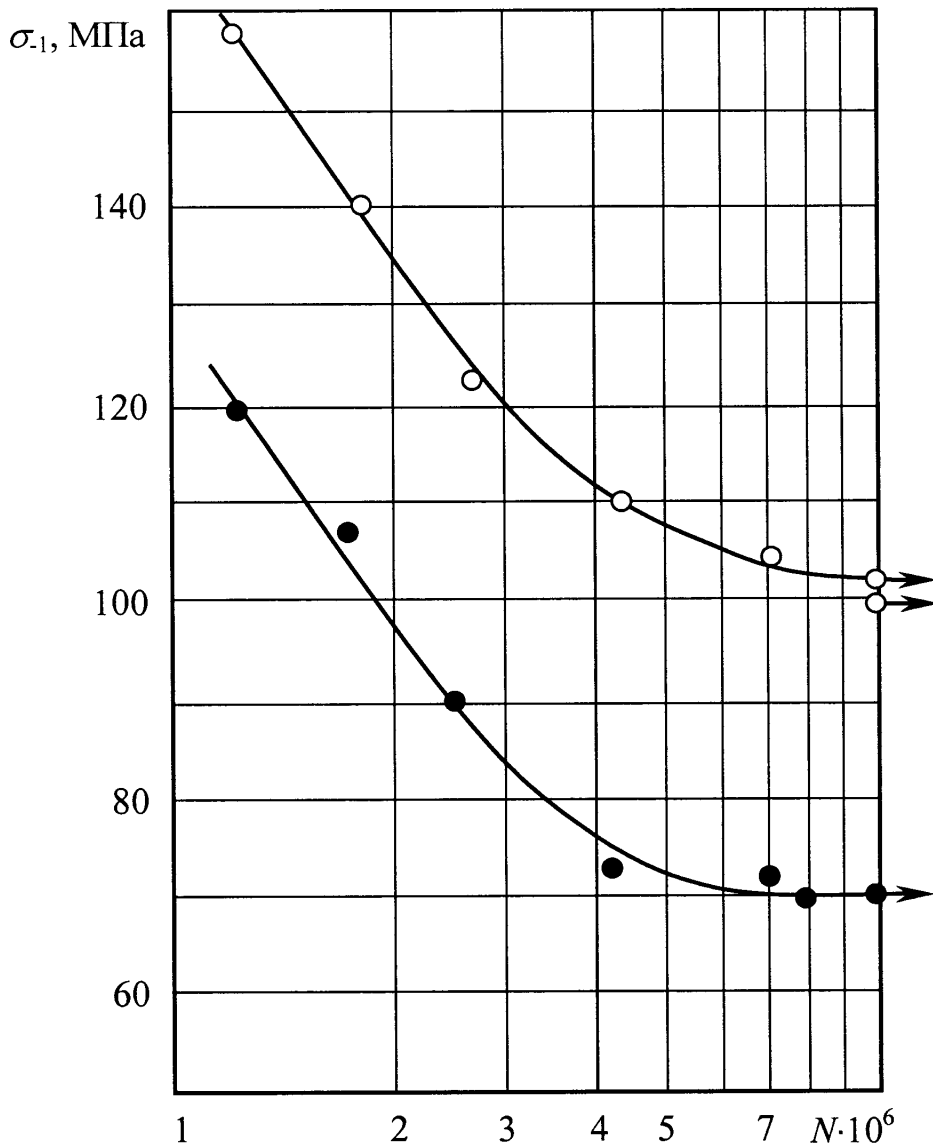


Рис. 4.3. Криві втоми замкових різьбових з'єднань ЗН-80 з різьбою З-62:

- - з'єднання нової конструкції;
- - з'єднання згідно ГОСТ-5286-75.

4.1.3. Порівняння теоретичних і експериментальних результатів досліджень на опір втомі натурних зразків різьбових з'єднань. Існуюча методика розрахунків коефіцієнта запасу міцності елементів конструкцій базується на графічному зображенні схематизованих діаграм критичних точок статичної і втомної міцності матеріалу з застосуванням емпіричних формул і графіків поправкових коефіцієнтів, що несуть інформацію про вплив масштабного ефекту, чистоту обробки поверхні та про величину ефективного коефіцієнта концентрації напружень.

Запропонована аналітична залежність (2.15), яка побудована на основі балансу питомої енергії, пояснює фізичний зміст експериментальної діаграми Веллера і дає можливість розробити нову методику розрахунку елементів бурильної колони на опір втомі.

Елементи бурильної колони конструктивно і умовами експлуатації значно відрізняється від конструкцій зразків, на яких проводилися експериментальні дослідження та розроблялася теорія руйнування матеріалу, а відповідно і застосування закону збереження та перетворення енергії для опису кривої на опір втомі при випробуванні натурних зразків (розд. 2.1.).

Замкові різьбові з'єднання елементів бурильної колони згвинчуються значними крутними моментами, що призводить до створення розтягуючих напружень у ніпелі та напружень стиску в муфті. Відповідно дослідження замкових різьбових з'єднань проводяться при асиметричному циклі навантаження.

Різьбові з'єднання є концентраторами напружень. Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень ЗРЗ визначається за формулою [3]:

$$\alpha_k = 1.6 - 0.2\alpha + \frac{1}{7\sqrt{\alpha^3} \left(1 + \frac{1}{\varphi}\right) + 0.4\sqrt[3]{\alpha}}, \quad (4.3)$$

де $\alpha = \frac{r}{d}$;

$$\varphi = \frac{h}{d};$$

r – радіус заокруглення западини різьби;

h – глибина концентратора (висота профіля різьби);

d – товщина стінки (в площині небезпечного перерізу).

У замкових різьбових з'єднаннях масштабний фактор враховує осьовий момент опору елементу конструкції W_k по якому відбувається втомне руйнування (W_n – осьовий момент опору ніпеля в січенні першого спряженого витка різьби; W_m – осьовий момент опору муфти в січенні останнього спряженого витка різьби, по яких відбуваються втомні руйнування).

Оскільки тріщина в ЗРЗ поширюється по колу [28], то питома поверхнева енергія залежить від площі поперечного перерізу F_k , по якому відбувається втомне руйнування (F_n, F_m).

Велика кількість експериментальних досліджень, проведених нами на моделях та натурних зразках елементів бурильної колони, показали, що не вся підведена енергія йде на втомне руйнування елемента конструкції при дії знакозмінного навантаження, а відбувається розсіювання енергії внаслідок теплопередачі матеріалу по обидві сторони тріщини, що у формулі (2.19) не враховано. Тому нами у формулу (2.19) вводиться поправка у вигляді коефіцієнта k , який враховує розсіювання енергії при втомному руйнуванні та коефіцієнт C , який визначає вплив корозійного середовища. Згідно вимог (ГОСТ 25.502-79) різьбові з'єднання виготовляються 4-5 класу чистоти, а тому величина “ z ”, є достатньо мала і нею можна знехтувати. З врахуванням вище сказаного, рівняння (2.19) набуває вигляду:

$$N = \frac{G_{rf}}{\sigma} Ck \left(U_o + \frac{4\beta\gamma_s F_k}{\alpha_k W_k \rho} \right) \quad (4.4)$$

Експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків замкових різьбових з'єднань у промивальних рідинах та 3% водному розчині NaCl показали, що корозійне середовище призводить до пониження граници витривалості з'єднання в середньому на 20%. Таким чином коефіцієнт $C=0,8$.

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень було проведено експериментальні дослідження на опір втомі зразків діаметром 10, 30, та 80 мм, а також натурних зразків замкових різьбових з'єднань з різьбою 3 - 62, виготовлених із сталі марки 40ХН2МА з однаковими механічними властивостями матеріалу. На бічній поверхні суцільних зразків, з метою можливості співставлення результатів, були нарізані концентратори напружень глибиною 2,5 мм та радіусом заокруглення западини рівним радіусу заокруглення западини різьби.

Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 4.4. Слід відзначити, що при врахуванні критерію Гріфітса необхідно користуватись значенням граници витривалості суцільного зразка відповідного діаметра, яке визначали, користуючись емпіричною формулою [3]. Для розрахунку користувались табличними значеннями фізичних величин [46], де $\gamma_s = 3959 \text{ кДж/м}^2$, $E = 216 \cdot 10^9 \text{ Па}$, $U_0 = 277 \text{ кДж/кг}$, $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, $\beta = 0,9$, а значення α_k і W_k визначаються за відомими формулами [3].

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що коефіцієнт втрати поверхневої енергії k для натурних зразків замкових різьбових з'єднань, починаючи з зовнішнього діаметра $D=80$ мм, є величина стала і знаходиться в межах 43÷45. Різниця значень коефіцієнта k відповідає похибці експерименту.

Як видно з рис. 4.4, похибка в визначенні граници витривалості замкових різьбових з'єднань ЗН-80 одержаних на основі теоретичних та експериментальних досліджень не перевищує 10%.

Таким чином, приходимо до висновку, що розрахунки елементів конструкцій на опір втомі можна побудувати на засадах балансу питомої енергії

(4.4), кількість якої визначається експериментально на підставі побудови діаграми за методикою Веллера.

Оскільки запропонована методика базується на балансі питомих величин різних форм енергії, то очевидно, що експериментальні результати, які одержані на стандартному зразку відомої маси матеріалу можуть бути перераховані на одиницю маси реального елемента конструкції.

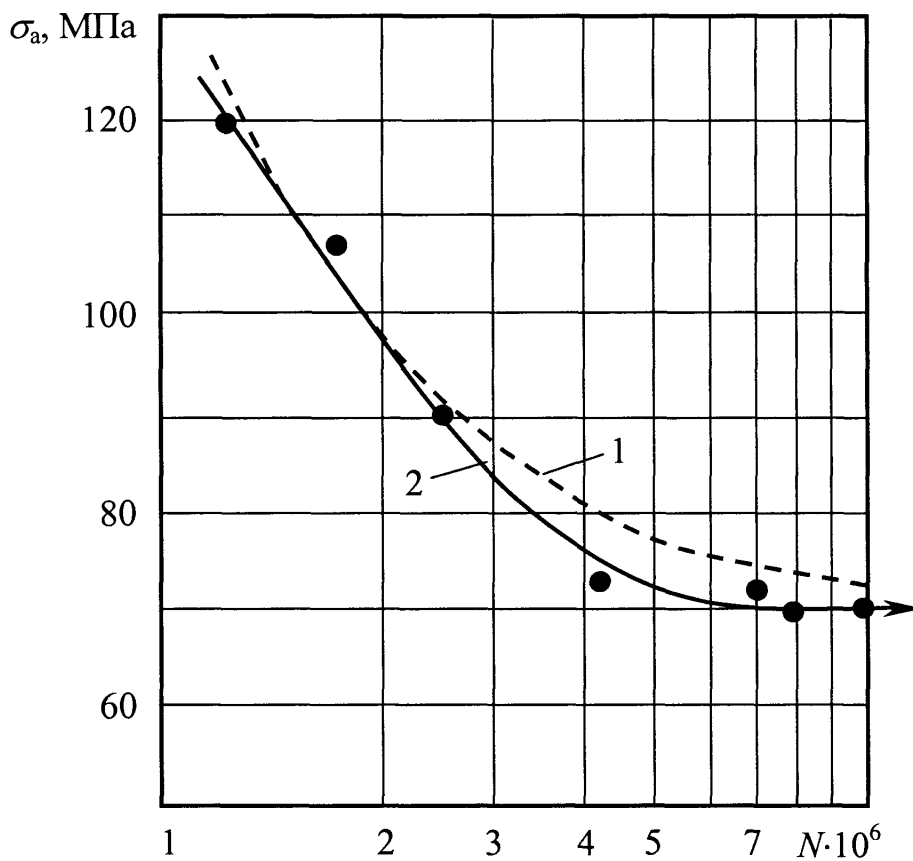


Рис. 4.4. Криві втоми замкових різьбових з'єднань ЗН-80 з різьбою З-62:

1 - теоретична;

2 - експериментальна.

4.2. Розробка обважнених бурильних труб з приварними різьбовими кінцями

4.2.1. Умови експлуатації обважнених бурильних труб при роторному бурінні. Статистичний аналіз аварій, які відбуваються з бурильною колоною в процесі буріння свердловин роторним способом, показав, що підвищення ефективності проведення бурових робіт та покращення техніко-економічних показників неможливе без розробки високоміцних конструкцій бурильних та обважнених бурильних труб.

Згідно ГОСТ 4543-71 обважені бурильні труби повинні виготовлятися з сталі марки 38ХНЗМФА з відповідними механічними властивостями: $\sigma_{0,2}=736$ МПа, $\psi =10\%$, $a_n=0,6$ МПа, твердість 285...341 НВ. При відсутності такої сталі дозволяється виготовляти ОБТ із сталі марки 40ХН2МА або інших марок сталі при умові, що після термообробки вони володіють такими механічними властивостями: $\sigma_{0,2}=637$ МПа, $\psi =10\%$, $a_n=0,5$ МПа, твердість не нижча 255 НВ.

До 1990 року основним постачальником обважнених бурильних труб був Дрогобицький експериментально-механічний завод спеціального обладнання (ДЕМЗСО), який виготовляв збалансовані ОБТ довжиною 5,6-6,1 м із сталі 40ХН2МА або 40ХН. В Україні виготовляються також гарячекатані ОБТ із сталі марки Д довжиною 6,9 та 12 м.

На перший погляд гарячекатані ОБТ мають переваги перед збалансованими ОБТ, тому що мають більшу довжину, що впливає на прискорення спуско-підймальних операцій та скорочує кількість замкових різьбових з'єднань у бурильній колоні. Проте, як показав аналіз роботоздатності ОБТ та ОБТЗ, ресурс гарячекатаних ОБТ значно нижчий, ніж збалансованих ОБТ [3]. Так, наприклад, на нафтових підприємствах ВАТ "Укрнафта" при бурінні свердловин роторним способом перенарізка різьб гарячекатаних ОБТ проводиться через кожні 400 годин роботи, а ОБТЗ – через 2500 годин. 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. Дослідження термооброблених кінців ОБТЗ діаметром 178, 203 та 229 мм виявили, що при твердості на зовнішній поверхні 325...330 НВ, твердість у середній частині перерізу труби становить 165...170 НВ, що суттєво впливає на зносостійкість замкових різьбових з'єднань.

Оскільки, ОБТЗ виготовляються в основному довжиною менше 6 м, то вже після декількох перенарізок довжина труби стає меншою 5 метрів і труби списуються в металобрухт. З метою збереження дефіцитних труб, підвищення їх ресурсу та експлуатаційних характеристик, покращення техніко-економічних показників буріння свердловин нами удосконалена зварна конструкція обважнених збалансованих бурильних труб (ОБТЗЗ), довжиною 9...12 м, яка раніше була запропонована авторами [76]. Якщо взяти до уваги, що середня частина ОБТ використовується лише для створення навантаження на породоруйнівний інструмент, то з метою економії дефіцитної легованої сталі запропоновано середню частину ОБТЗЗ виготовляти з вуглецевої сталі, а приварні кінці труб, на яких нарізається різьба, з легованої сталі. Така конструкція ОБТЗЗ дозволяє проводити об'ємну термообробку різьбових кінців, що дає можливість значно підвищити якість сталі, а збільшення довжини ОБТ сприяє збільшенню їх роботоздатності в 2-3 рази.

Схема зварної конструкції збалансованої обважненої бурильної труби приведена на рис. 4.5 [77].

Експлуатаційні характеристики ОБТЗЗ в основному залежать від опору втомі замкових різьбових з'єднань. Тому великий практичний інтерес мають дослідження, що пов'язані з вибором способу виготовлення труб та визначення оптимальних режимів зварювання, які б забезпечили максимальну міцність зварних швів та високу експлуатаційну надійність зварних конструкцій ОБТ.

4.2.2. Розробка елементів конструкції та технології. Дослідженням впливу конструктивних та технологічних факторів на експлуатаційні характеристики обважнених бурильних труб присвячена велика кількість робіт [1, 3, 7, 16, 23, 36, 39, 78, 79, 80, 81].

Аналіз результатів досліджень показав, що, практично, всі замкові різьбові з'єднання ОБТ не є рівномісними, а тому в одних конструкціях ОБТ руйнування відбуваються по першому спряженому витку різьби ніпеля, а в інших – по останньому спряженому витку різьби муфти. Причому, границя витривалості замкових різьбових з'єднань ОБТ досить низька і, в середньому, становить 50-40 МПа, що в 5-6 раз нижче, від границі витривалості суцільного тіла труби [15, 24]. Дослідники [3, 16] встановили, що за рахунок конструктивних та технологічних вдосконалень границю витривалості ЗРЗ обважнених бурильних труб можна підвищити на 150%.

У процесі буріння свердловин роторним способом на ОБТ діють значні статичні та динамічні навантаження, які призводять до нагромадження втомних тріщин як у різьбових так і в зварних з'єднаннях. Оскільки різьбові з'єднання ОБТ через певний період експлуатації перенарізаються, а зварні з'єднання залишаються, то, з метою збільшення ресурсу ОБТ та підвищення їх експлуатаційних характеристик, необхідно, щоб границя витривалості зварних з'єднань у 3-4 рази перевищувала границю витривалості ЗРЗ.

Оскільки, основною причиною аварій з бурильною колоною є корозійно-втомне руйнування різьбових з'єднань, то підвищення роботоздатності бурильної колони можливе за рахунок створення зварних конструкцій бурильних і обважнених бурильних труб. Використання труб довжиною 9-12 м при збиранні свічок забезпечить зменшення кількості різьбових з'єднань на 30%.

Останнім часом широке практичне впровадження одержали бурильні труби з приварними замками. На нафтових підприємствах ВО "Печеранефть" приварка замків до бурильних труб здійснювалась електродуговим способом безпосередньо на нафтопромислах без термообробки зварних швів. Експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків бурильних труб із приварними кінцями, показали, що границя витривалості зварних з'єднань невисока і становить 42 МПа, тобто рівна границі витривалості різьбового з'єднання З-147 зі збігом різьби.

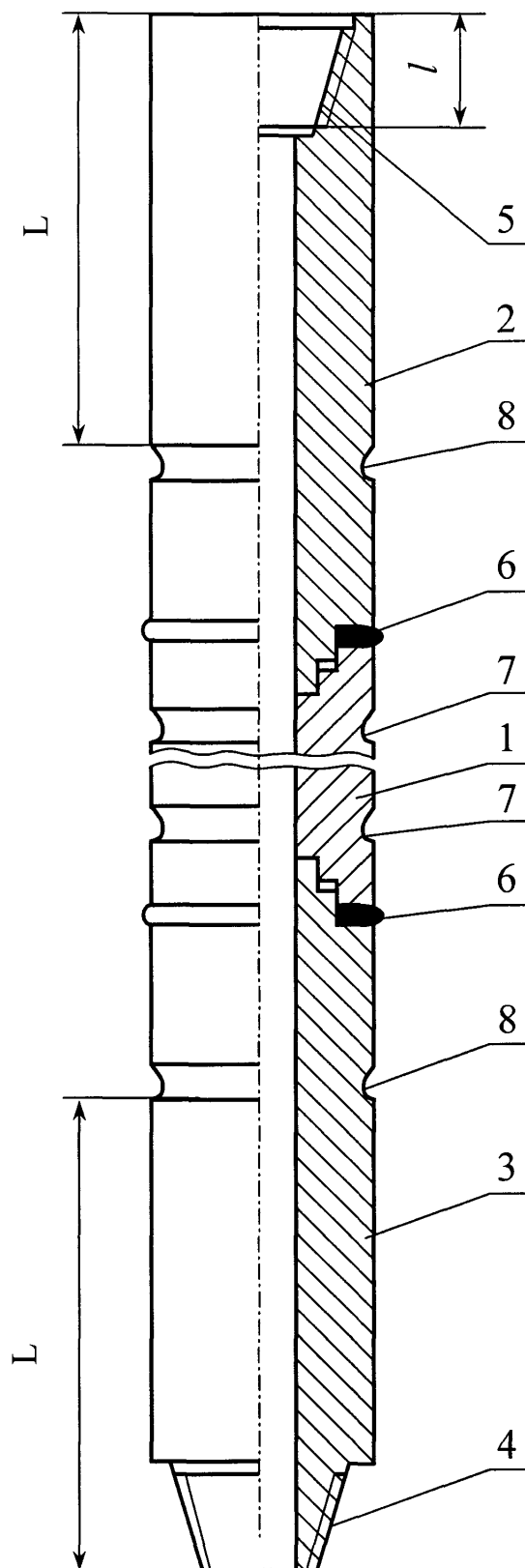


Рис. 4.5. Конструкція зварних обважнених бурових труб:

1 – середня частина; 2, 3 – приварні кінці; 4 – ніпель;

5 – муфта; 6 – зварні шви; 7, 8 – розвантажувальні канавки.

Широке використання зварних конструкцій призвело до розвитку багатьох способів зварювання [82,83,84]. Найбільшого впровадження одержали такі способи: газове зварювання, напіваавтоматичне і автоматичне дугове зварювання, зварювання дугою, що обертається в магнітному полі, контактнo-стикове, ультразвукове та лазерне.

Під час вибору способу зварювання труб необхідно оцінити наступні фактори:

- оцінка зварного шва по механічно-технологічній якості;
- зміцнення шва;
- обробка зварного шва;
- час зварювання;
- розхід додаткового матеріалу;
- розхід матеріалу під час даного способу;
- розхід енергії;
- вартість агрегатів та пристроїв.

Літературний огляд робіт, присвячених створенню тонкостінних зварних конструкцій із однорідних матеріалів показав, що рекомендації з підвищення їх міцнісних властивостей базуються на аналізі механічних властивостей і опору лише до статичних навантажень [85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93].

Оскільки, обважені бурильні труби є товстостінними і зазнають значних динамічних навантажень, то для вибору способів і технології їх виготовлення необхідно провести цілий комплекс досліджень.

Для розробки зварних конструкцій ОБТ із різнорідних сталей та вибору оптимальної технології виготовлення способом електродугового зварювання, нами створено спеціальні установки в лабораторії ІФДТУНГ та ДЕМЗСО (рис.4.6).

Дослідниками встановлено, що міцність зварних з'єднань суттєво залежить від конфігурації зварного шва, температури підігріву та термовідпуску, швидкості подачі дроту, величини струму і напруги, впливу середовища та інших чинників.

Сказане спонукало нас провести комплексні експерименти. Для визначення оптимальної конфігурації зварного шва на зразках діаметром 73 мм і 146 мм скіс упорних торців міняли від 10° до 45° . Якість та структуру зварних з'єднань визначали на спеціально виготовлених шліфах. Аналіз результатів досліджень показав, що найбільш оптимальна величина кута - $22...25^\circ$, при якому найкраще відбувається проплавлення торців сталі та досягається однорідність зварних швів.

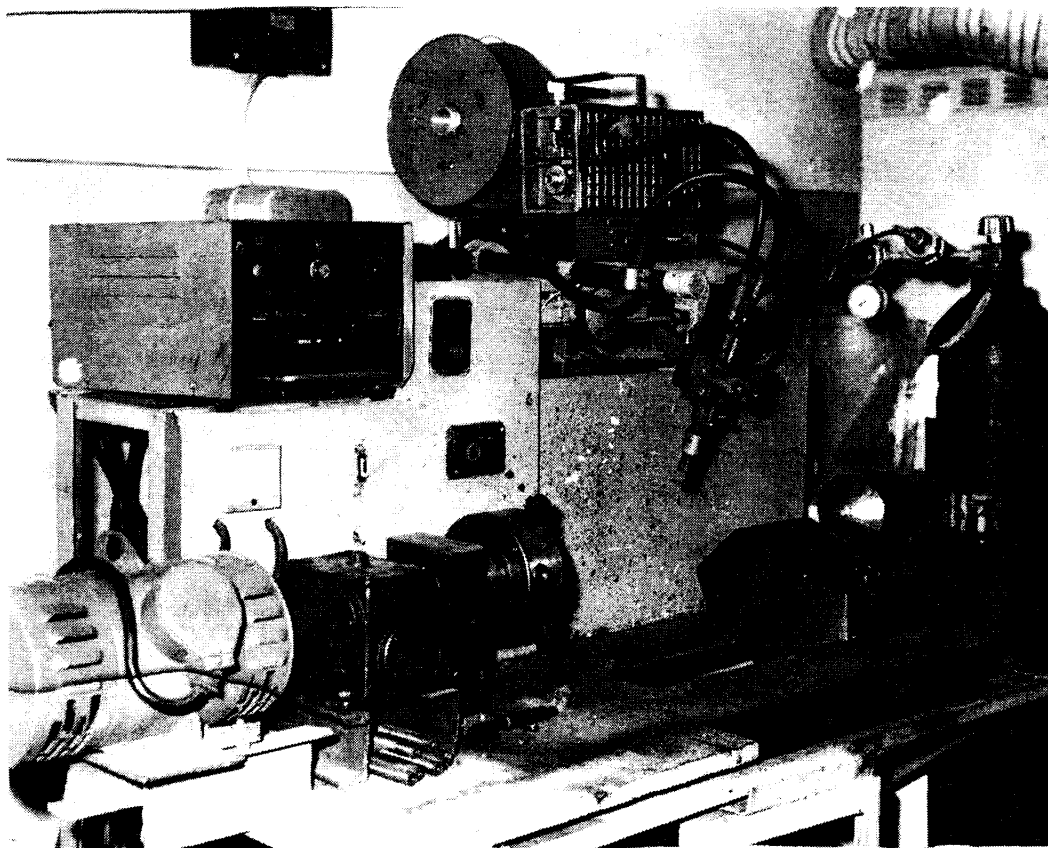


Рис. 4.6. Загальний вигляд установки для електродугової зварки під флюсом і в середовищі захисного газу.

Натурні зразки зварних з'єднань ОБТ із вуглецевої (сталь марки 45) і легованої сталі (36Г2С, 40ХН2МА) діаметром 73 мм виготовляли при таких

значеннях оптимальних режимів: попередній індукційний підігрів до температури 240...280°C, зварювальний струм - $I=280$ А, напруга дуги - $U=26$ В, температура відпуску - 650°C. При зварюванні з'єднань під флюсом використовували флюс марки АІ-348АМ та АІ-347 і електродний дріт діаметром 2,0 і 2,5 мм марок С_в-08ГА і С_в-08Г2С. Швидкість обертання зразка була 1,0...1,5 об/хв при діаметрі дроту 2,0 мм, а швидкість подачі електродного дроту - 110...130 м/год. Окрім зварювання під флюсом, була виготовлена партія зразків діаметром 73 мм із сталі марки 45 і 40ХН2МА електродуговим зварюванням в захисному газовому середовищі (суміш вуглекислого газу і аргону – 85% CO₂ і 15% Ar).

Зразки, діаметром 146 і 178 мм із сталі марки 45 та 40ХН2МА, виготовлялися на стенді в ДЕМЗСО. Швидкість обертання труби - 1 об/хв, зварювальний струм - $I=210$ А, напруга дуги - $U=30$ В, попередній підігрів - 250°C, температура відпуску - 650°C.

Для визначення міцнісних характеристик зварних з'єднань, проведені експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків зварних ОБТ. Зразки діаметром 73 мм досліджувалися на стенді УП-100, а діаметрами 146 і 178 мм - на стенді УП-200.

Результати експериментальних досліджень приведені на рис. 4.7. З рис. 4.7. видно, що умовна границя витривалості суцільного тіла труби діаметром 73 мм із сталі марки 36Г2С становить 195 МПа, а умовна границя витривалості зварних з'єднань із сталі 45 та 36Г2С такого ж діаметра, виготовлених електродуговим способом під флюсом, складає 120 МПа, що значно нижче, ніж суцільного тіла труби. Це пояснюється неоднорідністю зварного шва та наявністю чужорідних включень, які є локальними концентраторами напружень. Досліджувався також вплив попереднього підігріву та термовідпуску на границю витривалості зварних з'єднань, виготовлених в захисному середовищі. Результати досліджень приведені графічно на рис. 4.8. З цього рисунка видно, що границя витривалості натурних зразків без попереднього підігріву та термовідпуску становить 108 МПа, а з підігрівом ($T=250^\circ\text{C}$) і термовідпуском ($T=650^\circ\text{C}$) – 120 МПа.

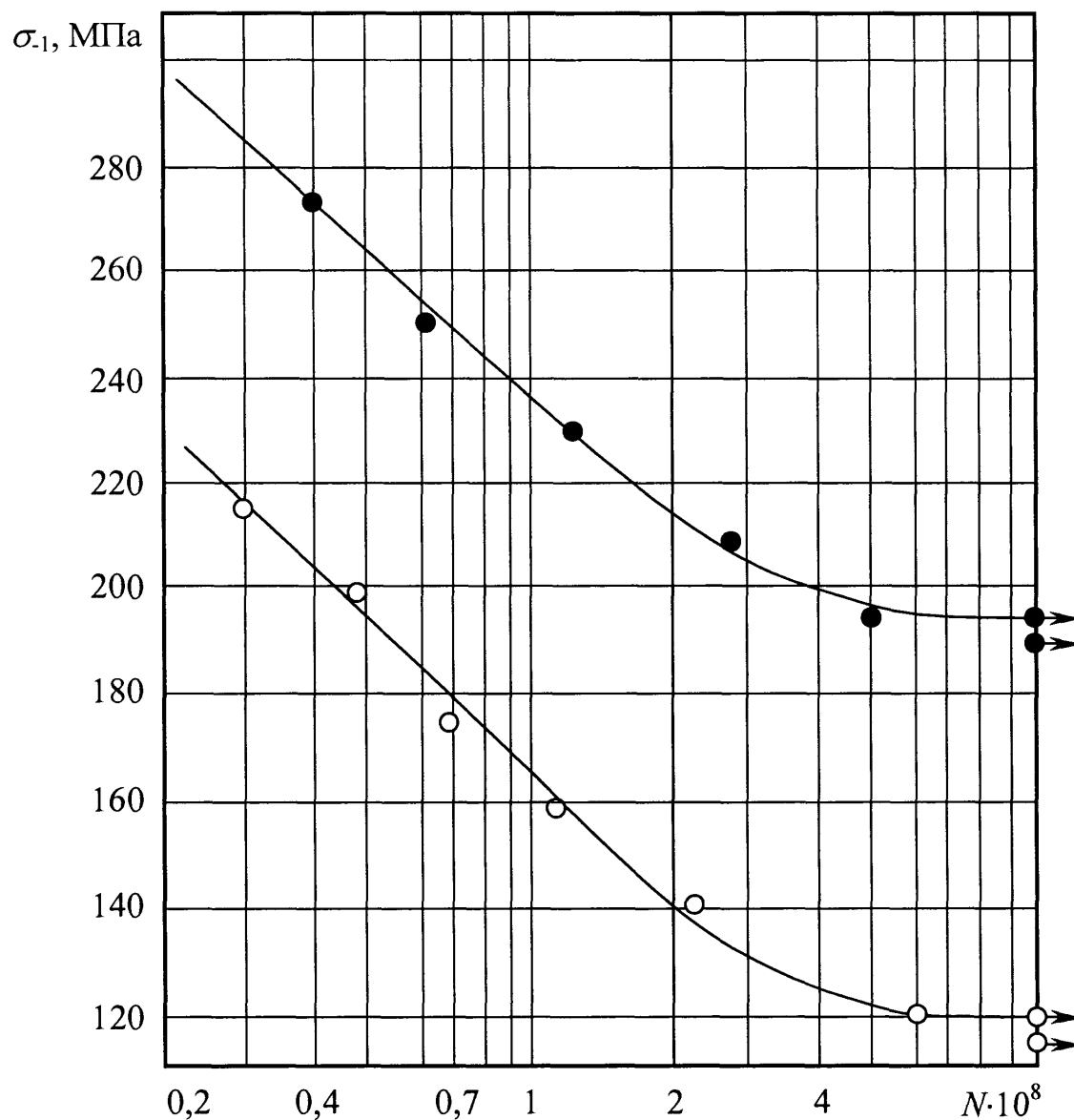


Рис.4.7. Криві втоми зразків діаметром 73 мм:

● - суцільне тіло труби із сталі 36Г2С;

○ - зварні зразки із сталі 45×36Г2С.

Підвищення границі витривалості можна пояснити зниженням нерівномірності розподілу температури за рахунок попереднього підігріву, що

впливає на зменшення напружень і деформацій. Під час високого відпуску ($T=600-650^{\circ}\text{C}$) границя текучості матеріалу сильно знижується і матеріал не здатний опиратися пластичним деформаціям, завдяки чому зникають внутрішні напруження.

Окрім електродугового способу зварювання проводились дослідження над ОБТ, виготовленими контактним-стиком способом. Дослідження проводились спільно з ІЕЗ ім. Е.О.Патона. Для визначення оптимальної технології та режимів контактним-стиком зварювання були виготовлені натурні зразки ОБТ діаметрами 73 і 146 мм із сталі 45, 40ХН2МА та 36Г2С з такими ж механічними властивостями, як і при електродуговому способі [94].

Виготовлення натурних зразків ОБТ діаметром 73 мм із сталі марки 45 і 36Г2С проводили на установці К-749, яка створює пресовий тиск порядку 70 МПа. Час зварювання одного зразка становив 60 с.

Зварні конструкції ОБТ-146 із сталі марки 45 і 40ХН2МА виготовляли на установці К-190. Під час зварювання труб діаметром 146 мм створювали пресовий тиск 43 МПа. Час зварювання одного зразка – 180 с. Нормалізація зразків обох типорозмірів проводилась в індукційній печі при температурі 850°C протягом 1800 с. Під час контактним-стиком способом зварювання на зовнішній і внутрішній поверхнях труби утворюється грат, для зняття якого використовувався спеціальний пристрій.

Нормалізація натурних зразків зварних ОБТ діаметром 146 мм проводилась за допомогою індукційного нагрівника, джерелом живлення якого був генератор із частотою 2500 Гц, а зразків діаметром 73 мм – в електричній камері. Вимірювання температури проводили за допомогою хром-алюмінієвих термопар, які зачеканювались в точках вимірювання. Металографічний аналіз зварних стиків проводили на мікроскопі ММР-2.

Для визначення якості зварних з'єднань, проводили дослідження на статичний розтяг та ударну в'язкість. Дослідження проводили на зразках виготовлених згідно ГОСТ 6996-80.

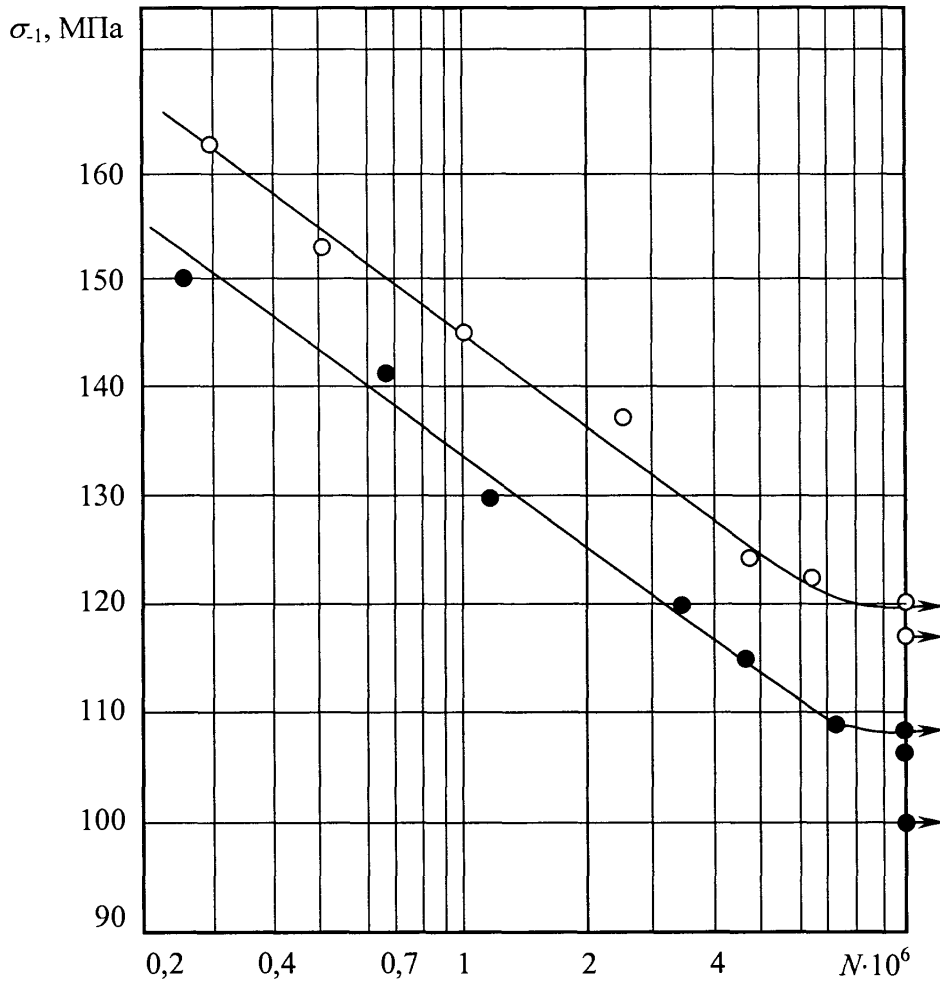


Рис. 4.8. Криві втоми зварних зразків, виготовлених у захисному середовищі:

- - без підігріву та термообробки;
- - з попереднім підігрівом та термообробкою.

Оптимальні режими виготовлення зварних конструкцій обважнених бурильних труб контактним-стиком способом наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Режими виготовлення ОБТЗЗ контактним-стиком способом зварювання

D , мм	U_1 , В	$V_{п.с.}$, мм/с	$V_{ос.}$, мм/с	$\Delta_{опл.}$, мм	$\tilde{\Delta}_{ос.}$, мм	$p_{ос.}$, МПа	$N_{ос.}$, кН	$j_{опл.}$, А/мм ²	$\tau_{зв.}$, с
73	380	0,30÷,35	45	21	8	75	240	4,19÷4,5	50...70
146	270	0,07÷0,15	60	21	14	43,4	512	1,52÷1,95	200...300

де $V_{н.с.}$ – швидкість переміщення рухомої плити;

$V_{ос.}$ – швидкість осадки;

$\Delta_{онл}$ – припуск на осадку;

$\tau_{зв}$ – машинний час зварювання;

$N_{ос}$ – сила осадки;

$J_{онл}$ – густина струму оплавлення.

Результати досліджень зразків на розтяг та ударну в'язкість приведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Результати досліджень зварних з'єднань ОБТ

№ п/п	Розміри D , мм	Сталь	Тип з'єднання	σ_B , МПа	$a_{нз}$, Дж/см ²
1	73	45+36Г2С	Після зварювання	$\frac{672,2 \dots 679,1}{675,65}$	$\frac{7,5 \dots 10,0}{8,5}$
2	73	45+36Г2С	Після нормалізації	$\frac{647 \dots 651,4}{649,65}$	$\frac{51 \dots 57}{54,3}$
3	146	36Г2С+40ХН2МА	Після зварювання	$\frac{727,6 \dots 783,1}{757,67}$	$\frac{6,0 \dots 7,5}{7,0}$
4	146	36Г2С+40ХН2МА	Після нормалізації	$\frac{651,4 \dots 651,4}{651,4}$	$\frac{52 \dots 69}{62,7}$

Аналіз результатів досліджень показав, що міцність зварних з'єднань після зварювання більша ніж після нормалізації. При порівнянні з основним металом видно, що не термооброблені зварні з'єднання не уступають по міцності

основному металу. Проте ударна в'язкість зразків із надрізом по зоні з'єднання мала і в середньому становить $7...8,5$ Дж/см². Нормалізація призводить до незначного пониження міцності зварних з'єднань та майже в 9 разів до підвищення ударної в'язкості.

Під час проведення досліджень на статичний розрив, визначали міцність різних ділянок з врахуванням індукційного нагріву при нормалізації. Так, у зразках труб діаметром 146 мм, протяжність досліджуваних ділянок становила 200 мм при ширині зони нормалізації 120 мм.

З наведених даних випливає, що міцність зварних з'єднань у нормалізованому стані відповідає групі міцності Д.

Слід відмітити, що досліджувані зварні з'єднання в стані після зварювання мають відносно невисоку твердість, вона нижча допустимого значення при зварюванні високоміцних легованих сталей (325...340 НВ). Це пояснюється тим, що в процесі зварювання значний об'єм металу нагрівається до високої температури, а охолодження проходить з малими швидкостями, що гальмує утворення в зоні термічного впливу крихких складових структури.

Проведений комплекс досліджень дав можливість одержати якісні характеристики зварних з'єднань із різнорідних сталей, а для одержання кількісних характеристик необхідно провести їх дослідження на опір втомі при циклічному навантаженні.

Дослідження на опір втомі зварної конструкції ОБТ-146 показали, що умовна границя витривалості $\sigma_{-1}=120$ МПа (рис. 4.9). На цьому ж рисунку для порівняльної характеристики приведені криві втоми замкових різьбових з'єднань З-121 зі збігом різьби.

Для визначення впливу корозійного середовища на опір втомі зварних з'єднань із різнорідних сталей (45×40ХН2МА, 45×36Г2С), виготовлених контактним-стиком способом, досліджували натурні зразки діаметром 73 мм в

повітряному та корозійному середовищах. В якості корозійного середовища використовували 3% водний розчин NaCl. Результати досліджень приведені на рис. 4.10.

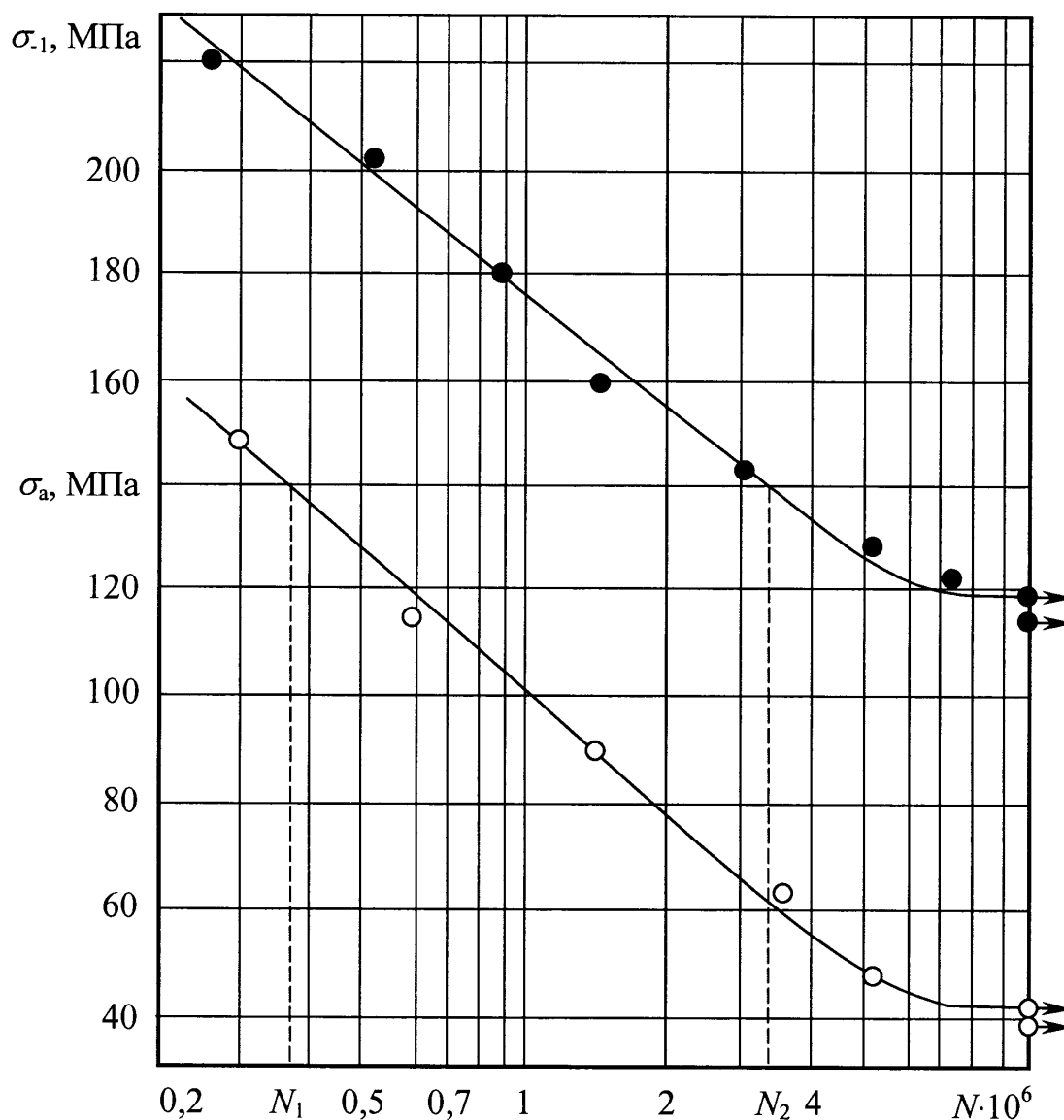


Рис. 4.9. Криві втоми замкового та зварного з'єднань ОБТ-146:

- - умовна границя витривалості зварного з'єднання;
- - границя витривалості замкового різьбового з'єднання з різьбою 3-121.

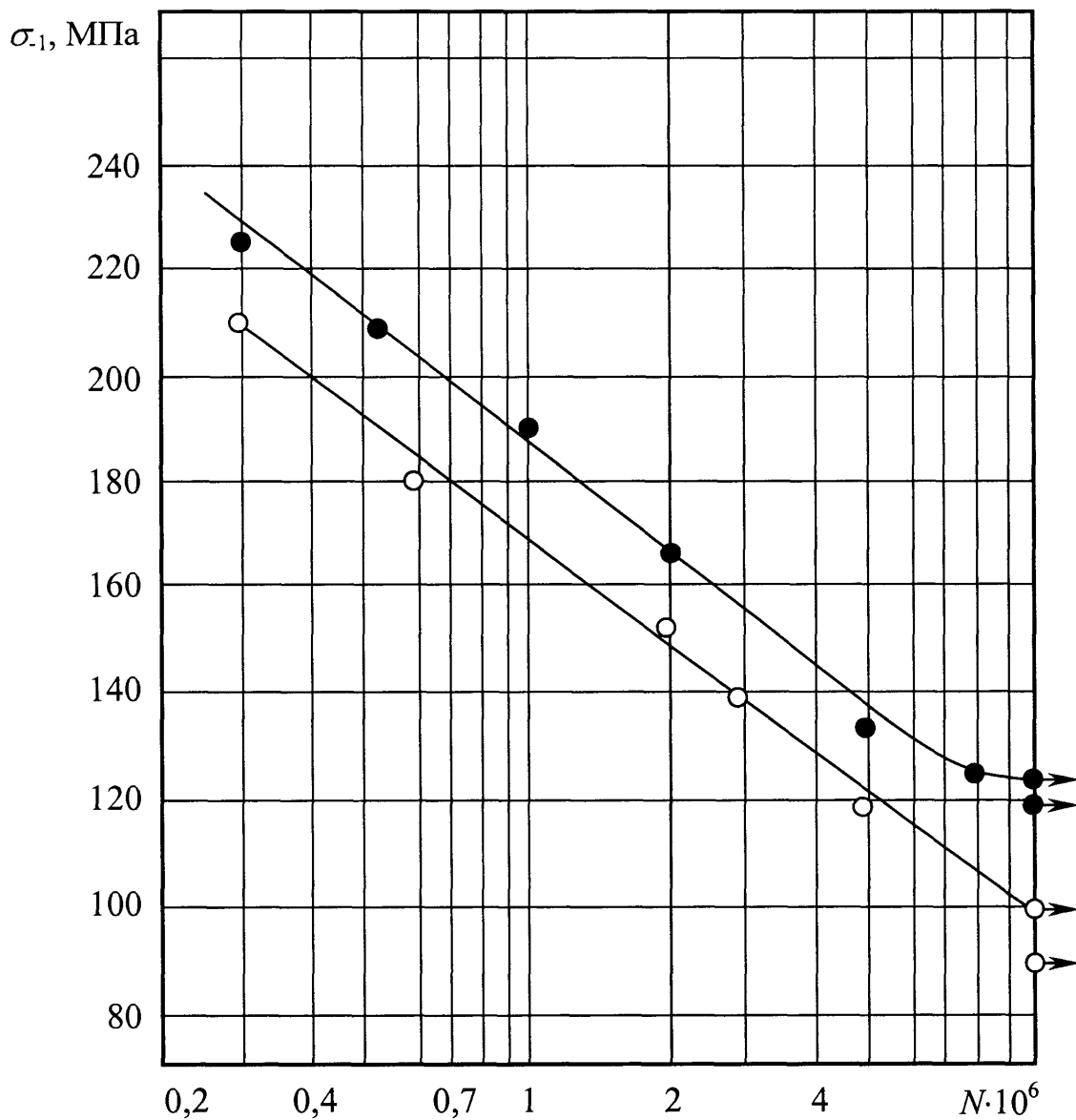


Рис. 4.10. Криві втоми зварних зразків діаметром 73 мм із сталі

марки 45×40ХН2МА, виготовлених контактнo-стикoвим способом:

● - дослідження в повітрі;

○ - дослідження в корозійному середовищі.

З рис. 4.10 бачимо, що умовна границя витривалості зварних з'єднань у повітрі становить 125 МПа, а в корозійному середовищі – 100 МПа. Тобто

корозійне середовище зменшує умовну границю витривалості зварних з'єднань приблизно на 20%.

Таким чином, границя витривалості зварних з'єднань майже в 3 рази перевищує границю витривалості ЗРЗ. Відповідно при експлуатації ОБТ зварні конструкції будуть тривалий час працювати при навантаженнях нижче границі витривалості. Дослідники [1, 3, 95] встановили, що при тренуванні натурних зразків замкових різьбових з'єднань їх границя витривалості підвищується на 45%. Це пояснюється припрацюванням різьби і перерозподілом напружень між різьбовими деталями.

Зварні з'єднання конструктивно відрізняються від замкових різьбових з'єднань і тому результати досліджень різьбових з'єднань не можна переносити на зварні конструкції [96].

Для визначення впливу тренування на границю витривалості зварних з'єднань досліджували на опір втомі дві серії натурних зразків діаметром 73 мм, виготовлених електродуговим способом у захисному середовищі із сталі 45×36Г2С та контактено-стиківим із сталі 45×40ХН2МА.

Спочатку задавали навантаження зразкам на 30% менше від границі витривалості зварного з'єднання і після 3...3,5 млн.циклів збільшували навантаження на 40...80% вище від границі витривалості. Результати експериментальних досліджень приведено на рис. 4.11 та 4.12.

З рис. 4.11, 4.12 видно, що тренування підвищує границю витривалості зварних з'єднань, виготовлених контактено-стиківим способом до 43%, а електродуговим – до 37%. Це пояснюється усуненням залишкових напружень у зварному шві та в зоні, яка прилягає до шва за рахунок дії змінних циклічних навантажень. Отже, в процесі буріння свердловин відбувається тренування зварних з'єднань ОБТ, що спричиняє підвищення умовної границі витривалості.

Результати досліджень необхідно враховувати під час прогнозування довговічності обважнених бурильних труб зварної конструкції.

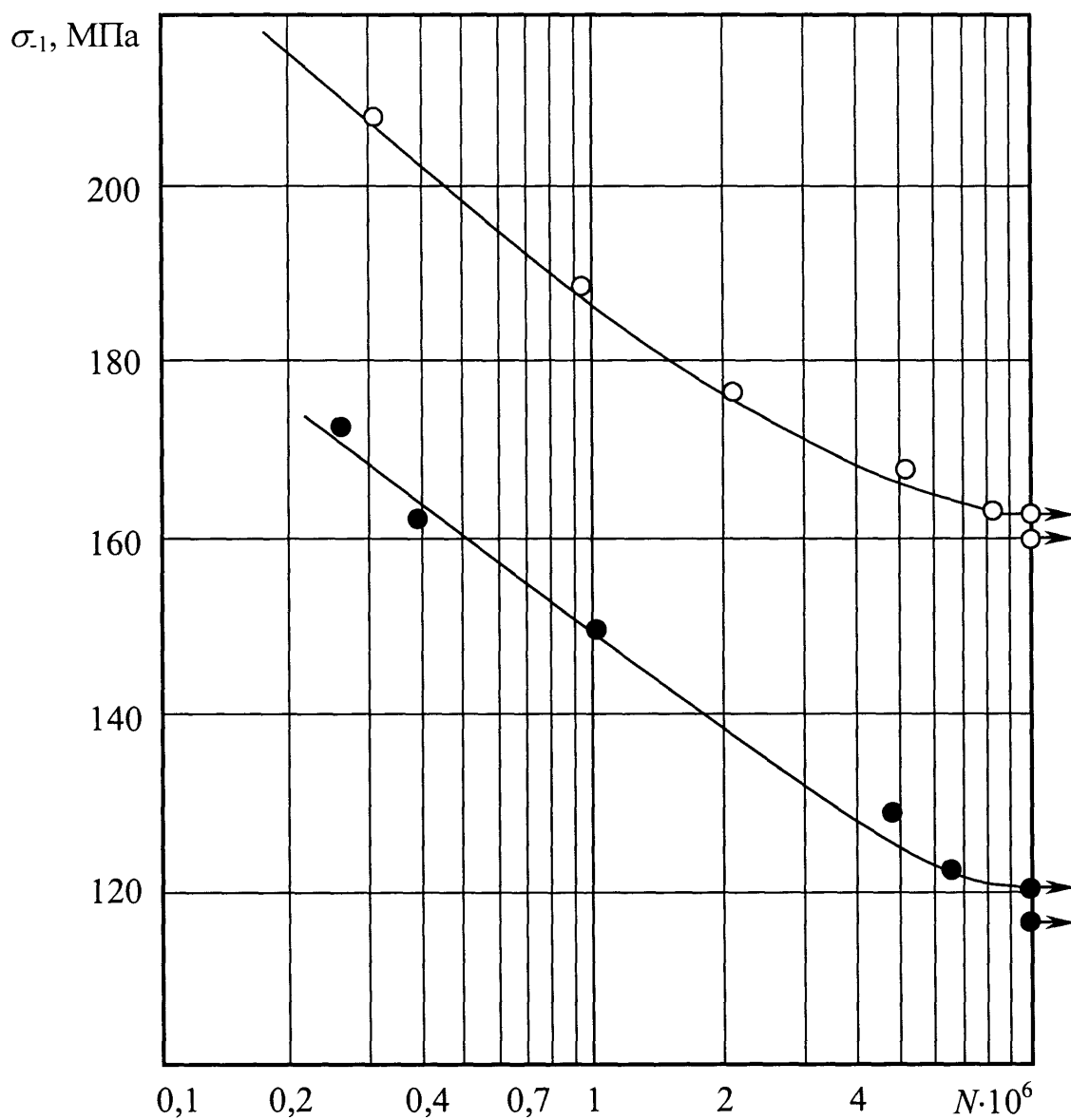


Рис. 4.11. Криві втоми зразків зварних з'єднань діаметром 73 мм із сталі 45×36Г2С виготовлених електро-дуговим способом у захисному середовищі:
 ● - без тренування;
 ○ - з тренуванням.

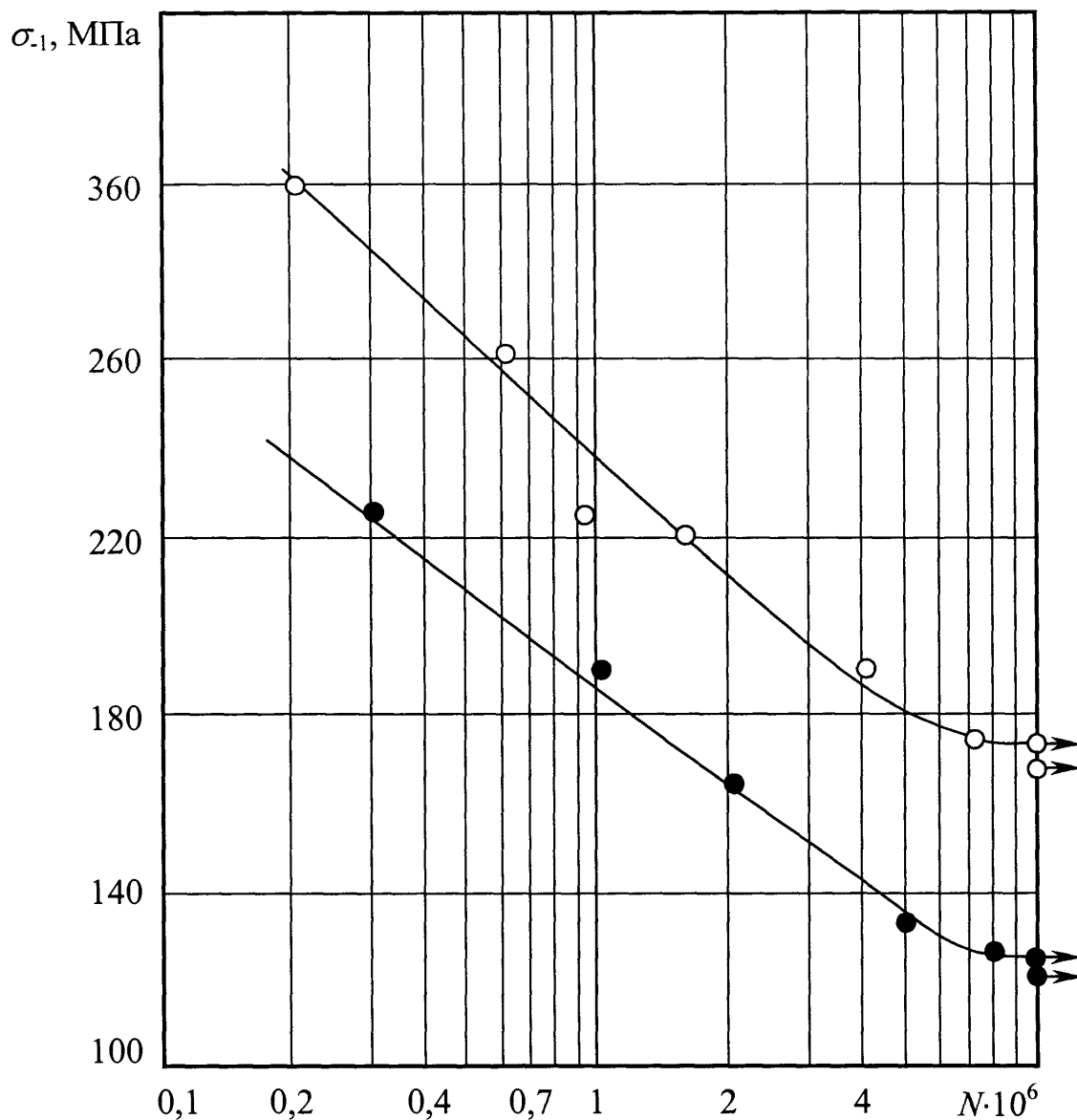


Рис. 4.12. Криві втоми зразків зварних з'єднань діаметром 73 мм

із сталі 45×40ХН2МА виготовлених контактнo-стикoвим способом:

● - без тренування

○ - з тренуванням.

4.2.3. Дослідження впливу розвантажувальних канавок на опір втомі зварних з'єднань обважнених бурильних труб. Обважені бурильні труби, що входять у компоновку низу бурильної колони, в процесі роботи зазнають значних динамічних навантажень, які спричиняють зароджування втомних тріщин як у різьбових, так і зварних з'єднаннях.

Автором [3] показано, що, за рахунок конструктивних змін з одночасним використанням високоефективних методів зміцнення, границю витривалості замкових різьбових з'єднань можна підвищити до 150%. Таким чином границя витривалості ЗРЗ в середньому буде становити 95-110 МПа, але ефективність зварних конструкцій досягається тоді, коли умовна границя витривалості зварних з'єднань перевищує границю витривалості ЗРЗ в 2-3 рази.

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 (рис.4.10).

При виготовленні зварних з'єднань по обидва боки зварного шва на відстані порядку 0,2...0,4 м виникають залишкові напруження внаслідок зміни структури матеріалу. У зв'язку з цим розвантажувальні канавки рекомендовано робити на відстані не меншій, ніж 0,4 м від зварного з'єднання.

При розрахунку раціональних параметрів розвантажувальних канавок зварних з'єднань ОБТ виходили з пропорційності відношення приросту границі витривалості зварних з'єднань до коефіцієнта відносної податливості конструкції $\Delta\sigma = f(\lambda)$ [3]. За коефіцієнт відносної податливості приймаємо відношення осьового моменту опору зварного з'єднання до осьового моменту опору канавки:

$$\lambda = \frac{W_{з.з.}}{W_k}. \quad (4.6)$$

Для визначення зовнішнього діаметра розвантажувальних канавок ОБТЗЗ запропонована емпірична формула

$$d_{кзз.} = \sqrt[4]{10,2 \cdot I + d_{вн}^4}, \quad (4.7)$$

де $d_{вн}$ – внутрішній діаметр ОБТ;

I – полярний момент інерції.

З метою визначення оптимальних значень величини коефіцієнта відносної податливості λ та відносного приросту границі витривалості зварних з'єднань ОБТ, проведено експериментальні дослідження на опір втомі натурних зразків ОБТЗЗ-80, виготовлених із сталі 45×40ХН2МА електродуговим способом у захисному середовищі.

На натурних зразках з обох боків зварного з'єднання виконувалися розвантажувальні канавки з різним числовим значенням коефіцієнта відносної податливості λ . Дослідження зразків ОБТЗЗ-80 проводились на стенді УП-100. Результати експериментальних досліджень приведено на рис. 4.13.

З рис. 4.13 видно, що збільшення коефіцієнта відносної податливості λ призводить до підвищення границі витривалості зварних з'єднань.

Якщо виходити з конструктивних особливостей ОБТЗЗ, а також з умови рівності граничних згинаючих моментів по суцільному тілу труби та зварному з'єднанні з розвантажувальними канавками, то бачимо, що раціональне значення величини коефіцієнта відносної податливості для всіх типорозмірів ОБТЗЗ перебуватиме в межах $\lambda = 1,58 \dots 1,6$. Оптимальне значення коефіцієнта відносної податливості забезпечує підвищення границі витривалості зварних з'єднань до 45%. Геометричні параметри зварних ОБТ наведено в таблиці 4.1.

Таким чином, границя витривалості зварних з'єднань за рахунок оптимальної технології виготовлення та раціональних конструкцій розвантажувальних канавок, наближається до границі витривалості суцільного тіла труби.

Лінійні розміри розвантажувальних канавок по обидва боки зварного з'єднання різні. Це пов'язано з тим, що розвантажувальна канавка, яка виконується з боку муфтової частини різьбового з'єднання, виконує роль розвантажувальної канавки та виточки під хомути.

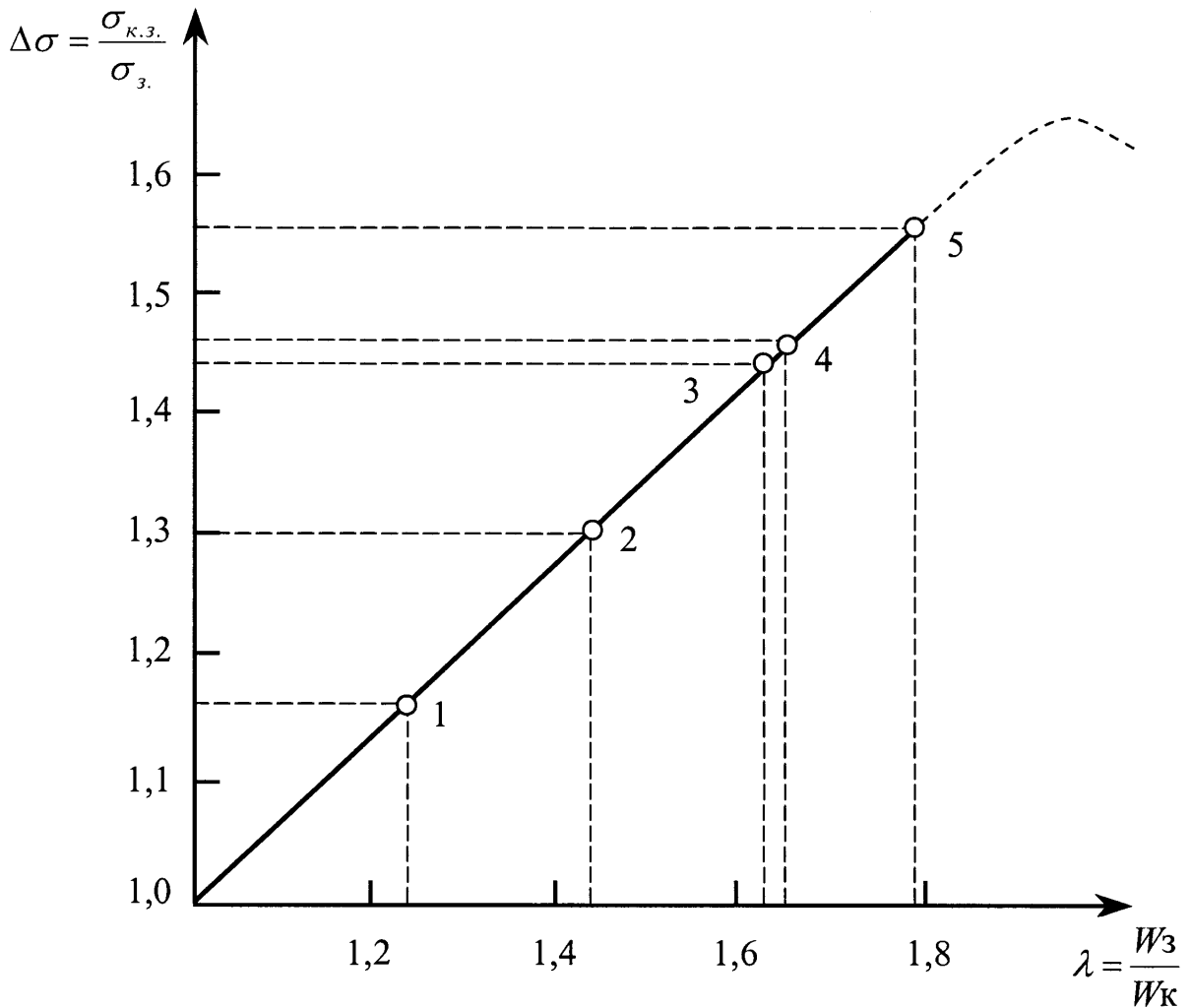


Рис. 4.13. Залежність границі витривалості зварного з'єднання від податливості тіла ОБТЗ.

Тому лінійні розміри розвантажувальної канавки зі сторони муфтової частини ОБТЗ повинні бути на 10–15% більші, ніж лінійні розміри хомутів.

Аналіз конструкції ОБТЗЗ із розвантажувальними канавками показав, що зменшення жорсткості, за рахунок РК, повинно впливати і на довговічність замкових різьбових з'єднань ОБТ.

Геометричні параметри зварних ОБТ

Позначення типорозміру ОБТЗЗ	Позначення замкової різьби	Зовнішній діаметр D , мм	Внутрішній діаметр d , мм	Пл.небезпеч.перерізу ніпеля на відстані 24мм від уступу, $F_{н\psi}$, см^2	Осьовий момент опору небезпечного перерізу		$\lambda = \frac{W_m}{W_k}$	d_k , мм
					ніпеля, $W_{н\psi}$, см^3	муфти, W_m , см^3		
ОБТЗЗ-120	3-101	120	64	30,8	50,3	135,1	1,59	105,0
ОБТЗЗ-133	3-108	133	64	43,3	46,8	176,7	1,58	117
ОБТЗЗ-146	3-121	146	68	55,6	110,3	240,6	1,58	130,0
ОБТЗЗ-178	3-147	178	80	80,4	219,4	398,6	1,57	160,0
ОБТЗЗ-203	3-161	203	80	127,3	306,5	620,7	1,56	178,0
ОБТЗЗ-229	3-171	229	90	144,5	361,2	948,6	1,58	230,0
ОБТЗЗ-254	3-201	254	100	147,7	604,0	1260,0	1,60	250,0
ОБТЗЗ-273	3-201	273	100	147,7	604,0	1672,9	1,60	249,0
ОБТЗЗ-299	3-201	299	100	147,7	604,0	2327,1	1,60	280,0

Втомні руйнування ЗРЗ відбуваються або по першому спряженому витку різьби ніпеля (на відстані 24 мм від упорного уступу) або по останньому спряженому витку різьби муфти (на відстані 10 мм від торця ніпеля). Для встановлення якісної картини в небезпечних перерізах ніпеля і муфти у спеціально профрезованих пазах різьбового з'єднання ОБТ-178 з різьбою З-147 наклеювали тензодатчики електричного опору і досліджували деформації, які виникають при дії згинаючого моменту згідно методики, приведеної у розділі 2.

Аналіз результатів досліджень показав, що розвантажувальні канавки, які зроблені з двох боків зварного з'єднання, призводять до зменшення напружень у впадині останнього спряженого витка різьби муфти на 28%, а у впадині першого спряженого витка різьби ніпеля на 17%. Слід відзначити, що зміна величини згинаючого моменту на зменшення напружень не впливає. Неоднакова зміна напружень у небезпечному перерізі ніпеля і муфти пояснюється тим, що замкові різьбові з'єднання згвинчуються зі значним крутним моментом, за рахунок чого підвищується монолітність різьбового з'єднання та відбувається перерозподіл напружень між ніпельною та муфтовою частинами з'єднання, а на небезпечний переріз муфти крутний момент згвинчування не впливає.

4.2.4. Дослідження обважнених бурильних труб із приварними кінцями на довговічність, на основі критеріїв механіки руйнування. Мікро- і макромеханізми руйнування тісно пов'язані між собою. Електронна фрактографія зломів дозволяє уточнити механізми руйнування, а також дає можливість робити висновки про енергоємність цього руйнування [96]. Тому, із зломів натурних зразків зварних з'єднань із сталі 45 і 40ХН2МА, виготовлених контактним та електродуговим способами, були виготовлені вуглецеві репліки і розглянуті в електронному мікроскопі УЕМ 100В при збільшенні в 15 тис. разів. Репліки знімалися з області зародження і початкового поширення тріщин, а також її середньої частини злому кожного зразка. Із зони долому реплік не знімали, тому що ця інформація має лише наукову, але не практичну цінність.

Порівнюючи зломи «а» і «б» початкової стадії поширення тріщини (рис. 4.14”а, б”), бачимо, що на утворення злому зразка, який виготовлений контактнo-стикoвим способом, треба витратити більше енергії.

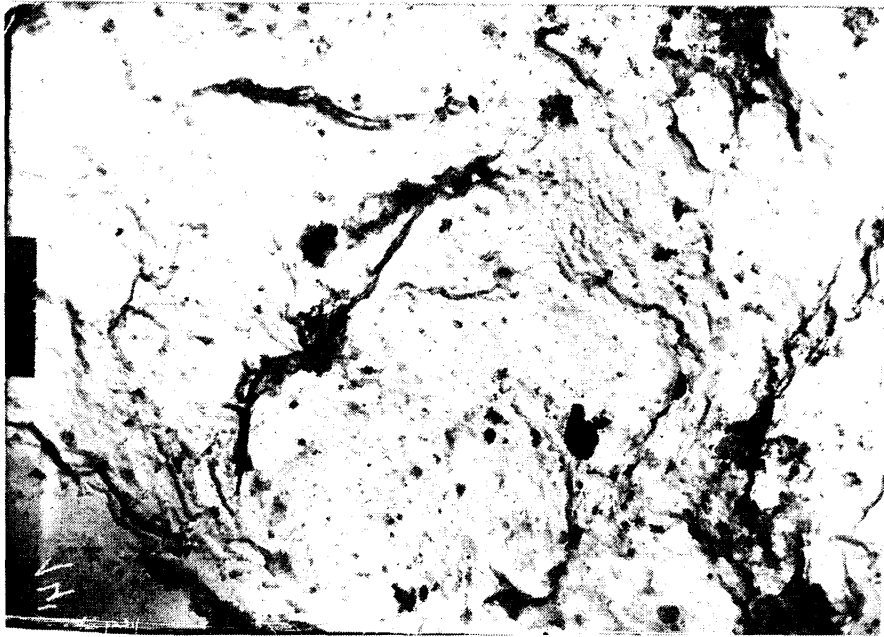
Поширення тріщин характерне частими зупинками, які поширюються по механізму квазісколу. Нерівномірність поширення тріщин, яка пояснюється відсутністю єдиного ефекту, перервністю та вигнутістю слідів втоми, хвилястим виглядом мікроповерхні злому, дозволяє стверджувати, що витривалість даного зварного з’єднання висока. Злом зразка, який виготовлений електродуговим способом, у початковій стадії поширення тріщин має значно більші відстані між зупинками тріщин, довжина фронту тріщин більша, поверхня між стрибками тріщин більш гладка, тобто утворена зломом. Це свідчить про те, що опір втоми в зразку “а” значно вищий, ніж у зразку “б”.

Для середньої частини зломів зразків 1 і 2 характерне розмивання слідів втоми (рис. 4.15”а, б”), квазіскол чергується з областями зсувного руйнування, місцями є невідповідні димпли.

Сходинки зупинки фронту тріщин мають більші розміри, ніж у початковій стадії, поверхня злому між сходинками хвиляста, більш виражена пластична дифертація злому.

З цього можна зробити висновок, що середня частина зразків має приблизно однаковий опір поширенню тріщин і різне число циклів до руйнування, обумовлене часом до зародження та початковою стадією поширення тріщин.

На підставі наведених даних можна зробити висновок, що контактнo-стикoвий спосіб виготовлення зварних ОБТ є більш ефективним, бо забезпечує вищу границю втоми зварних з’єднань, за рахунок збільшення зони пластичності у вершині поширення тріщин, що в свою чергу призводить до реалізації деформаційного зміцнення металу та підвищення опору поширенню тріщин.



а)



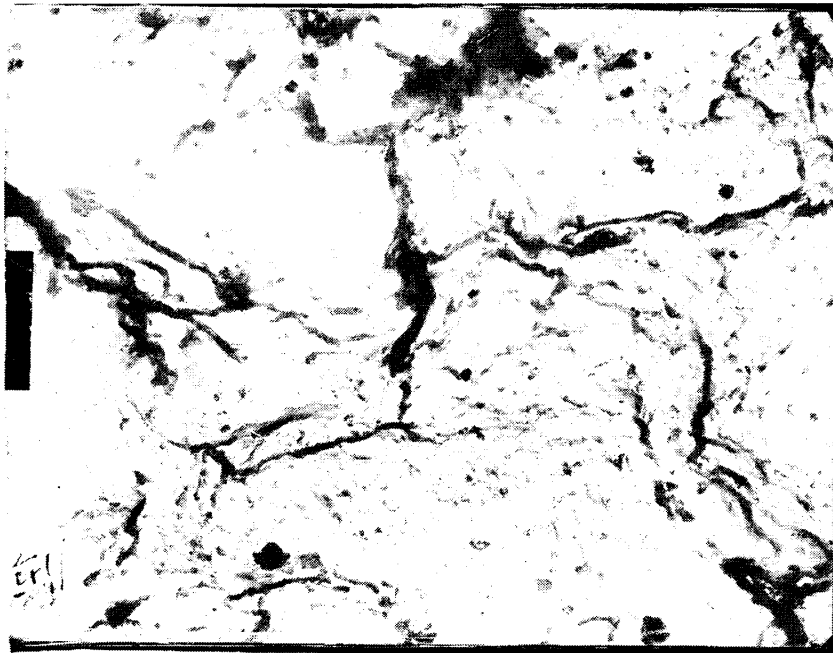
б)

Рис. 4.14. Фрактографії зломів зварних з'єднань із сталі 45×40ХН2МА

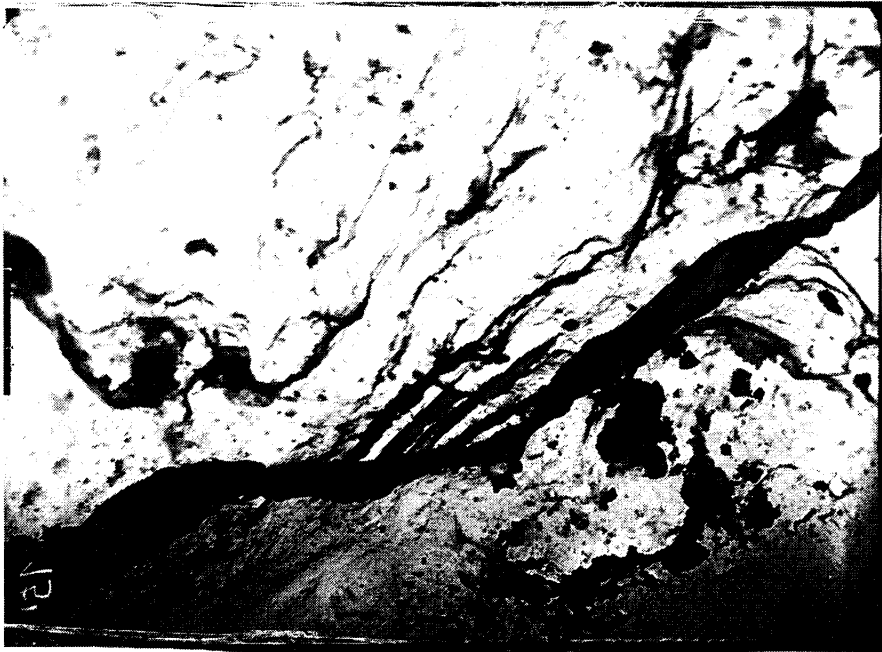
(початкова стадія):

а – виготовлених контактнo-стикoвим способом;

б – виготовлених електро-дугoвим способом;



a)



б)

Рис. 4.15. Фрактографії зломів зварних з'єднань із сталі 45×40ХН2МА
(середня стадія):

а – виготовлених контактнo-стикoвим способом;

б – виготовлених електро-дуговим способом;

Таким чином, уважний аналіз фрактограми зломів зварних з'єднань, виготовлених різними способами і при різних режимах, дає змогу визначити найбільш ефективний спосіб та оптимальну технологію виготовлення ОБТ.

Тепер вже накопичено великий обсяг експериментальних і теоретичних матеріалів про кінетику поверхневих тріщин у різних конструкційних сталях, проте відомостей про поширення подібних тріщин у зварних з'єднаннях дуже мало [97,98]. Досвід експлуатації зварних конструкцій свідчить, що у шві та біля нього впливає концентрація напружень, яка призводить до зародження тріщин. Ще більшої актуальності набуває ця проблема в корозійному середовищі, яке сприяє формуванню на розтягнутій поверхні робочої частини зразка мозаїки корозійно-втомних тріщин. Поведінка поверхневих тріщин при втомному руйнуванні товстостінних зварних конструкцій ОБТЗ, виготовлених із різнорідних сталей, потребує детального вивчення.

Кінетику поверхневих втомних тріщин досліджували у повітрі в натурних зварних стикових з'єднаннях із сталі 45×40ХН2МА діаметром 80 і 100 мм із К-подібною розробкою кромки для зварювання. Сегментний надріз наносили в перехідній зоні “зварний шов – основний метал”. Суцільні і зварні зразки досліджували на установці УП-100 під дією чистого згину за жорсткою схемою навантаження з частотою деформування 1,5 Гц. Деформацію вимірювали за допомогою тензодатчиків електричного опору, наклеєних у декількох місцях на зразках. Форму тріщини в процесі її поширення фіксували методом оцінок.

З'ясовано, що тріщина зароджується на дні надрізу і поширюється на всю її довжину і згодом виходить на поверхню зразка, неперервно збільшуючись по глибині. У монолітних зразках вздовж його краю виникало зразу декілька тріщин, а в зварних - кутова тріщина завжди виникала по лінії сплавлення.

Спостереження свідчать, що в зварних зразках довжина тріщини по поверхні, при певній її глибині більша, ніж у монолітних. Таким чином, залишкові термічні напруження так само, як і геометрична концентрація напружень, призводять до підвищення швидкості росту тріщин і ефективного

коефіцієнта концентрації напружень. Це пояснюється неоднаковими умовами кристалізації металу шва зразків різних розмірів.

Враховуючи, що дослідження натурних зразків зварних з'єднань можуть дати лише інтегральні характеристики міцнісних властивостей, то для дослідження причин відсутності кореляції між границею витривалості основного металу і навколо шовної зони, були виготовлені зразки із матеріалу труб і досліджені на опір втомі [100].

Зразки вирізали з тіла труб і зварних з'єднань, які досліджувались у стендових умовах для порівняння експериментальних результатів. Розміри зразків $3 \times 10 \times 100$ мм. На боковій поверхні зразків були утворені концентратори глибиною 0,1 мм.

Дослідження зразків проводили на пристрої, який дозволяє підтримувати заданий коефіцієнт інтенсивності напружень у вершині тріщини постійним при частоті навантаження 20 Гц. Експериментально визначали час (кількість тріщин) до зародження тріщин і швидкість її поширення в широких межах розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень, щоб одержати інформацію про швидкість росту тріщин у зварних з'єднаннях із різнорідних сталей від початкової стадії після її утворення і до кінцевої – руйнування.

На рис. 4.16 і 4.17 наведені діаграми втомного руйнування сталей марки 45 ($\sigma_{0,2} = 470$ МПа) і 40ХН2МА ($\sigma_{0,2} = 940$ МПа) при дослідженні у повітрі і в корозійному середовищі (3% водному розчині NaCl).

Для порівняння результатів на рис. 4.18 і 4.19 приведені діаграми втомного руйнування відповідних сталей у зоні термічного впливу зварного з'єднання ОБТ, досліджених у повітрі та корозійному середовищі.

З рис. 4.16, 4.17 і 4.18, 4.19 видно, що порогові значення коефіцієнта інтенсивності напружень досліджуваних сталей основного металу та в зоні зварного шва відрізняються на дуже малу величину (7...10%).

Для зони термічного впливу спостерігається стрибок швидкості росту тріщин від $(2 \div 2,5) \cdot 10^{-8}$ до $(1,5 \div 2) \cdot 10^{-7}$ м/цикл при збільшенні K_{max} від 6,5 до 8,0 МПа $\cdot\sqrt{m}$ відповідно, різниця між швидкостями росту тріщин у різних зонах

зварного з'єднання залежить від рівня найбільшого коефіцієнта інтенсивності напружень (рис. 4.20). При середніх значеннях K_{max} найвищим опором росту втомної тріщини володіє зона термічного впливу, а найнижчим – метал. У високоамплітудній області основний метал і зона термічного впливу значно вищі по тріщиностійкості, ніж метал шва.

Одержані результати досліджень дозволяють більш диференційовано підходити до оцінки придатності тієї чи іншої сталі для виготовлення обважнених бурильних труб зварних конструкцій та розрахунку конструкцій на довговічність.

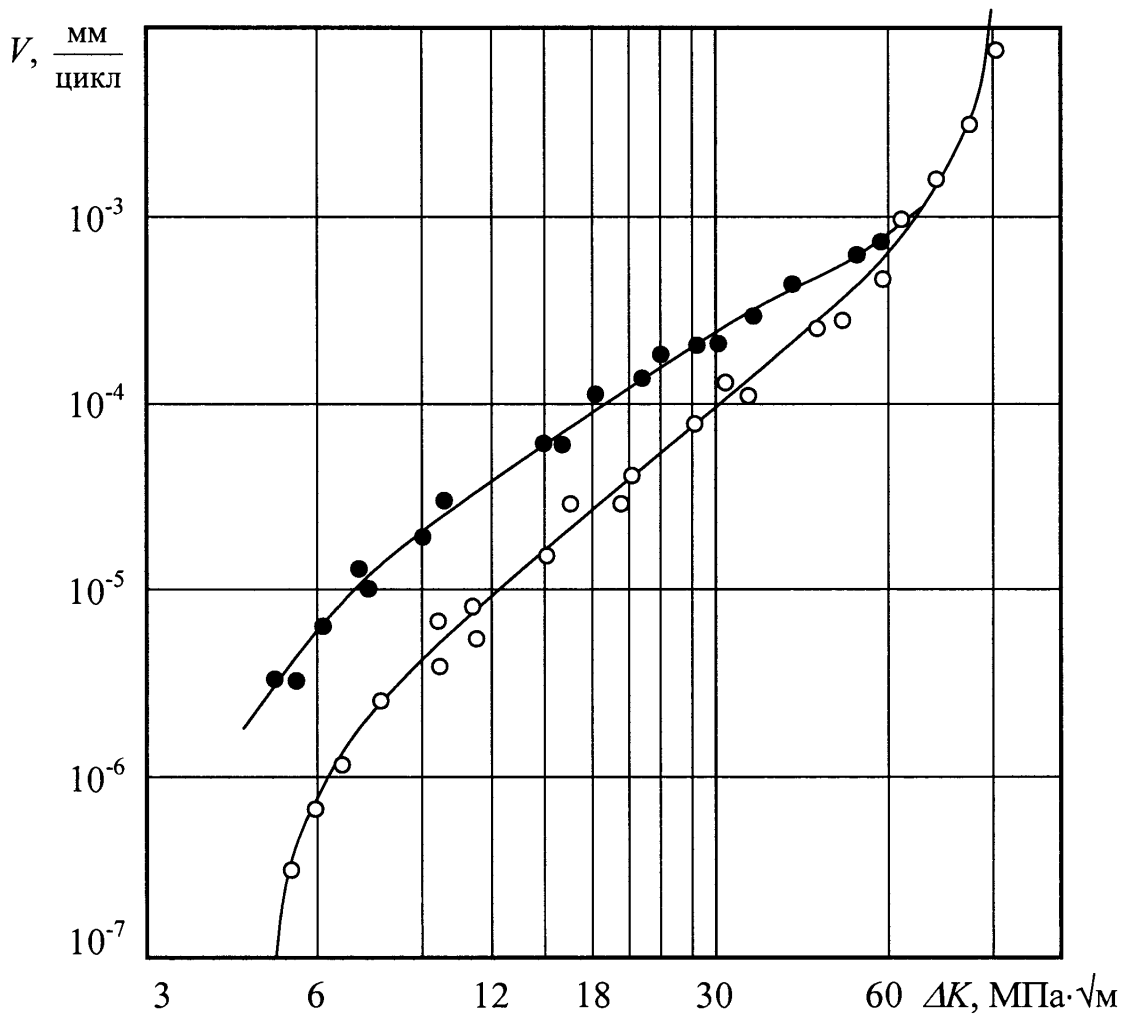


Рис. 4.16. Діаграма втомного руйнування (сталь 45, $\sigma_{0,2}=470$ МПа):

○ - у повітрі;

● - у 3% водному розчині NaCl;

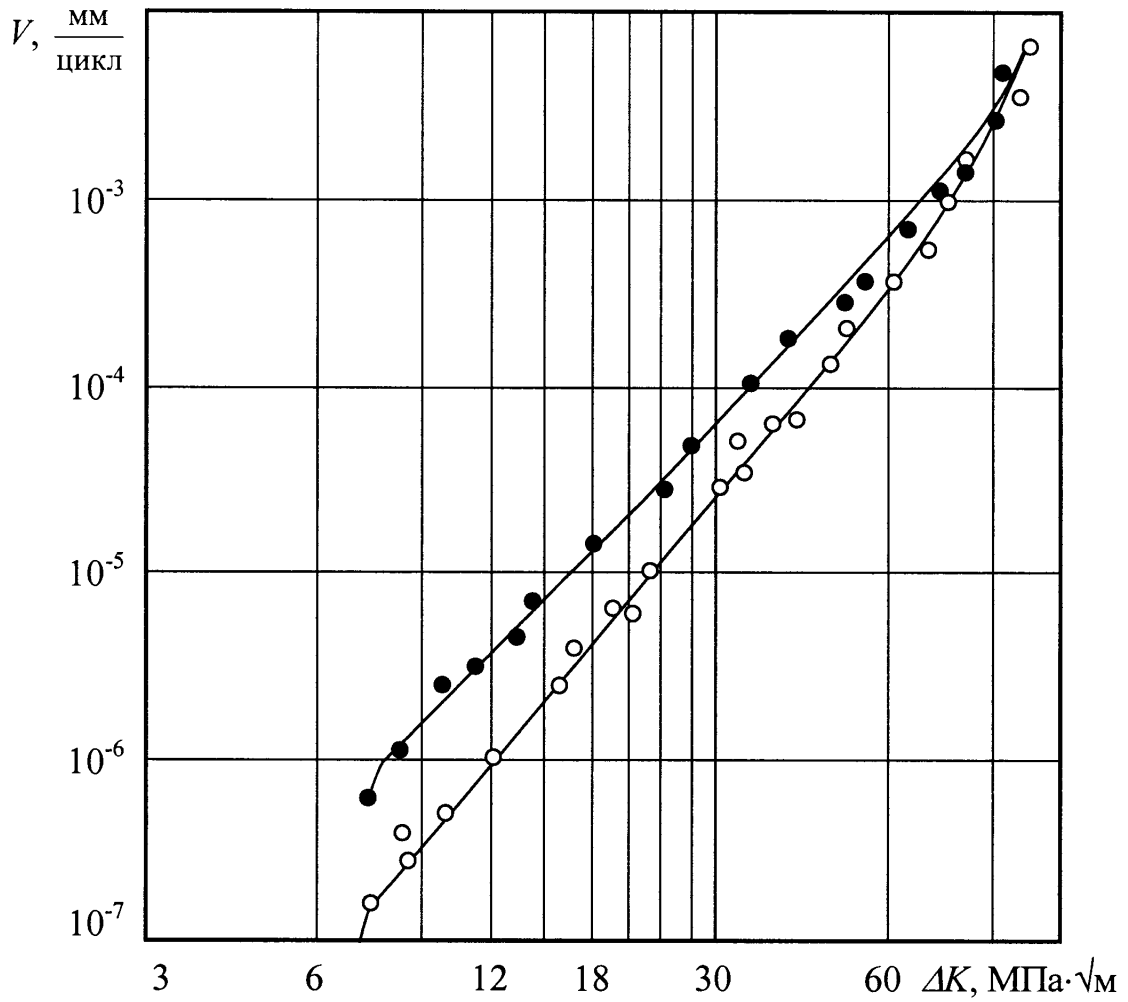


Рис.4.17. Діаграма втомного руйнування (сталь 40XН2МА, $\sigma_{0,2}=940$ МПа):

○ - у повітрі;

● - у 3% водному розчині NaCl;

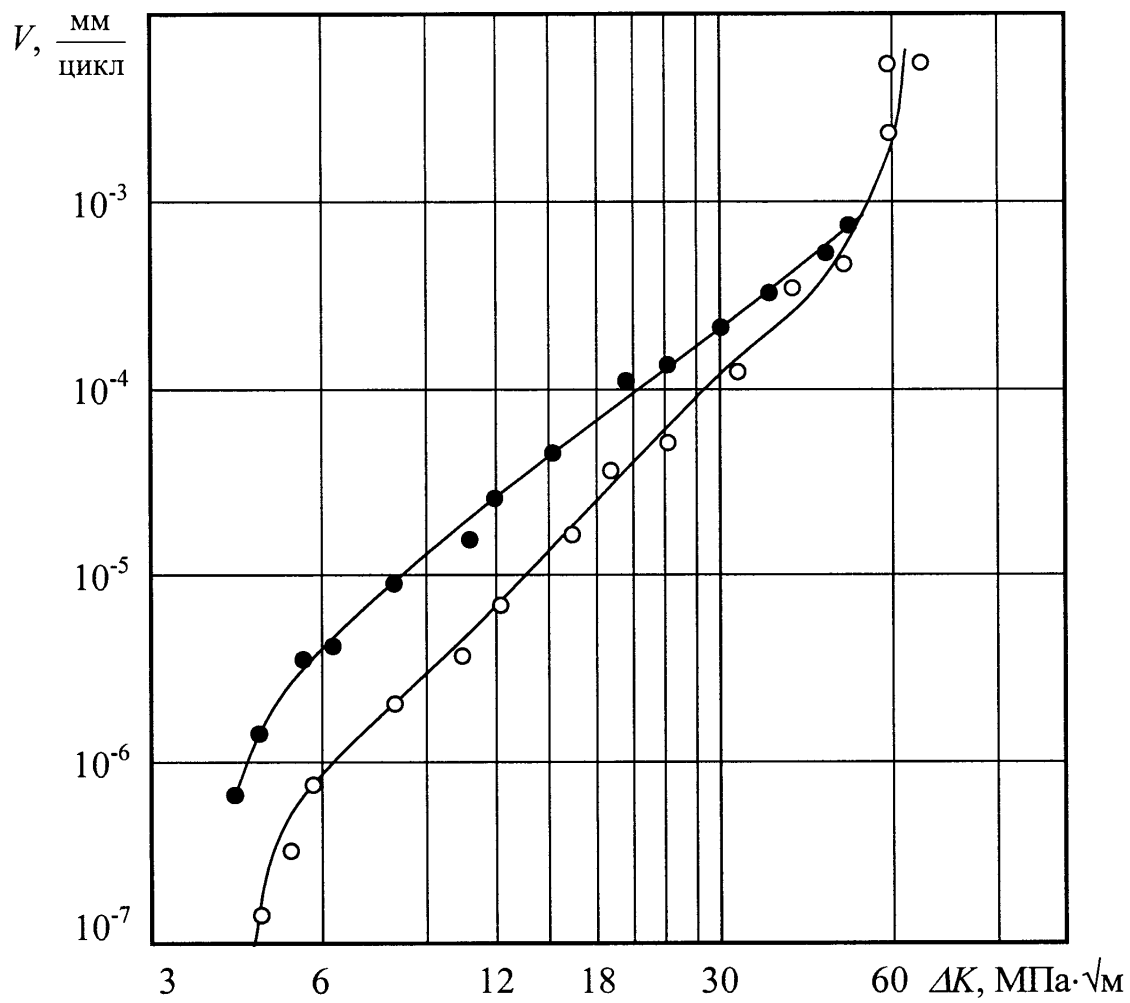


Рис. 4.18. Діаграма втомного руйнування матеріалу в зоні зварного шва

(сталь 45):

○ - у повітрі;

● - у 3% водному розчині NaCl;

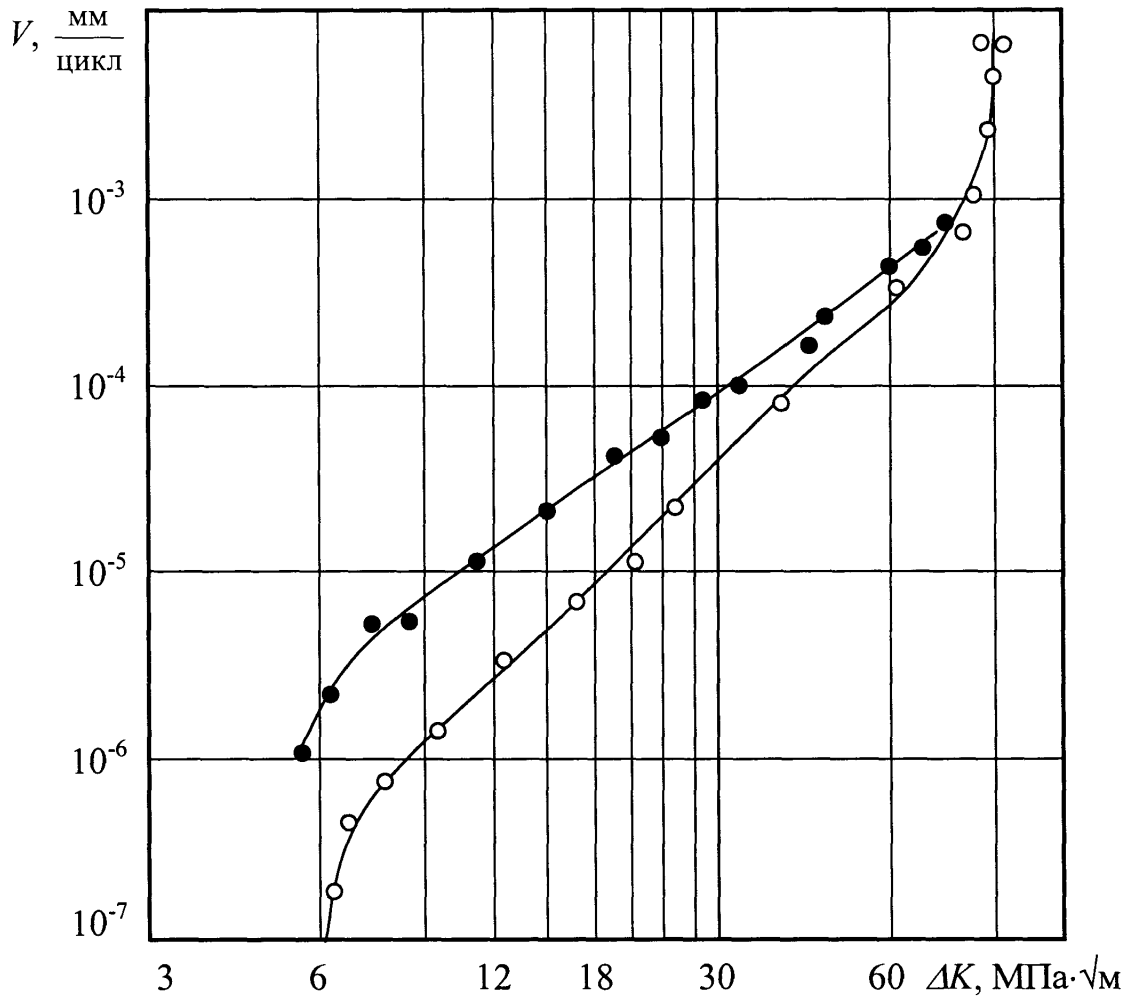


Рис. 4.19. Діаграма втомного руйнування матеріалу в зоні зварного шва

(сталь 40ХН2МА):

○ - у повітрі;

● - у 3% водному розчині NaCl;

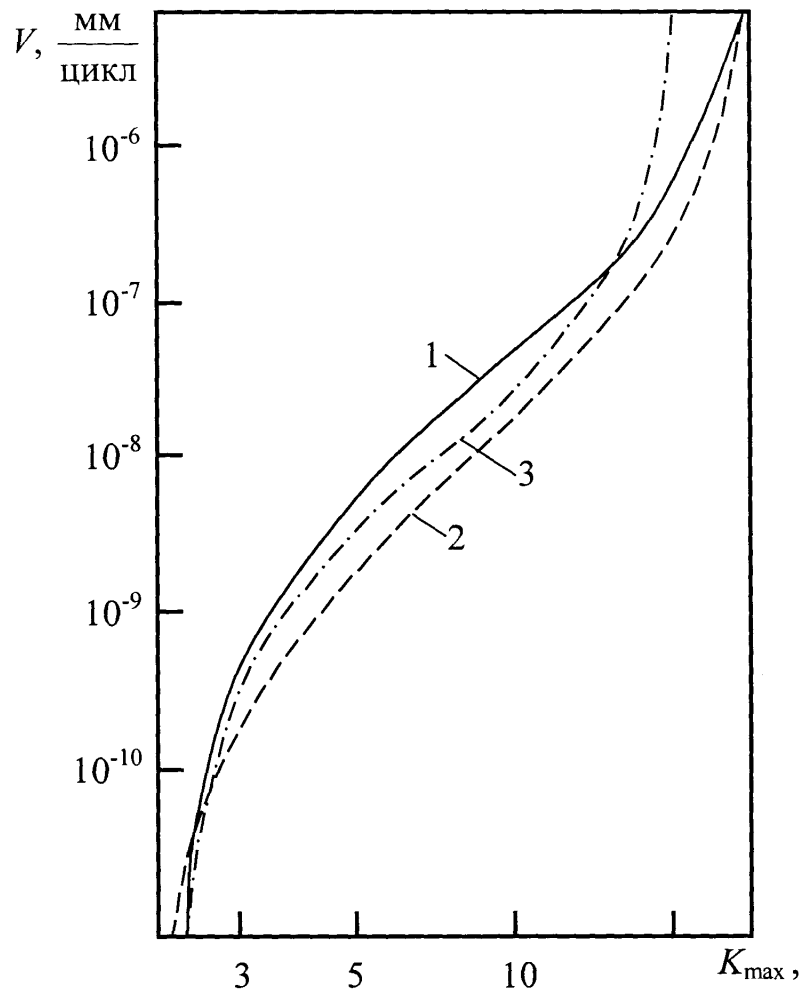


Рис. 4.20. Співставлення діаграм втомного руйнування:

- 1 – основний метал;
- 2 – зона термічного впливу;
- 3 – метал шва.

Висновки до розділу 4

На основі аналітичних та експериментальних досліджень розроблена нова конструкція замкового різьбового з'єднання підвищеної міцності, яка досягається за рахунок перерозподілу напружень між витками різьби.

Досліджено напруження, які виникають у замкових різьбових з'єднаннях у результаті дії крутного моменту згвинчування та статичних і динамічних навантажень.

Експериментальними дослідженнями натурних зразків на опір втомі встановлено, що границя витривалості замкових різьбових з'єднань нової конструкції на 52% перевищує границю витривалості з'єднань, виконаних згідно ГОСТ 5286-80.

Розроблено технологію виготовлення обважнених бурильних труб із приварними різьбовими кінцями довжиною 9-12 м із різнорідних сталей.

Розроблено конструкції та одержано аналітичні залежності для визначення оптимальних параметрів розвантажувальних канавок, які забезпечують підвищення границі витривалості зварних з'єднань на 45%.

Встановлено, що тренування зварних з'єднань ОБТ із вуглецевих та легованих сталей підвищує границю витривалості до 34%. – виготовлених електродуговим способом і на 43% – виготовлених контактним способом.

Проведено фрактографічний аналіз зломів зварних з'єднань ОБТ із різнорідних сталей та досліджено їх на тріщиностійкість як у повітрі, так і в корозійному середовищі, що дозволяє більш диференційовано підходити до вибору матеріалу та розрахунку конструкцій ОБТ на міцність.

Досліджено вплив корозійного середовища на опір втомі зварних з'єднань із вуглецевих та легованих сталей, виготовлених електродуговим та контактним-

стиковим способами. Встановлено, що корозійне середовище (3% водний розчин NaCl) понижує границю витривалості зварних з'єднань ОБТ до 22÷23%.

РОЗДІЛ 5

ПРОМИСЛОВА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою підтвердження в промислових умовах результатів аналітичних та експериментальних досліджень, які встановили підвищення роботоздатності бурильної колони за рахунок використання в КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості, на Дрогобицькому експериментально-механічному заводі спеціального обладнання була виготовлена дослідна партія ОБТЗЖ у кількості 80 штук із сталі 40ХН2МА з $\sigma_{02}=680...720$ МПа.

Промислові дослідження обважнених бурильних труб змінної жорсткості проводились на свердловинах Прилуцького УБР та ВГО “Укрзахідгеологія” в 1992-1993 роках. Типорозміри досліджуваних ОБТЗЖ у компоновці низу бурильних колон приведені в актах досліджень, довідках і таблицях, які містяться в них.

У Прилуцькому УБР досліджувалося 24 обважнених бурильних труби змінної жорсткості експоненціальної форми. Дослідження проводились на свердловинах Матлаховська-10, 39, 102, 104; Шуровська-17, 19; Скороходівська-93, 36, 94; Ярошевська-23, 25; Софієвська-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.

Крім того, при будівництві 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.

У 1992 році конструкції ОБТЗЖ демонструвалися на Міжнародній виставці (м. Москва) та були відзначені дипломами і срібною медаллю.

Акти промислових досліджень, довідки та розрахунок економічної ефективності додаються.

На основі результатів теоретичних, експериментальних і промислових досліджень розроблено інструктивний документ по вдосконаленню технології буріння із застосуванням у КНБК обважнених бурильних труб змінної жорсткості при бурінні нафтових і газових свердловин [101].

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 та практичні результати, висновки і рекомендації, одержані під час виконання 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 невірноваженості різьбового з'єднання.

2. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень характеру розподілу напружень по довжині різьби розроблено конструкції конічних різьбових з'єднань (а.с. 1761999), в яких, за рахунок перерозподілу напружень між витками різьби та зменшення коефіцієнта концентрації напружень у впадині різьби, границя витривалості підвищується на 52% у 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 6E21В 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 у 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. у цінах 1990 р.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крижанивский Е.И. Исследование и повышение сопротивления усталости бурильных колонн при вращательном бурении скважин. //Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Ивано-Франковск, ИФИНГ, 1990, – 293с.
2. Чернов Б.А. Исследование замковых резьбовых соединений бурильных труб и турбобуров и разработка рекомендаций по повышению их эффективности в глубоком бурении. //Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: ВНИИБТ, 1980, – 209с.
3. Чернов Б.А. Методы повышения работоспособности бурильных и обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах. //Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Ивано-Франковск, ИФГТУНГ, 1999, – 345с.
4. Усталостная прочность резьбовых соединений больших диаметров. Кудрявцев Н.В., Щербюк Н.Д. Газанчан Ю.И. //Сб. Исследования по уточнению деталей машин. – М.: Машиностроение, 1972, – С. 15-24.
5. Саркисов Г.М. Расчеты бурильных и обсадных колонн. – М.: Недра, 1971,- 208с.
6. Сароян А.Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. –М.: Недра, 1979,- 231с.
7. Щербюк Н.Д. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей. – М.: Недра, 1974, - 256с.
8. Лачинян Л.А. Работа бурильной колонны. –М.: Недра, 1979, - 207с.
9. Работа бурильной колонны в скважине. /Султанов Б.З., Ишемгунин В.Н., Шаммасов Н.Х., Сорокин М.В. – М.: Недра 1983, - 261с.
10. Файн Г.М., Бухарев Н.А. Расчет ресурса долговечности бурильных труб при их эксплуатации в нестационарных условиях //Нефтяная промышленность. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1983, - №3 - С.4-5.

11. Мочернюк Д.Ю. Исследование и расчет резьбовых соединений труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности. – М.: Недра, 1970, - 136с.
12. Пасляк Ю.А. Расчет напряжений в колоннах труб нефтяных скважин. – М.: Недра, 1973. – 216с.
13. Эрлих Г.М. Эксплуатация бурильных труб. – М.: Недра, 1980. – 318с.
14. Дейли Деринг, Парфо. Изменения сил, действующих на колонну бурильных труб и ее элементов движения в процессе бурения. //Констр. и технолог. машиностроения.- М.: Машиностроение, 1986, - №2. – С. 112-117.
15. Чернов Б.А. Исследования замковых резьбовых соединений бурильных труб и турбобуров и разработка рекомендаций по повышению их эффективности в глубоком бурении: //Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: ВНИИБТ, 1980, – 31с.
16. Барышников А.И. Работоспособность резьбовых соединений бурильной колонны при циклическом нагружении: /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: ВНИИБТ, 1984, – 30с.
17. Кудрявцев Н.В., Газанчан Ю.И. Сравнительная оценка сопротивления усталости углеродистой и легированной сталей в крупных деталях. //Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, №1, 1981, – С.7-9.
18. Серенсен С.В., Макутов Н.А. Условия инициирования и распространения трещин малоциклового разрушения в зонах концентрации напряжений. //Сб. «Механика деформируемых тел и конструкций».- М.: Машиностроение, 1985, – С. 443-448.
19. Форрест П.Г. Усталость металлов. – М.: Машиностроение, 1986, – 351с. с ил.
20. Bahman W.S. World oil. – London: Halliburton Energy Services №1. 1961, – V.132.
21. Ужик Г.Б. Сопротивление отрыву и прочность металлов. – М.: АН СССР, 1969, – 115с. с ил.
22. Якушев А.И., Мустаев Р.Х., Мавлютов Р.Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. – М.: Машиностроение, 1979, – 204с. с ил.

23. Щербюк Н.Д. Исследование и разработка конструкций резьбовых соединений труб нефтяного сортамента и забойных двигателей с высокими эксплуатационными характеристиками для бурения глубоких скважин. /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: ВНИИБТ, 1978, – 400с. с ил.

24. Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И., Чернов Б.А. Влияние размера на выносливость резьбовых соединений из различных сталей. //Нефтяная промышленность. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1980, №1 – С. 20-22.

25. Щербюк Н.Д., Чернов Б.А., Гнып И.П. О применении метода фрактографии при определении крутящего момента свинчивания замковых резьбовых соединений. //«Новые конструкции нефтепромысловых труб». – Куйбышев: Труды ВНИИТнефть. 1979, №11, – С. 141-143.

26. Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И., Чернов Б.А., Дубленич Ю.В. О выборе крутящего момента свинчивания замковых резьбовых соединений. //«Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений». РМИТС. – Львов 1980, №17, – С. 41-45.

27. Распространение коррозионно-усталостных трещин в бурильных трубах ТБВК. Мигаль И.Г., Копей Б.В., Карпаш О.М. и др. //Нефтяная промышленность. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1988, №9. – С. 10-13.

28. Чернов Б.А., Бабюк И.С. Исследование периода зарождения усталостных трещин в сталях //Нефтяная и газовая промышленность. – К.: Техника, 1990, №2(144) – С. 29-31.

29. Чернов Б.А., Бабюк И.С. Влияние коррозионной среды на работоспособность резьбовых соединений. //Нефтяная промышленность. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987, – С. 180-181.

30. Никифоров Ф.Д. Точность и технология изготовления метрических резьб. – М.: «Высшая школа», 1973, – 178с. с ил.

31. Одинг И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. – М.: Машгиз, 1962, – 192с.

32. Биргер И.А. Определение податливости промежуточных деталей резьбового соединения. – М.: Вестник машиностроения, 1961, №5, – С. 41-44 с ил.

33. Якушев А.И. Влияние технологии изготовления и основных параметров резьбы на прочность резьбовых соединений. – М.: Оборонгиз, 1956, – 188с. с ил.

34. Altman T. Umlauf biegever suche om Model-Gewindeverbindern fur Schuerverstangen. “Erdol und Kohle” 1969, №3, – s.134-159.

35. Trischman L.E. Methods and the improvement of Drillcoller finest Evaluated by Full size Fatigues tests. – Drilling and production practice, 1972, №5, 175p.

36. Газанчан Ю.И. Исследование усталостной прочности крупных конических резьбовых соединений: //Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: ЦНИИТМАШ, 1972, – 163с. с ил.

37. Дубленич Ю.В. Исследование влияния конструктивных и технологических факторов на эксплуатационные свойства конических резьбовых соединений турбобуров. //Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: ВНИИБТ, 1973, – 152с. с ил.

38. Влияние натяга на циклическую прочность замковых резьбовых соединений. /Чернов Б.А., Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И., Мамаева Е.И. //Нефтяная промышленность. Серия: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, №10, 1980, – С. 25-31.

39. Чернов Б.А. Влияние условий сборки и материала на сопротивление усталости замковых резьбовых соединений. //Совершенствование бурового оборудования и технология бурения скважин. – М.: ВНИИБТ, 1980, – С. 26-34.

40. Чернов Б.О. Дослідження впливу натягу на опір втомі замкових різьбових з'єднань //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1994, №3, – С. 117-120.

41. Микитишин С.И., Левицкий М.О. Методика исследования распространения усталостных трещин в призматических образцах при постоянном коэффициенте интенсивности напряжения. //Методы и средства

оценки трещиностойкости конструкционных материалов. //Сб. науч. трудов. – К.: Наукова думка, 1980, – С. 226-228.

42. ГОСТ 25.502-79 Методы механических испытаний металлов. М.: Изд-во стандартов 1986. – 32с.

43. Иванов С.И., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Металлургия, 1975, – 456с.

44. Исаев С.И. Курс химической термодинамики. –М.: Высшая школа. 1986, - 272с.

45. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. – К.: Наукова думка. 1991, – 416с.

46. Справочник по сопротивлению материалов. /Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. –К.: Наукова думка, 1981, – 344с.

47. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – К.: Наукова думка, 1981, – 356с.

48. Фролов Ю.Г. Поверхностные явления и дисперсные системы. //Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1982. – 400с.

49. Филипп А.П. Прикладная механика твердого деформированного тела. В 2-х кн. – М.: Наука, – 1985. Кн. 1. – 315с.

50. Мочернюк Д.Ю. Теоретичне обґрунтування експериментальної кривої Веллера з врахуванням різноманітних чинників впливу на межу втомної міцності матеріалів. – К.: Машинознавство, 1998, №2. – С. 9-12.

51. Саркисов Г.М. Расчеты бурильных колонн. – М.: Недра, 1979. – 208с.

52. Александров М.М. К вопросу о напряжениях изгиба при вращении бурильной колонны. //Изв. вузов. Сер. «Нефть и газ», – 1970. №6, – С. 24-28.

53. Расчет бурильных труб в геологоразведочном бурении. Эпштейн Е.Ф., и др. – М.: Недра, 1979. – 151с.

54. Бурение нефтяных и газовых скважин. Справочник. Ясов В.Г., Семенцов Г.Н., и др. – Ужгород.: «Карпаты», 1983. – 200с. с ил.

55. Патент США №4416276. Кл.285-286, 1983.

56. Утяжеленная бурильная труба: А.с. 1629460 СССР, МКИ E21 В17/00. /Чернов Б.А., Дубленич Ю.В., Щербюк Н.Д., Неструев Л.П. –(СССР). - №3699/03: Заявлено 06.02.84; Опубл. 23.02.91, Бюл.№7. – 4с.

57. Пат. №041001 России, МПК 6E21В 17/00. Утяжеленная бурильная труба /Чернов Б.А., Симкив М.Е., Мойсишин В.М., Чернов В.Б. – №93041199/03, Заявлено. 16.08.93: Опубл. 25.01.97.

58. Чернов Б.О., Сімків М.Є. Дослідження стійкості ділянки бурильної колони із застосуванням ОБТ змінної маси. //Матеріали доповідей міжнародної конференції «Динаміка і стійкість композиційних структур»-Львів–Ворохта, – 1991.– С.39.

59. Чернов Б.О., Сімків М.Є. Динаміка стійкості бурильної колони. // Збірник статей міжнародної практичної конференції «Проблеми і шляхи енергозабезпечення України». –Івано-Франківськ, – 1995, №2. – С. 45-46.

60. Коренев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний. //Теория и технические приложения. –М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит., 1988, – 304с.

61. Гашук П.В., Зорий Л.М. Лінійні моделі дискретно-неперервних механічних систем. –Львів: Українські технології, 1999, – 372с.

62. Мойсишин В.М., Кулинин З.В. Крихівський М.В. Власні частоти поздовжніх коливань бурильної колони //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ 1998 №.35. – С. 41-51.

63. Мойсишин В.М. Крутильні коливання бурильної колони з амортизатором. //Нафтова і газова промисловість. – 1993. –№2. – С. 24-25.

64. Мойсишин 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.

65. Мойсишин 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.

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

67. Сімків М.Є., Мойсишин В.М., Чернов Б.О. Динаміка труб змінної жорсткості. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. №36 (Том 4). – С. 210-226.

68. Щербюк Н.Д., Дубленич Ю.В., Лисканич М.К. Об эффективности использования ресурса бурильной колонны. //Нефтяное хозяйство. – М.: Недра, 1985. – №8. – С. 27-28.

69. Щербюк Н.Д., Чернов Б.А., Газанчан Ю.И. Методические рекомендации по расчету и эксплуатации замковых резьбовых соединений бурильной колонны и забойных двигателей – М.: ВНИИБТ, 1987. – 37с.

70. Биргер И.А. Расчет резьбовых соединений. – М.: «Оборонгиз», 1969. – 156с.

71. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые соединения. – М.: «Машиностроение», 1973, – 253с. с ил.

72. Хейвуд Р.Б. Проектирование с учетом усталости. – М.: «Машиностроение», 1979, – 503с. с ил.

73. 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. – 3с.

74. 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». Івано-Франківськ, 1995, №2 –с.44-45.

75. Чернов Б.О. Методика розрахунку крутних моментів згвинчування замкових різьбових з'єднань //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислова механіка. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1994, №31, – С. 123-124.

76. Утяжеленная бурильная труба: А.с. 1232775 СССР МКИ E21B17/00. /Щербюк Н.Д., Неструев Л.П., Якубовський Н.В., Газанчан Ю.И., Жаров В.И., Дубленич Ю.В., Чернов Б.А., Кесельман Я.Э. –(СССР) – 33777051/22-03. Заявлено 15.03.85. Опубл. 23.05.86, Бюл. №19. –4с.

77. 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, №31, – С. 109-114.

78. Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И., Чернов Б.А. Влияние размеров на выносливость соединений из различных сталей //Нефтяная промышленность. Серія: Машины и нефтяное оборудование. – М.: ВНИИОЭНГ, 1980, №1. – С. 20-22.

79. Мустаев Р.Х. Повышение выносливости резьбовых соединений с натягом. //Вестник машиностроения. М.: Машиностроение. 1992, №6. – С. 7-10.

80. Чернов Б.О. Методи підвищення довговічності елементів бурильної колони при спорудженні нафтових і газових свердловин. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислова механіка. – Івано-Франківськ.: ІФДТУНГ, – 1994, №31 – С. 114-117.

81. Чернов Б.О. Дослідження впливу натягу на опір втомі замкових різьбових з'єднань //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислова механіка. – Івано-Франківськ.: ІФДТУНГ, 1994, №31 – С.128-131.

82. Вилль В.И. Сварка металлов трением. – Л.: Машиностроение, 1970. – 175с.

83. Аснис А.Е. Динамическая прочность сварных соединений из малоуглеродистой и низколегированной сталей. – М.: Машгиз, 1981. – 197с.

84. Касаткин Б.С., Мутяченко В.Ф. Применение флюсов АН-17М и АН-43 для сварки сталей повышенной и высокой прочности //Автоматическая сварка. – М.: Машгиз. 1983, – №2. – С. 25-28.

85. Буратенко И.А., Цуканов В.В. Обоснование температуры подогрева при сварке хромоникелемолибденовых сталей мартенситного класса //Автоматическая сварка. – М.: Машгиз. 1981, – №11. – С. 13-15.

86. Потапов Н.Н., Новак А.П. Влияние диаметра проволоки при сварке под флюсом на механические свойства наплавленного металла //Автоматическая сварка. – М.: Машгиз. 1987, – №7. – С. 7-10.

87. Солодовников С.А., Скульский Ю.В. и др. Приварка соединительных концов к бурильным трубам //Автоматическая сварка. – М.: Машгиз. 1975, – №1. – С.16-19.

88. Ильин О.В., Мышлявцев Э.Л. Сварка кольцевых швов на стали 30Х3ГСН ФФА с толщиной кромок 25мм //Автоматическая сварка.– М.: Машгиз. 1985. – №9.– С.37-38.

89. Макира А.М., Скрижевский Б.А. и др. Влияние высокотемпературной химической микронеоднородности околошовной зоны на свойства сварных соединений //Автоматическая сварка. – М.: Машгиз. 1977, – №7. – С.34-37.

90. Терещенко А.М., Либанов А.К. Выбор и применение способов сварки при изготовлении конструкций. - К.: Наукова думка, 1987. – 192с.

91. Сварка по узкому зазору. Контактная сварка металлов с защитными покрытиями. //Итоги науки и техники. Серия «Сварка». Том 21. – М.: ВНИИБТ, 1990. – 132с.

92. Шамов А.Н., Лунин И.В., Иванов В.Н. Высокочастотная сварка металлов. – Л.: Политехника, 1997. – 240с.

93. Миходуй Л.И. Сварка высокопрочных сталей: Обзор. – К.: Институт электросварки им. Е.О.Патона, 2000. – 44с.

94. Кучук-Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением. /АН Украины Институт электросварки им. Е.О.Патона, - К.: Наукова думка, 1998. – 236с.

95. Івасів В.М. Методи та засоби управління бурильною колоною для забезпечення її надійності: Автореф. дис... д-ра. техн. наук: /ФДТУНГ Івано-Франківськ: 1999. – 31с.

96. 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. пр. Ів-Франківськ, :ІФДТУНГ, – 2000. – С.110-114.

97. Романив О.Н., Зима Ю.В., Карпенко Г.В. Электронная фрактография упрочненных сталей. – К.:Наукова думка, 1997. –207с.

98. Ярема Я.С. Исследование роста усталостных трещин и кинетические диаграммы усталостного разрушения //Физико-химическая механика материалов. К.: Наукова думка – 1997, №3. – С. 3-22.

99. 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 міжнародної конференції «Динаміка стійкості композиційних структур» - Львів–Ворохта, – 1991. – С.3–4.

100. Чернов Б.О., Сімків М.Є., Мазур М.П., Думи 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.

101. Мойсишин В.М., Чернов Б.О., Сімків М.Є. Застосування обважнених труб змінної жорсткості при експлуатації бурильної колони : Затв. у АТ «Укрнафта» 23.12.93р. у ВГО ПНГГ = Ів-Франківськ, 1993. – 75с.

АВАРИИ

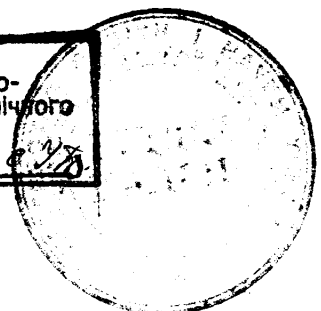
з бурильними трубами I ОБТ по Прилуцькому УБР

№№ бурових	ВибІЙ	Тип аварІІ	затрати часу	збитки грн.
4-Ісачки (1987 р.)	1437	Поломка буртруби в замковій різьбі Із-за промива тіла замка	139	1117
3-Красляни (1993 р.)	2089	Поломка буртруби по трубній різьбі	671	24957
204-Скороходи (1995 р.)	2145	Поломка муфти ОБТ Ø 203мм	11	90
24-ЯрошІвка (1995 р.)	4257	Поломка буртруби по трубній різьбі	130	870
503-Леляви (1996 р.)	110	Поломка муфти ОБТ Ø 229 мм	8	60
22-ЯрошІвка (1996р)	2926	Поломка конуса різьби ОБТ Ø 178 мм	20	150

Головний Інженер Прилуцького управління бурових работ Мрозек Е.Р.

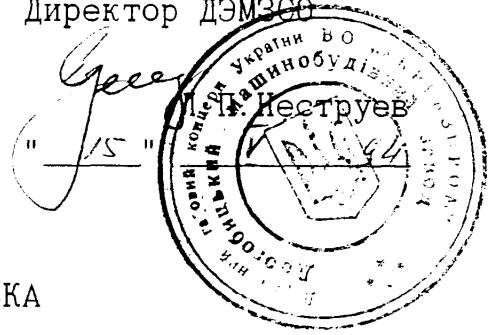


Копію засвідчую:
 Начальник відділу кадрів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
[Signature]



УТВЕРЖДАЮ

Директор ДЭМЗСО



ТЕХНИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Ивано-Франковским институтом нефти и газа разработаны утяжеленные бурильные трубы переменной жесткости (УБТПЖ), способствующие повышению долговечности и надежности в работе, а также снижению динамических составляющих напряжений по телу компоновки бурильной колонны.

Настоящим подтверждается, что в 1992-1993 годах на Дрогобычском экспериментально-механическом заводе спецоборудования, согласно техдокументации, разработанной авторским коллективом, в которой от ИФИНГ входят к.т.н., доцент Чернов Б.А., к.т.н., с.н.с. Мойсишин В.М., аспирант Симкив М.Е., изготовлены опытные партии УБТПЖ следующих конструкций и типоразмеров:

- одноступенчатые УБТПЖ с изменением внешнего диаметра по экспоненциальной зависимости

УБТПЖ I 140/178 - 3 шт.,

УБТПЖ I 178/203 - 3 шт.,

УБТПЖ I 203/229 - 2 шт.;

- двухступенчатые УБТПЖ

УБТПЖ II 140/178 - 4 шт.,

УБТПЖ II 178/203 - 4 шт.,

УБТПЖ II 203/229 - 4 шт.;

- трехступенчатые УБТПЖ

УБТПЖ 140x178 - 20 шт.,

УБТПЖ 178x203 - 20 шт.,

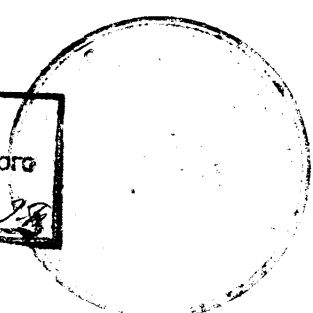
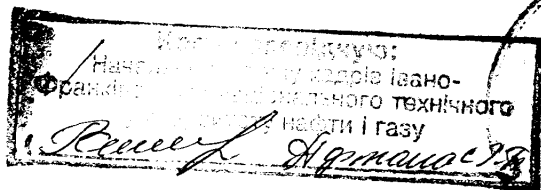
УБТПЖ 203x229 - 10 шт.,

УБТПЖ 229x247 - 10 шт.

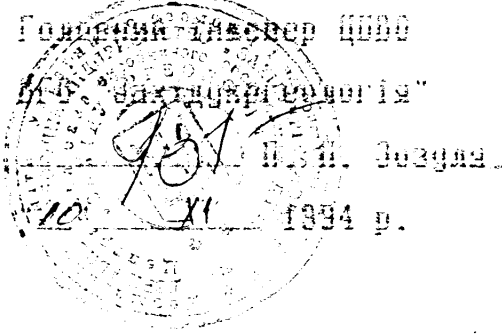
Итого: 80 (восемьдесят) труб.

Начальник технического
отдела

П.И.Ясинский



ЗАТВЕРДЖЕНО



Д О В І Д К А

про промислове використання обважнених бурильних труб
змінної жорсткості (ОБТЗЖ) у ВГО "Західукргеологія"

Розроблені авторським колективом у складі к.т.н. ,доцента Чернова Б. О. , к.т.н. ,с.н.с. Мойсина В. М.,аспіранта Сімків М. Е., виготовлені Дрогобицьким експериментально-механічним заводом спецобладнання і поставлені ЦНБО нафтогазорозвідувальним експедиціям ВГО "Західукргеологія" обважені бурильні труби змінної жорсткості ОБТЗЖ I (зі зміною зовнішнього діаметру тіла труби від ніпельної до муфтової частини по експоненціальній залежності), ОБТЗЖ II (двеступінчасті труби з середньою конусовидною ділянкою) та ОБТЗЖ III (тріступінчасті труби, момент інерції кожної з трьох ділянок корпусу яких є меншим в порівнянні з попередньою ділянкою на 25%-30%) використовувались в кількості 12 штук (по чотири труби кожної з перелічених конструкцій) при бурінні свердловин 2 Петровець, 1 Саджава, 4 Східна буква, 1 Стерижори.

Промислові виробовування дослідних партій обважнених бурильних труб змінної жорсткості проводились згідно розробленої інструкції по застосуванню ОБТЗЖ при експлуатації бурильного інструменту і засвідчили про підвищення довговічності та надійності в роботі колони бурильних труб, зумовленого зменшенням динамічних складових напружень по довжині комбінованих та їх передачу в місцях з'єднання труб різних типорозмірів. Зауважено відсутність пошкоджень та зносу зов-

нішньої поверхні муфтової частини ОБТЗЖ.

Відомості про компоновки буряльних колон з ОБТЗЖ, показники іта економічну ефективність їх роботи при бурінні роторним способом за період з січня 1992 р. по лютий 1994 р. включно наведено в таблицях 1 та 2.

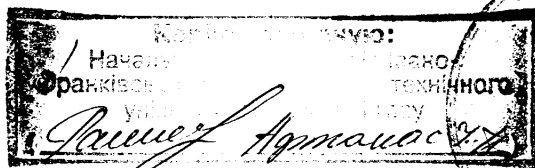
Сумарний час механічного буріння компоновками із застосуванням ОБТЗЖ склав 17450 годин, за які пробурено 6443 м свердловин. Економічний ефект від впровадження труб змінної жорсткості одержано за рахунок підвищення строку служби елементів буряльної колони. Він склав в цінах за станом на I квартал 1994 року 832,888 млн. крб. (вісімсот тридцять два мільйони вісімсот вісімдесят вісім тисяч карбованців).

Начальник технологічного відділу

А. Мартин / *Мартин*

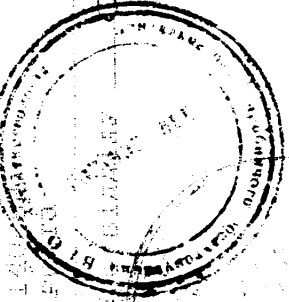
Начальник планово-економічного
відділу

П.С. / *Парасюк*



В І С О В І С Т І
ПРО КОМПОНОВАНІ АНДІ СУДИЩОЇ КОЛІГІЇ ІЗ РЕЖИМУ СУДИЩА

№	Ім'я, П. БУРБОВІ, ТА ІНШЕ	Інтервал буришля, №	Компонування анді судищогої колегії	Р. П.	Р. П.
1.	ПОТРОВЕНЬ, №2 УРАЛНОМ СД-00	2434- 4311	Андогю 209,39; ОБТ 209 100Н; ОБТ0Х 11 209/178-0Н; ОБТ0Х 11 178/140-0Н; О. П. 140*10-РЕШІА	10-10	09-10
2.	СОЛІДОВА, №1 УРАЛНОМ СД-00	2385- 4310	Андогю 209,37; ОБТ 209-28,50Н; ОБТ0Х 1 229/205-0Н; ОБТ 209-112,50Н; ОБТ0Х 1 203/178-0Н; ОБТ0Х 1 178/140-0Н; О. П. 127*0-РЕШІА	10-28	09-10
3.	СОЛІДОВА, №1 УРАЛНОМ СД-00	4310- 5510	Андогю 210,06; ОБТ 178 200,50Н; ОБТ0Х 1 178/130-0Н; О. П. 140*10-150Н; О. П. 127*0 - РЕШІА	10-10	09-10
4.	САЛАНД ЛУКВА, №1 УРАЛНОМ СД-00	2410- 5791	Андогю 210,04; ОБТ 178-144,20Н; ОБТ0Х 111 178/130-0Н; О. П. 140*10-150Н; О. П. 127*0 - РЕШІА	10-10	09-10
5.	СТОРИШОРА, №1 УРАЛНОМ СД-10	1202- 2020	Андогю 210,04; ОБТ 178/140-0Н; ОБТ0Х 111 178/130-0Н; О. П. 140/10 - РЕШІА	10-10	09-10



Handwritten signature

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧЕСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Копію засвідчую:
 Начальник відділу кадрів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
Handwritten signature: Олександр Артемчук

В І Д О М О С Т І
ПРО КОМПОНОВКИ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ТА РЕЖИМИ БУРІННЯ

№ п/п	Площа, № бурової, тип бурового верстата	Інтервал буріння, м	Компоновка низу бурильної колони	Режимні параметри	
				Р, т	п, об/хв
1.	Петровець, №2 Уралмаш 4Е	2434- 4311	Долото 295,3; ОБТ 203-108м; ОБТЗЖ II 203/178-8м; ОБТЗЖ II 178/140-8м; б.т. 140*10-решта	12-16	60-70
2.	Саджава, №1 Уралмаш 3Д-86	3385- 4310	Долото 295,3; ОБТ 229-25,5м; ОБТЗЖ I 229/203-8м; ОБТ 203-112,5м; ОБТЗЖ I 203/178-8м; ОБТЗЖ I 178/140-8м; б.т. 127*9-решта	15-25	60-70
3.	Саджава, №1 Уралмаш 3Д-86	4310- 5510	Долото 215,9; ОБТ 178-201,3м; ОБТЗЖ I 178/140-8м; б.т. 140*10-150м; б.т. 127*9 - решта	12-18	60-70
4.	Східна Луква, №1 Уралмаш 3Д-86	2418- 3791	Долото 215,9; ОБТ 178-144,2м; ОБТЗЖ III 178/140-8м; б.т. 140*10-150м; б.т. 127*9 - решта	10-18	60
5.	Стерешори, №1 Уралмаш 3Д-76	1252- 2325	Долото 215,9; ОБТ 178-144,2м; ОБТЗЖ III 178/140-8м; б.т. 140*10 - решта	10-16	60-70

Начальник технологічного відділу

Копію засвідчую:
Начальник відділу кадрів Іванко-
Франківського національного технічного
університету нафти і газу

Іванко-Франківський національний технічний університет нафти і газу

В І Д О М О С Т І

про економічну ефективність використання обважнених бурильних труб змінної жорсткості

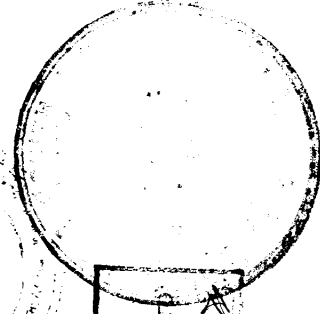
Площа, N бурової площі	Проходка бурінням м	Час механ. буріння год.	Механ. швидк. м/год.	Інтервал буріння, м		Індекс		Вартість пробуреного метра, крб.		Економічна ефективність крб.		
				від	до	на час буріння 1994 р.	на I кв. 1994 р.	в цінах 1994 р.	на час буріння	в цінах 1994 р.	по індексу на I кв. 1994	
												46,4
Петровець, N 2	1843	5439	0,34	2434	2800	46,4	7581	189,54	8 794,66	2 910,68	2 130 928	
Використано:												
ОБТЗ І	203/178	-2 шт.		2800	3450	290	-	444,74	128 974,60	12 473,50	94 561 603	
ОБТЗ ІІ	178/140	-2 шт.		3450	3800	1596	-	466,25	744 135,00	5 320,00	40 330 920	
ОБТЗ ІІІ	178/140	-2 шт.		3800	4170	5187	-	573,09	2 972 617,80	6 933,00	50 013 933	
ОБТЗ ІІІІ	178/140	-2 шт.		4170	4307	5187	-	473,50	2 450 857,50	2 349,55	17 811 938	
										разом	29 566,93	207,849 млн.кр
Саджава, N 1	925	2889	0,40	3385	3400	18	7581	468,33	8 429,94	482,50	3 637 932	
Використано:												
ОБТЗ І	229/203	-1 шт.		3400	4000	19,7	-	381,50	7 515,00	8 520,00	64 590 120	
ОБТЗ ІІ	178/140	-1 шт.		4000	4310	46,4	-	524,55	24 339,12	5 027,00	38 563 305	
										разом	14 089,50	106,813 млн.кр
Саджава, N 1	1200	1852	0,65	4310	4650	186,6	7581	524,55	97 881,03	7 582,00	57 479 142	
Використано:												
ОБТЗ І	178/140	-1 шт.		4650	5000	290	-	727,50	210 973,00	11 725,00	88 987 225	
ОБТЗ ІІ	178/140	-1 шт.		5000	5510	1596	-	928,15	1 481 391,20	19 482,00	147 893 000	
										разом	38 789,00	294,059 млн.кр
Східна Луска, N 4	1372	3601	0,38	2419	2500	186,6	7581	247,73	46 226,42	558,90	4 237 021	
Використано:												
ОБТЗ І	203/178	-1 шт.		2500	3000	290	-	303,06	87 887,40	4 603,00	34 910 505	
ОБТЗ ІІ	178/140	-2 шт.		3000	3300	1596	-	539,49	861 026,04	5 130,00	38 890 530	
ОБТЗ ІІІ	178/140	-2 шт.		3300	3791	1596	-	531,37	848 066,52	8 445,00	64 023 061	
										разом	18 738,90	142,061 млн.кр

Продовження таблиці 2.

Площа, N бурової буріння	Проходка бурінням м	Час механ. буріння год.	Механ. швидк. м/год.	Інтервал буріння, м		Індекс		Вартість пробуреного метра, крб.		Економічна ефективність, крб.		
				від	до	на час буріння 1994 р.	на I кв. 1994 р.	в цінах 1984 р.	на час буріння	в цінах 1984 р.	по індексу на I кв. 1994	
												на час буріння
Стеришори, N 1	1073	4629	0,25	1252	1500	1596	7581	219,13	349	731,48	1 562,40	11 844 554
				1500	2000	5187	-	269,59	1 398	363,30	5 900,00	44 727 900
				2000	2250	7581	-	319,15	2 419	476,10	2 725,00	20 658 225
				2250	2325	7581	-	268,01	2 031	783,80	621,00	4 875 471
								разом	10	808,40	82,106	млн.крб.
								всього	112	312,73	832,888	млн.крб.

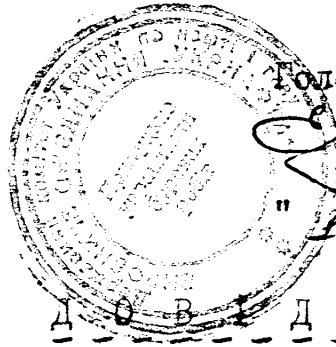
Г. С. Сидоренко

Начальник технологічного відділу
Начальник планово-економічного відділу



Копія оригіналу:
Начальник відділу кадрів Асоціації
«Схід» за адресою: м. Київ, вул. М. Коцюбинського, 10/12
М. Сидоренко
Г. С. Сидоренко

ЗАТВЕРДЖУЮ



Головний інженер Прилуцького
УБР

Е.Р.МРОЗЕК

" 23 " - - 05 - - - 1994 р.

Д О В І Д К А

про промислове використання обважнених бурильних
труб змінної жорсткості /ОБТЗЖ/ в 1992-1993 рр.

Розроблені авторським колективом в складі к.т.н., доцента Б.О.Чернова, к.т.н. с.н.с. В.М.Мойсишина, аспіранта М.Е.Сімків і виготовлені Дрогобицьким експериментально-технічним заводом спецобладнання обважені бурильні труби змінної жорсткості / ОБТЗЖ / в кількості 24-х штук використовувались при бурінні свердловин І04, 3 Матлахівська, І7 Щурівська, 93 - Скороходівська, 23 - Ярошівська, І4, 52 - Софіївська.

Відомості про застосовувані компоновки бурильних колон та економічній ефективності їх роботи при бурінні роторним способом за період 1992-1993 рр. наведені відповідно в таблицях І та 2.

Під час промислових досліджень дослідної партії труб за результатами дефектоскопії відмічено підвищення довговічності та надійності в роботі елементів бурильної колони / в першу чергу різьбових з'єднань /, що викликало зменшення концентрації напружень в межах з'єднання секцій ОБТ з бурильними трубами або секцій ОБТ різних типорозмірів, а також загальним спадом рівня динамічних напружень по довжині компоновки.

Крім цього, при провешенні свердловини складного профілю, має місце зниження на 10-20 % обертового моменту, фіксованого моментом іром ротора бурової установки, в процесі експлуатації компоновок з ОБТЗЖ порівняно з типовими компоновками, що застосовувалися в Прилуцькому УБР. Цей факт на наш погляд, слід пояснити тим, що бурильна колона з трубами змінної жорсткості володіючи більшою гнучкістю, краще вписується в профіль свердловини і зменшує момент опору обертанню компоновки.

Із застосуванням ОБТЗЖ пробурено І0909 погонних метрів свердловин. Економічний ефект від впровадження ОБТЗЖ одержаний за рахунок збільшення терміну служби елементів бурильної колони, зменшення

необхідної потужності, затрачуваної на подолання моменту опору
обертанню колони, і склав 29651944 крб. мільйонів карбованців
в цінах по стану на вересень 1993 р.

Начальник виробничо-
технічного відділу

Г.А.Клімов Г.А.КЛІМОВ

Начальник планово-
економічного відділу

Г.М.Альчибаєва Г.М.АЛЬЧИБАЄВА

Затверджую:
М.П. [немає] [немає]
[немає] [немає]
Г.А.Клімов [немає]



О компоновке низа буровой колонны
и режимах бурения

Таблица I

№ скважины	№ скважины	площадь	Интервал бурения, м	Компоновка нижней части буровой колонны	Режимные параметры	
					осевая нагрузка, тонн	частота вращения, об/мин.
I	2		3	4	5	6
1.	39-Маглаховская		23-87-3687	долото ϕ 215,9, УБТ ϕ 178 - 190 м, УБТШ ϕ 178/140-9 м б.т. ϕ 140 x 10 - остана	18-20	60-70
2.	10-Маглаховская		2380-3679	долото ϕ 215,9, УБТ ϕ 178 - 205 м, б.т. ϕ 140x10Д-150м, б.т. ϕ 127x9 - остана	18-20	60-70
3.	Щуровская		270-2070	долото ϕ 295,3 УБТС ϕ 229-24 м, УБТШ ϕ 229/203-9 м, УБТ ϕ 203 - 110 м, УБТШ ϕ 203/178-9 м, УБТШ ϕ 178/140 - 9 м, б.т. ϕ 140x10Д-150 м б.т. ϕ 127x9 - остана	16-18	60-70
4.	79-Щуровская		305-2080	долото ϕ 295,3 УБТС ϕ 229-18 м, УБТ ϕ 203-90 м б.т. ϕ 140x10-150 м, б.т. ϕ 127 x 9 остана	16-18	60-70
5.	93-Скороходовская		400-2319	долото ϕ 295,3, УБТС ϕ 229 - 24 м, УБТШ ϕ 229/203-9 м, УБТ ϕ 203-98 м, УБТШ ϕ 203/178-9 м, УБТШ ϕ 178/140 - 9 м, б.т. ϕ 140x10Д - 150 м, б.т. ϕ 127 остана	16-18	60-70
6.	94-Скороходовская		400-2319	долото ϕ 295,3, УБТС ϕ 229 - 21 м, УБТ ϕ 203-92 м б.т. ϕ 140 x 10Д-150 м, б.т. ϕ 127-9- остана	16-18	60-70
7.	23-Ярошевская		2198-2630	долото ϕ 295,3, УБТС ϕ 229-24 м, УБТШ ϕ 229/203-9 м, УБТ ϕ 203-110 м, УБТШ ϕ 203/178-9 м, УБТШ ϕ 178/140 - 9 м, б.т. ϕ 140 - остана	16-18	70
8.	25-Ярошевская		2000-2630	долото ϕ 295,3, УБТС ϕ 229-24 м, УБТ ϕ 23 - 101 м б.т. ϕ 140 остана	16-18	70

9.	104-Маглаховская	401- -2280	долото ϕ 295,3, УБТС ϕ 229-24 м, УБТЩШ ϕ 229/203 - 8 м, УБТЩЖ ϕ 229/203-8 м, УБТ ϕ 203-110 м, УБТЩШ ϕ 203/178 - 8 м, УБТЩШ ϕ 178/140-8 м, б.т. ϕ 140x10Д-150 м, б.т. ϕ 127 x 9 - остаца.	18	70
10.	102-Маглаховская	400- -2375	долото ϕ 295,3, УБТС ϕ 229 - 18 м, УБТ ϕ 203-95м б.т. ϕ 140x10Д - 150 м, б.т. ϕ 127x9- остаца	18	70
11.	52-Софиевская	332- -2150	долото ϕ 393,7, УБТ ϕ 245 - 6 м, УБТЩШ ϕ 245/229-9 м УБТ ϕ 229-12 м, УБТЩШ ϕ 229/203 - 9 м, УБТ ϕ 203-100 м, УБТЩШ ϕ 203/178-9 м, УБТЩШ ϕ 178/140-9 м, б.т. ϕ 140x10Д-150 м, б.т. ϕ 127x9 остаца	20-22	70
12.	50-Софиевская	372- -2140	долото ϕ 393,7, УБТС ϕ 245 - 8 м УБТС ϕ 229- 12м, УБТ ϕ 203-90 м, б.т. ϕ 140x10Д-150 м, б.т. ϕ 127x9 - остаца	20-22	70
14-	Софиевская	400- -2135	долото ϕ 393,7, УБТ ϕ 245-6 м, УБТЩШ ϕ 245/229-9 м, УБТ ϕ 229-12 м, УБТЩЖ ϕ 229/203 - 9 м, УБТ ϕ 203-100 м, УБТЩШ ϕ 203/178- 9 м, УБТЩШ ϕ 178/140 - 9 м б.т. ϕ 140 - остаца	20-22	70
13-	Софиевская	372- -2140	долото ϕ 393,7, УБТС ϕ 245 - 8 м, УБТС ϕ 229-12 м УБТ ϕ 203 - 90 м б.т. ϕ 140 x 10Д - 130 м, б.т. ϕ 127 x 9 - остаца.	20-22	70

Начальник производственно-
технологического отдела

 /Ю.А. КЛИМОВ/

об экономической эффективности использования
утяжеленных буровых труб переменной жесткости

Таблица 2

№ п/п	№ скважины, площадь кв.м	Интервал бурения, м	Про- ходка, м	Время бурения час	Мех. скор. м/час	Индекс на время бурения	Стоимость		Экономичес- кая эффектив- ность по ин- дексам цен на бурение дексу 1984 г. 1983 г. 1984 г.			
							В ценах 1984 г.	в руб.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	39-Матлаховская	с УБТЖ	2387- -3682	1300	672	1,93	11	700	160,9	1769,9		6253 4377100
2.	102-Матлаховская	базовая	2380- -3679	1299	682	1,90	65	700	165,72	10771,8		
3.	Эк.эффективность	с УБТЖ	270- -2070	1300	446	3,78	13,8	700	4,81	693,03		
4.	79-Щуровская	базовая	305- -2080	1775	478	3,71	160	700	50,22	8436,8		
5.	Эк.эффективность	с УБТЖ	400- -2345	1800	493	3,94	13,8	700	2,51	578,94		4518 3162600
6.	93-Скороходовская	базовая	400- -2319	1945	550	3,49	240	700	41,95	4084 2859150		
7.	Эк.эффективность	с УБТЖ	2198- -2630	432	609	0,71	700		250,56	175393,0		

8. 25-Ярошевская	2200- -2630	базовая	430	615	0,7	5	263,09	1315,45	700	5413	3789072
Эк.эффективность	432						12,53				
9. 104-Матлаховская	401- -2280	с УБПЖ	1879	551	3,41	65	48,46	3151,2			
10. 102-Матлаховская	400- -2375	базовая	1975	571	3,46	1,975	51,39	101,49			
Эк.эффективность			1879				2,91	5466	3827523		
11. 52-Софиевская	332- -2150	с УБПЖ	1818	513	3,54	35	75,71	2649,85			
12. 50-Софиевская	342- -2140	базовая	1768	688	2,57	5	79,5	397,5			
Эк.эффективность			1818				3,79	6890	4823154		
13. 14 Софиевская	400- -2135	с УБПЖ	1735	640	2,71	50	80,2	4009,8			
14. 13 Софиевская	372- -2140	базовая	1768	673	2,62	5	85,81				
Эк.эффективность			1735				5,61	9733	6813345		
Общая эффективность			10909					42359	29651944		

Начальник производственно-технологического
отдела

Ю.А.КЛИМОВ

Начальник плано-экономического
отдела

Г.М.АЛЬЧИНАЕВА