

Ш. 179.1

38

Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу



*Кійко Людмила Миколаївна*

УДК 620.179

**МЕТОДИ Й ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ  
РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБНИХ КОЛОН**

05.11.13 - Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

1-1/1111

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2002

620.119.1:622.24.0537 622.24.053(003)

**K38**

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

**Карпаш Олег Михайлович,**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

**Заміховський Леонід Михайлович,**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри автоматизованого управління

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**Учанін Валентин Миколайович,**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України (м. Львів), завідувач відділу

Провідна установа:

Інститут ~~нафти і газу~~ ім. Г.В.Карпенка НАН України, Київ

Захист дисертації вченою університету 76019, м. Івано-

ваної  
ному

З дисертації національного вул. Ка-

В. КОГО  
ІВСЬК,

Авторем

Вчений кандидата

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Потреби України в енергоносіях майже на 60 % задовольняються завдяки нафтогазовій галузі, і подальший її розвиток передбачає збільшення кількості нафтових і газових свердловин при одночасному покращенні техніко-економічних показників їх проводки та експлуатації. Одним з ефективних напрямків вирішення цих завдань є підвищення ефективності використання трубних колон, вартість яких складає майже половину вартості свердловини. Існує два основних підходи до розв'язку цієї проблеми: перший - забезпечення якості трубних колон через вдосконалення їх конструкцій та технологій експлуатації, і другий – систематичний контроль якості трубних колон неруйнівними методами з метою своєчасного виявлення й видалення з експлуатації дефектних елементів.

Об'єктом вдосконалення трубних колон переважно є різьбові з'єднання, бо саме вони, незважаючи на всі запобіжні заходи, є причиною більш як 50% відмов. Але конструктивні вдосконалення зменшують ймовірність поломок тільки за умови забезпечення належної якості (міцності і герметичності) з'єднань, яка досягається завдяки створенню в спряженні певного рівня напружень і деформацій, передбаченого розрахунками або нормативними документами. Отже, незважаючи на конструктивне вдосконалення, різьбові з'єднання все одно повинні піддаватись контролю.

Огляд сучасних технічних засобів і технологій контролю якості трубних колон показує, що, не дивлячись на широке використання в нафтогазовій галузі методів неруйнівного контролю, питання контролю якості різьбових з'єднань (особливо нових конструкцій) та дефектоскопії різьбових частин (особливо для обважнених бурильних труб) залишається невирішеним і додатково ускладнюється різноманітністю вдосконалених конструкцій різьбових з'єднань, що викликає необхідність розробки технологій контролю для кожної з них. Зважаючи на те, що вартість ліквідації відмови може сягати 40 % вартості свердловини, задача розробки й впровадження методів та засобів контролю якості різьбових з'єднань трубних колон, в тому числі нових конструкцій, є актуальною. Вирішення цієї задачі сприятиме попередженню відмов і зменшенню питомих витрат на спорудження та експлуатацію свердловин, що надзвичайно важливо для економіки України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами** теж свідчить про її актуальність. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності:

- з Державними науково-технічними програмами з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки (1993 р. - завдання 05-53.01/001-93 "Розробка, виготовлення та впровадження технічних засобів і технологій неруйнівного контролю і технічної діагностики бурильних, обсадних та насосно-компресорних труб, бурового обладнання, а також засобів і технологій контролю якості з'єднань трубних колон в процесі експлуатації", 1997 р. - завдання 05-53.01/001-93 "Розробка та виготовлення технічних засобів і технологій оцінки фактичного стану обладнання та інструменту");

наг  
04.  
тех

НТБ  
ІФНТУНГ



00287

- з галузевою науково-технічною програмою Держнафтогазпрому України “Створення, освоєння випуску та впровадження у виробництво комплексу технічних засобів і технологій неруйнівного контролю та технічної діагностики трубних колон, бурового та нафтогазопромислового обладнання та інструменту. Організаційне, технічне, методичне та кадрове забезпечення” на 1997 – 2001 рр.

Окремі роботи виконувались за планом науково-дослідних робіт Держнафтогазпрому України (1994 р. – п. 4.18 “Розробка малогабаритної переносної установки для дефектоскопії різьбових з’єднань обважнених бурильних труб в зібраному стані”, п. 4.21 “Розробка, виготовлення та впровадження пересувної лабораторії неруйнівного контролю бурильного інструменту та бурового обладнання в польових умовах”, п. 4.22 “Розробка Положення про службу неруйнівного контролю в нафтогазовій галузі”, 1995-96 рр. – п. 5.20 “Розробка керівного нормативного документа “Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту”), а також за договорами з ВАТ “Укрнафта” та АТ “Укргазпром”.

Всі вищевказані роботи виконувались за безпосередньою участю автора, в т.ч. як відповідального виконавця.

**Мета роботи** полягає в розробці методів, технічних засобів та технологій контролю якості різьбових з’єднань трубних колон.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

проаналізувати конструкції різьбових з’єднань трубних колон з точки зору можливостей їх неруйнівного контролю та встановлення й систематизації класифікаційних (конструктивних та функціональних) ознак, що визначають їх якість;

визначити взаємозв’язки між параметрами, що характеризують якість різьбових з’єднань, та інформативними сигналами, за якими оцінюються ці параметри;

встановити закономірності поширення ультразвукових коливань (УЗК) в різьбових частинах труб, в тому числі обважнених, для розробки способів їх контролю;

провести теоретичні та експериментальні дослідження і розробити нові та вдосконалити існуючі способи контролю якості додаткових діаметральних та торцевих ущільнень типу “метал - метал” різьбових, в т.ч. замкових, з’єднань трубних колон;

провести теоретичні та експериментальні дослідження і розробити способи контролю якості (дефектоскопії) згвинчених замкових різьбових з’єднань обважнених бурильних труб;

дослідити можливість використання принципу агрегування методик контролю типових елементів різьбових з’єднань і здійснити його апробацію;

розробити й впровадити технічні засоби та технології для реалізації розроблених способів контролю якості різьбових з’єднань та необхідне для їх ефективного використання нормативне забезпечення.

**Об’єктом дослідження** є працездатність різьбових з’єднань трубних колон, які використовуються в процесі проводки та експлуатації нафтогазових свердловин.

**Предметом дослідження** є методи та засоби неруйнівного контролю параметрів, які визначають якість різьбових з'єднань трубних колон.

**Методи дослідження.** Встановлення взаємозв'язків між показниками, які характеризують якість різьбових з'єднань, і інформативними сигналами здійснювалось за допомогою методів теорії коливань. Для встановлення залежностей між геометричними характеристиками різьбових частин та параметрами способів їх акустичного контролю використовувались методи променевої акустики. Дослідження процесів, що відбуваються в зоні спряження елементів різьбових з'єднань під час згинчування, проведені з метою класифікації існуючих типів різьбових з'єднань за функціональними ознаками, ґрунтуються на методах опору матеріалів та теорії руйнувань. Під час проведення експериментальних досліджень та обробки їх результатів застосовувались методи раціонального планування, теорії ймовірності та прикладної статистики. Визначення класифікаційних ознак різьбових з'єднань та агрегування методик контролю здійснювалось на підставі методів теорії подібності. Розробка технічних засобів здійснювалась з використанням методів схемотехніки.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

- вперше одержані узагальнені аналітичні залежності між геометричними характеристиками кінцевого з'єднання (товщиною стінки, конусністю, місцезнаходженням та орієнтацією очікуваної поверхні відбиття) та параметрами способів акустичного контролю (кутом вводу ультразвукових коливань, віддалями між точками їх вводу, відбиття та приймання), що дає можливість розробляти методики контролю якості різьбових з'єднань різних типорозмірів методами відбитого та прониклого випромінювання без традиційних графічних побудов;

- вперше одержана аналітична залежність між геометричними характеристиками (радіусами, висотою упорного виступу) замкового різьбового з'єднання об'єднаних бурильних труб, глибиною залягання дефекту в різьбі ніпельної частини та параметрами способу акустичного контролю (кутом вводу ультразвукових коливань, віддаллю між точками вводу п'єзоперетворювачів, відстанню від точок вводу п'єзоперетворювачів до краю упорного виступу), що вперше дозволило здійснювати контроль замкових різьбових з'єднань об'єднаних бурильних труб всіх типорозмірів в згинченому стані;

- вперше теоретично обґрунтована з точки зору неруйнівного контролю система класифікації різьбових з'єднань трубних колон за конструктивними й функціональними ознаками, що створює умови для розробки й використання типових методик контролю елементів певної конструкції і призначення.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробці і впровадженні:

- технічних засобів та технологій для акустичного контролю ніпельної частини згинченого замкового з'єднання об'єднаних бурильних труб, що суттєво

зменшило непродуктивні витрати часу на проведення контролю трубних колон в процесі спуско-підймальних операцій та підвищило безпеку виконання робіт;

- технічних засобів та технологій, що базуються на використанні розроблених способів акустичного контролю діаметральних і торцевих ущільнень типу “метал – метал”, що дозволило оцінювати якість різьбових з’єднань по закінченні процесу згвинчування і тим самим забезпечувати їх ефективне функціонування;

- агрегування методик, що дозволило перейти до використання типових методик для контролю конструктивно ідентичних елементів однакового функціонального призначення і зменшило кількість зразків для настроювання апаратури;

- регламентації вимог до неруйнівного контролю та пов’язаних з ним процедур, завдяки чому підвищується якість контролю та створюються умови для виключення непрофесійних послуг в цій галузі.

Одержані під час досліджень результати використані в галузевих стандартах ГСТУ 320.02829777.002-95 “Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації” та ГСТУ 320.02829777.001-95 “Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях”.

Розроблені за безпосередньою участю автора способи контролю й технічні засоби реалізовані в комплексній установці УНКТ-1, пересувній лабораторії неруйнівного контролю ПЛІНК-2, спеціальних установках для контролю різьбових з’єднань трубних колон УДР-1, ОБТ-1, “Контакт-1”, “Контакт-2М”.

Ці засоби й технології експлуатуються в Долинському, Бориславському, Охтирському, Полтавському та Стрийському УБР, в Шебелинському УТТІСТ, Бориславській та Новоуренгойській БВО, в об’єднанні “Уренгойгазпром”. Галузеві стандарти впроваджені в більшості нафтогазовидобувних підприємств України, технічні умови на надання послуг з неруйнівного контролю та атестації фахівців – в НВФ “Зонд” та функціонуючому при ній атестаційному центрі.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Особисто автором:

- одержані аналітичні залежності для розрахунку параметрів способів акустичного контролю кінцевих з’єднань та їх додаткових ущільнень типу “метал – метал” при використанні методів прониклого та відбитого випромінювання [1];

- одержані аналітичні залежності для розрахунку параметрів способу акустичного контролю, в т.ч. з метою виявлення втомних тріщин, замкового різьбового з’єднання обважнених бурильних труб в згвинченому стані [2];

- визначений перелік показників для комплексної оцінки технічного стану трубної колони [3];

- досліджені фізичні процеси, що відбуваються в зоні спряження під час згвинчування, з точки зору можливостей неруйнівного контролю якості з’єднань [4];

- розроблені способи акустичного контролю діаметральних та торцевих ущільнень типу “метал-метал” [5, 6];

- обґрунтована й здійснена класифікація різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту за конструктивними та функціональними ознаками з точки зору можливостей їх неруйнівного контролю [6];

- запропоноване і реалізоване агрегування методик контролю [6];

- сформульовані основні вимоги до забезпечення якості неруйнівного контролю згідно з вимогами стандартів серії ДСТУ ISO 9000 [7].

В співавторстві розроблені спосіб дефектоскопії згвинченого замкового з'єднання [8], пристрій для ультразвукового контролю різьбових з'єднань труб [9] та галузевий стандарт, спрямований на регламентацію процедур і забезпечення якості самого неруйнівного контролю [10].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи були оприлюднені на I та II Українських конференціях “Неруйнівний контроль та технічна діагностика” (м. Дніпропетровськ, 1994, 1997 рр.), на XV та XVII Петербурзьких конференціях “Ультразвукова дефектоскопія металоконструкцій” (1995, 2001 рр.), на Міжнародних науково-технічних конференціях “Сучасні прилади, матеріали і технології неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 1996, 1999 рр.), на науково-технічній конференції (1997 р.) професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), на Міжнародній конференції з проблем неруйнівного контролю (м. Рим, 2000 р.), на науково-практичному семінарі “Розроблення, впровадження і сертифікація систем якості: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення” (м. Львів, 2000 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції “Надійність машин та прогнозування їх ресурсу” (м. Івано-Франківськ, 2000 р.), на конференції з міжнародною участю “Леотест-2001” (м. Славськ), а також доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри “Методи та прилади контролю і визначення складу речовин” ІФНТУНГ протягом 1997 – 2001 рр.

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи повністю висвітлені у 23 друкованих працях автора, серед яких 3 галузевих стандарти; 3 статті, в т.ч. одна одноосібна, у фахових виданнях - “Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”, “Методи та прилади контролю якості”, “Техническая диагностика и неразрушающий контроль”; 3 винаходи з експертизою по суті й 2 патенти-аналоги; 12 доповідей та тез доповідей на науково-технічних конференціях і семінарах.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 201 найменування та 6 додатків на 52 сторінках. Текст дисертації викладений на 157 сторінках і включає 36 рисунків на 22 сторінках та 13 таблиць на 12 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показано актуальність теми дисертації, її зв'язок з державними і галузевими науково-технічними програмами, з планами науково-дослідних робіт нафтогазової галузі; сформульовано мету та визначено задачі дослідження; висвітлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

В першому розділі проаналізовані причини аварійності і встановлено, що для всіх типів трубних колон найбільш вразливими з точки зору відмов є різьбові з'єднання, в тому числі нових конструкцій. З ними пов'язано до 50 % відмов буриньних (з них третина припадає на замкові з'єднання) та понад 55% відмов обсадних і насосно-компресорних колон. Головною причиною відмов різьбових з'єднань є неналежна якість згвинчування.

Одним з найефективніших шляхів попередження відмов є своєчасне виявлення неруйнівними методами та вилучення зі складу трубної колони різьбових з'єднань неналежної якості. Розробці методів і засобів неруйнівного контролю труб та їх різьбових з'єднань присвячені роботи багатьох вчених – М.П.Альошина, Я.Б.Бажалука, Л.А.Баштаннікова, С.Ф.Білика, Д.В.Гнедова, А.К.Гурвіча, І.Г.Єрмолова, Я.М.Зінчака, О.М.Карпаша, В.В.Клюєва, І.Крауткремера, П.Я.Криничного, І.Г.Мигаля, В.І.Михайленка, В.О.Троїцького, Д.Флікбаута та інших. Але широке впровадження нових типів різьбових з'єднань, які відзначаються різноманітністю конструкцій, потребує нових підходів до вирішення задач їх контролю. Першим кроком в цьому напрямку є класифікація різьбових з'єднань з позицій неруйнівного контролю за конструктивними та функціональними ознаками. Для спрощення класифікації введено поняття "додаткове ущільнення типу "метал - метал".

Проведення неруйнівного контролю трубних колон перед спуском в свердловину є регламентованою технологічною процедурою і, згідно з сучасними підходами, зробити його максимально ефективним можна завдяки єдиній системній основі, комплексному підходу та моніторингу. В зв'язку з цим, крім технічного та методичного забезпечення, виникає потреба у визначенні всього комплексу параметрів, які характеризують якість трубної колони і повинні піддаватись контролю; у впровадженні організаційних заходів, які передбачали б обов'язковість такого контролю; в регламентації процедур контролю та документування його результатів.

В другому розділі показано, що працездатність трубної колони залежить від сукупної дії двох складових - умов експлуатації та якості (міцності й герметичності) самої колони. На основі проведених досліджень та промислових даних визначений комплекс параметрів, за якими можна оцінити якісний стан трубної колони в будь-який період її експлуатації.



Для встановлення можливостей контролю якості, було проаналізовано понад 100 типів різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту (вітчизняних, виготовлених за стандартами Американського нафтового інституту, та тих, що випускаються провідними фірмами - "Валлурек", Маннесманн", "Армко", "Атлас Бредфорд", "Ніппон Стіл Корп.", "Хайдріл"- за їхніми специфікаціями) і показано, що всі їх можна систематизувати таким чином:

- з'єднання з трикутною (конічною та циліндричною) різьбою без додаткових елементів для підвищення міцності й герметичності. Якість таких з'єднань забезпечується завдяки натягу по гранях та наявності мастила в западинах різьби;

- з'єднання з трапецевидною (конічною та циліндричною) різьбою без додаткових елементів для підвищення міцності й герметичності. Якість таких з'єднань забезпечується завдяки діаметральному (по внутрішньому або зовнішньому діаметру різьби) та осьовому (по боковій грані витка) натягу різьби;

- з'єднання з трикутною, трапецевидною або замковою різьбою та додатковими елементами для підвищення міцності (в тому числі завдяки перерозподілу напружень в різьбі) й герметичності (завдяки щільному приляганню гладких поверхонь сумірної з розмірами з'єднання протяжності, вставним елементам і т.ін.). До цієї групи належать і замкові з'єднання, якість яких забезпечується діаметральним натягом по різьбі та осьовим натягом по упорних поверхнях.

Додаткові ущільнення типу "метал - метал" за конструктивним виконанням поділяються на два типи: діаметральні та торцеві. До першого типу належать конічні та циліндричні пояски, розташовані зі сторони зовнішньої, внутрішньої або й одночасно обох поверхонь труби, по яких під час згинчування створюється певний діаметральний натяг. Другий тип - торцеві ущільнення (упорні торці, упорні виступи), які виконуються під прямим або гострим кутом і також збираються з певним рівнем напружень. Упорні поверхні цього типу можуть розташовуватись аналогічно попереднім.

За функціональним призначенням ущільнення типу "метал - метал" поділяються на призначені переважно для забезпечення герметичності та призначені переважно для забезпечення міцності. В першому випадку визначальним для якості з'єднання є неперервність поверхні спряження, в другому - ступінь напруженості з'єднання та рівень і характер розподілу напружень в спряжених елементах.

Таким чином, будь-яке з існуючих з'єднань трубних колон, використовуваних в нафтогазовій галузі, можна представити як комбінацію з означених конструктивних елементів певного функціонального призначення. Це дає можливість перейти до розробки й агрегування типових методик контролю уніфікованих елементів.

Дослідження особливостей поширення ультразвукових коливань в різьбових частинах труб з конусністю  $2\phi$  дозволило одержати аналітичні залежності між геометричними характеристиками з'єднання та параметрами способів його акустич-

ного контролю (кут падіння  $\alpha$ , кут вводу  $\beta$ , відстань  $l$  між точками вводу та приймання або відбиття ультразвукових коливань) різними методами (рис. 1, 2):

1) методами відбитого та прониклого випромінювання (див. рис. 1) – для  $n$ -ного відбиття відповідно від внутрішньої та зовнішньої поверхні ( $n$  - парне число):

$$l_n = \frac{l_{n-2} * ctg\beta - l_{n-1} * tg\varphi}{ctg[\beta - (n-1)\varphi] + tg\varphi}, \quad (1)$$

$$l_n = l_{n-1} * ctg[\beta - (n-2)\varphi] * tg(\beta - n\varphi). \quad (2)$$

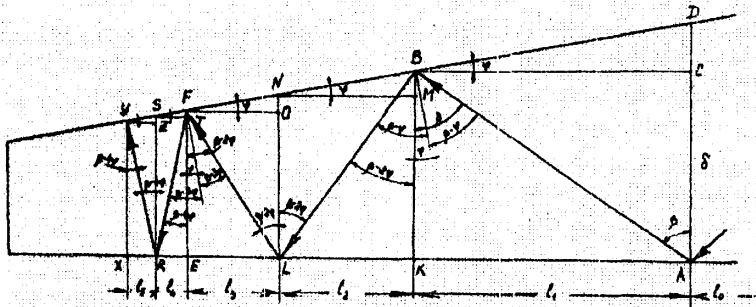


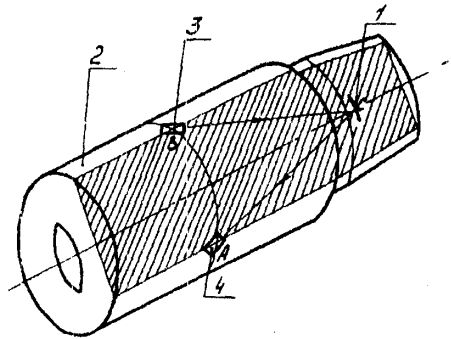
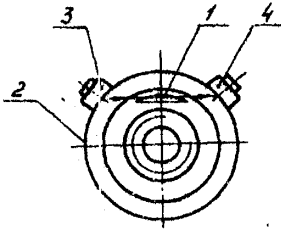
Рис. 1. Побудови для встановлення залежностей між геометричними характеристиками з'єднання та параметрами способів їх контролю

2) луно-дзеркальним способом (тут  $H$  – глибина залягання дефекту):

$$\alpha = \arcsin \left\{ \frac{C_1}{C_2} \sin \left[ \arctg \frac{(R-H)\sqrt{L^2 + R^2 - (R-H)^2}}{R^2 - (R-H)^2} \right] \right\}, \quad (3)$$

$$\beta = \arctg \left[ \frac{(R-H)\sqrt{L^2 + R^2 - (R-H)^2}}{R^2 - (R-H)^2} \right]. \quad (4)$$

Залежності (1), (2) дозволяють обчислювати параметри способу контролю для певної відомої або очікуваної орієнтації поверхні відбиття (дефекту, спряження тощо) без графічних побудов. Виконання залежностей (3), (4) забезпечує мінімум втрат ультразвукової енергії завдяки найкращим умовам відбиття УЗК від площини дефекту і є основою для розробки способів контролю товстостінних труб, які неможливо контролювати іншим чином через значне затухання УЗК в товщі металу. На їх основі розроблений спосіб, який вперше дозволив здійснювати дефектоскопію замкових рязьових з'єднань ОБТ всіх типорозмірів в згинченому стані.



1 - дефект, 2 - ніпельна частина  
ОБТ, 3, 4 -- випромінюючий та  
приймаючий п'єзоперетворювачі

*Рис. 2 - Схема контролю ніпельної частини ОБТ луно-дзеркальним способом*

Теоретичні дослідження фізичних процесів, що відбуваються в зоні спряження під час згинчування, показали, що герметичність з'єднання характеризується неперервністю поверхні спряження, його несуча здатність - величиною та розподілом напружень в спряжених елементах, а наявність дефектів в різьбі призводить до перерозподілу напружень в торцевому ущільненні.

Третій розділ містить методики й результати експериментальних досліджень, що проводились для перевірки окремих теоретичних положень та висновків, одержаних в попередньому розділі, та уточнення параметрів способів контролю.

В залежності від поставлених задач, дослідження проводились на спеціальних зразках, що імітували елементи різьби та додаткових ущільнень і виготовлювались з фрагментів труб нафтового соргаменту, а також на натурних зразках різьбових частин об'єктованих, бурильних, обсадних та насосно-компресорних труб - вітчизняних та імпортованих. Натурні зразки (за винятком окремо оговорених) виготовлювались з бездефектних різьбових пар, штучні дефекти визначених розмірів (в різьбі ОБТ, в зоні ущільнень типу "метал-метал") наносились на фрезерному станку. Необхідні напруження в зоні додаткових ущільнень створювались шляхом селективного підбору різьбових пар за результатами інструментального контролю, розрахунку очікуваного натягу і згинчування з'єднання з регламентованим крутним моментом.

При дослідженнях використовувалась, як правило, серійна контрольно-вимірювальна апаратура, атестована в органах Держстандарту, зокрема, серійні ультразвукові прилади та серійні і спеціально виготовлені (зі складу розроблених акустичних блоків) п'єзоперетворювачі. Параметри п'єзоперетворювачів перед проведенням експериментів перевірялись за стандартною методикою.

Для визначення інформативних параметрів, за якими можна оцінити якість різьбового з'єднання, проводились дослідження на зразках, що складались з двох спряжених частин і імітували елементи різьбового з'єднання, та на суцільному

(монолітному) зразку. В результаті досліджень встановлений вплив і кореляційні зв'язки між питомим тиском на спряжених поверхнях та амплітудою УЗК, що пройшли через зону спряження, для різних умов контактування та частот УЗК, і встановлено, що навантаження суцільного зразка не впливає на амплітуду. Ці результати співпадають з одержаними в подальшому на натурних зразках і підтверджують дані теоретичних досліджень стосовно механізму формування напружень в додаткових ущільненнях типу "метал - метал".

Залежності амплітуди сигналу, який пройшов через зону спряження, від питомого тиску, при різних умовах контактування мають чотири характерних ділянки. До досягнення певного навантаження (40 МПа) амплітуда прийнятого сигналу круто (0.2 – 0.4 дБ/МПа) зростає, що свідчить про припрацювання спряжених поверхонь, супроводжуване швидким збільшенням фактичної площі дотику, і підтверджує теоретичні висновки щодо процесів, які відбуваються в зоні спряження під час згинчування з'єднань. При подальшому збільшенні питомого навантаження до 120 - 160 МПа в зоні спряження розпочинається пружно-пластична деформація мікронерівностей, супроводжувана поступовим зростанням площі дотику і незначним (0.03 - 0.07 дБ/МПа) збільшенням амплітуди прийнятого сигналу, що співпадає з даними досліджень В.Г.Щербінського. В діапазоні від 120 до 160 МПа рівень амплітуди, а отже, і площа дотику стабілізується, що добре узгоджується з експериментальними даними Л.Б.Березовського та В.Г.Щербінського. Після 140 – 160 МПа амплітуда знову починає зростати, що свідчить про подальше збільшення фактичної площі дотику – внаслідок пластичної деформації вже згладжених мікронерівностей, що узгоджується з даними С.Ф.Білика.

Причина тимчасової стабілізації амплітуди стає зрозумілою з рис.3 – після 160 МПа криві для Rz20, Rz40 та Rz60 зливаються в одну. Отже, в проміжку від 120 до 160 МПа висота початкових мікронерівностей на спряжених поверхнях вирівнюється, площадки контакту збільшуються, контактні тиски стають меншими за границю текучості і знову, як показано в другому розділі, відбувається пружна деформація мікронерівностей.

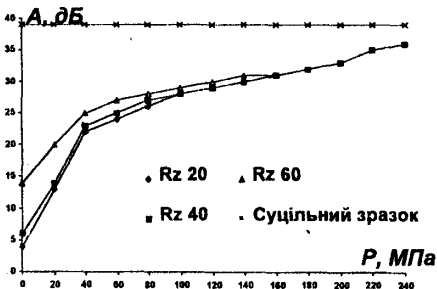


Рис. 3 - Залежність амплітуди сигналу, що пройшов через зону спряження, від навантаження з'єднання для різних шорсткостей контактуючих поверхонь та суцільного зразка

Експериментальні дослідження показали, що характер залежності між питомим тиском та амплітудою сигналу, який пройшов через зону спряження, не залежить від шорсткості контактуючих поверхонь, наявності та типу мастила, але відсутність мастила в зоні спряження призводить до значного (порядку 12 дБ) зменшення амплітуди прийнятого сигналу, що відповідає даним інших дослідників

Таким чином, рівень і характер зміни амплітуди реально відображає фізичні процеси, які відбуваються під час навантаження або, в нашому випадку, під час згинчування з'єднання, і може використовуватись як інформативний сигнал, що безпосередньо характеризує якість з'єднання через фактичну площу дотику спряжених поверхонь. В інтервалах контактних тисків, які нормуються для більшості конструкцій різьбових з'єднань (від 60 до 180 МПа), між амплітудою сигналу, що пройшов через зону спряження (або відбився від неї), та питомим тиском існують кореляційні зв'язки, коефіцієнт кореляції для робочого діапазону та реальних умов контактування становить від 0.95 до 0.99.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблені способи контролю якості торцевих ущільнень типу "метал – метал" для обважнених буринь труб (так зване зусилля затяжки) та для обсадних і насосно-компресорних труб. Схема для розрахунку параметрів п'єзоперетворювачів показана на рис. 4, результати вимірювання амплітуд сигналу, що пройшов через зону торцевого ущільнення або відбився від неї - на рис. 5 (для замкового з'єднання ОБТ з втомною тріщиною в різьбі) та на рис. 6 (для обсадних труб фірми "Ніппон Стіл Корп."). Різниця амплітуд луно-імпульсів при якісному ущільненні та за наявності різного роду відхилень (недостатня напруженість, втомна тріщина в різьбі) становить від 6 до 12 дБ, що підтверджує наявність перерозподілу напружень та взаємозв'язок між ступенем напруженості з'єднання та його акустичними властивостями.

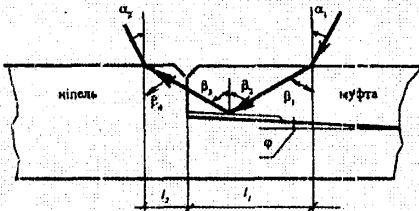


Рис. 4. Схема для розрахунку параметрів способів контролю якості торцевих ущільнень типу "метал – метал"

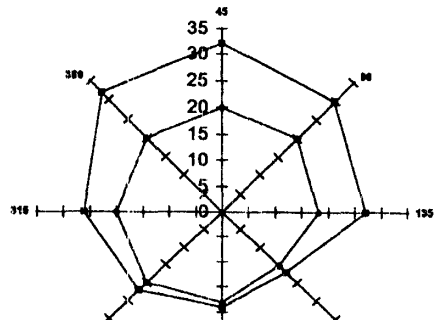
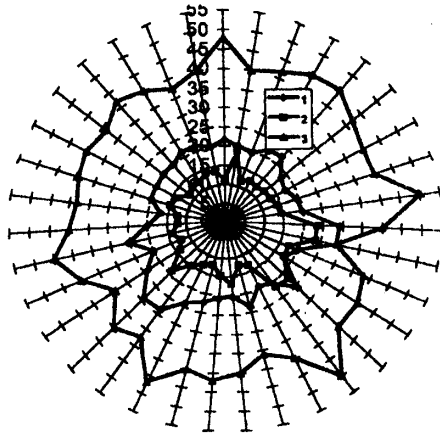


Рис. 5. Розподіл амплітуд луно-імпульсів по периметру торцевого ущільнення ОБТ, згиненого з регламентованим крутним моментом (зовнішній контур – з'єднання з втомною тріщиною)

Рис. 6. Розподіл амплітуд луно-імпульсів по периметру торцевого ущільнення типу "метал – метал" для обсадних труб фірми "Nippon Steel Корп." при реалізації методу відбитого випромінювання:



- 1 – згинчення вручну;
- 2 – згинчення з регламентованим крутним моментом;
- 3 – герметичне з'єднання після дозгинчування

Експериментальні дослідження на натурних зразках обважнених бурильних труб з реальними та штучними дефектами дали можливість уточнити параметри та розробити спосіб дефектоскопії ніпельної частини замкового різьбового з'єднання в згинченому стані (див. рис. 3) з похибкою вимірювань в межах 8%.

Експерименти проводились з використанням п'єзоперетворювачів з плоскою робочою поверхнею, максимум (16-20 дБ) амплітуди відбитих від дефектів луно-імпульсів мав місце при використанні парних п'єзоперетворювачів з кутом вводу 55°. Після надання робочій поверхні кривизни, радіус якої відповідав радіусу контрольованої труби, амплітуда сигналів збільшилась майже на 10 дБ. Експерименти показали, що відстань між точками вводу перетворювачів мало впливає на рівень амплітуди, що співпадає з даними А.К.Гурвіча.

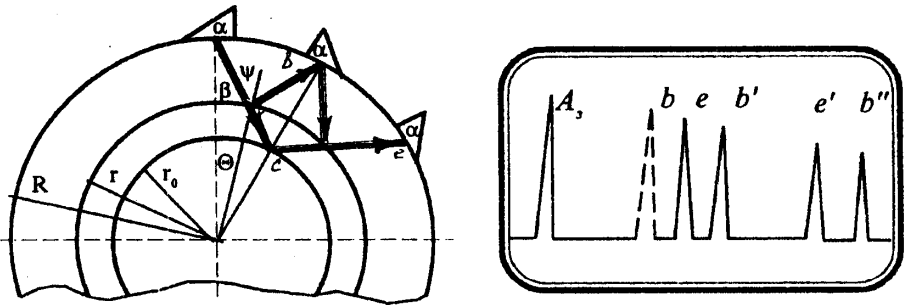


Рис. 7 – Спосіб контролю якості діаметральних ущільнень типу "метал – метал" та вид дефектограми

Параметри способу контролю, показаного на рис. 7, обчислюються за виразами:

$$\beta = \arcsin \left[ \frac{C_1}{C_2} \frac{r}{R} \sin(1 - \psi) \right] \quad (5)$$

$$\psi = \arctg \left[ \frac{R \sin\left(\frac{\pi}{6n}\right)}{R - r - R \left[ 1 - \sqrt{4 \sin^2\left(\frac{\pi}{12n}\right) - \sin^2\left(\frac{\pi}{6n}\right)} \right]} \right] \quad (6)$$

На підставі проведених експериментальних досліджень та розрахунків розроблені способи контролю якості діаметральних ущільнень типу “метал – метал” (один з них показаний на рис. 7), виведені аналітичні залежності для визначення основних параметрів способів і граничні умови їх застосування. Ці способи апробовані на бурильних і насосно-компресорних трубах діаметром 73 та 89 мм і можуть бути поширені на інші типорозміри труб з діаметральними ущільненнями при умові перерахунку основних параметрів за згаданими залежностями.

Розрахункова достовірність результатів при контролі розробленими способами з використанням серійних ультразвукових приладів та проведенні контролю фахівцями II рівня становить не менше 0.9.

Агрегування методик піддавалось експериментальній перевірці на натурних зразках з'єднань обсадних труб фірми “Ніппон Стіл Корп.” з трапецієвидною різьбою, конічними діаметральними проточками для мастила та торцевими ущільненнями типу “метал – метал”. Цей підхід виявився досить ефективним, і в подальшому був практично реалізований під час розробки галузевих стандартів з неруйнівного контролю нарізних труб нафтового сортаменту та інших об'єктів нафтогазового комплексу.

**Четвертий розділ** містить інформацію про розробку та впровадження технічних засобів (установки УНКТ-1, ОБТ, УДР, “Контакт-1” та “Контакт-2”, лабораторія ПЛНК-2), технологій та нормативного забезпечення для неруйнівного контролю.

Під час розробки технічних засобів основна увага приділялась розробці акустичних блоків та систем сканування, які реалізували б нові технології за допомогою серійної ультразвукової апаратури. З огляду на те, що технічні засоби призначені для експлуатації в польових умовах, ще одна задача полягала в розширенні функціональних можливостей обладнання при одночасному зведенні до мінімуму потрібної апаратури. Виходячи з цього, технічні засоби розроблялись за модульним принципом, окремі модулі могли використовуватись самостійно або в комплексі з іншими, утворюючи таким чином цілу гаму обладнання – від спеціальних малогабаритних переносних установок для одного виду контролю (установка ОБТ для контролю замкових з'єднань обважених бурильних труб в згвинченому стані) до

багатофункціональних технічних засобів. Одним з таких засобів є комплексна установка для неруйнівного контролю насосно-компресорних та бурильних труб УНКТ-1: до її складу входять установка для дефектоскопії різьбових ділянок і тіла та товщинометрії тіла бурильних і насосно-компресорних труб УКТ-1, а також установка для контролю герметичності діаметральних ущільнень різьбових з'єднань насосно-компресорних труб УКГ-1. Інша розробка - пересувна лабораторія неруйнівного контролю ПЛНК-2, змонтована на шасі автомобіля високої прохідності, - містить повний набір технічних засобів, необхідних для контролю всього комплексу параметрів, які визначають якість трубної колони, в тому числі акустичні блоки для дефектоскопії замкових з'єднань обважнених бурильних труб, для контролю якості діаметральних та торцевих ущільнень типу "метал -- метал" замкових з'єднань ОБТ та бурильних труб та ін. Установка УДР призначена для дефектоскопії згвинчених замкових з'єднань ОБТ та контролю якості їх торцевих ущільнень, установки "Контакт-1" та "Контакт-2" – для контролю ущільнень типу "метал – метал" відповідно обсадних (фірми "Ніппон Стіл Корп.") та бурильних труб.

В цьому розділі сформульовані основні вимоги до складу, змісту та порядку розроблення технічних умов, пов'язаних з наданням послуг з неруйнівного контролю, оцінена ефективність використання нових підходів до вирішення проблеми контролю якості трубних колон, а також наведена інформація про розроблені і впроваджені нормативні документи (галузеві стандарти, технічні умови).

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі контролю якості різьбових з'єднань трубних колон, що полягає в розробці необхідних для проведення контролю способів, методів, технічних засобів та нормативних документів, впровадження яких сприяє попередженню відмов. В роботі запропонований і реалізований новий підхід до контролю якості трубних колон, який розвиває вимоги ДСТУ ISO серії 9000.

Основні результати роботи полягають в наступному.

1. Дослідження процесів, що відбуваються в зоні спряження під час згвинчування, та аналіз конструктивних і функціональних особливостей різьбових з'єднань дали можливість вперше визначити й науково обґрунтувати з точки зору можливостей неруйнівного контролю класифікаційні ознаки для всіх типорозмірів різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту. Із результату будь-яке з різьбове з'єднання можна представити як комбінацію уніфікованих елементів, для кожного з яких може бути розроблена типова методика контролю, що значно спрощує контроль нових типів з'єднань.



2. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень особливостей поширення акустичних (ультразвукових) коливань під дією зовнішніх навантажень при різних умовах контактування спряжених поверхонь визначені інформативні сигнали для контролю параметрів, що безпосередньо характеризують якість (міцність та герметичність) різьбового з'єднання. Ці інформативні сигнали дозволяють оцінити якість згвинченого з'єднання у будь-який період експлуатації, що дає можливість попередити відмову з'єднання і одночасно запобігти його необгрунтованому відбракуванню.

3. Встановлені закономірності поширення ультразвукових коливань в різьбових частинах труб і вперше одержані аналітичні вирази:

- для розрахунку параметрів способу контролю кінчних з'єднань методом відбитого й прониклого випромінювання, що дає можливість обчислювати згадані параметри для всіх типорозмірів з'єднань без традиційних графічних побудов

- для розрахунку параметрів способу акустичного контролю ніпельної частини різьбового з'єднання луно-дзеркальним способом за умов оптимального відбиття від площини дефекту, що забезпечує мінімальні втрати ультразвукової енергії і вперше робить можливим контроль замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб всіх типорозмірів в згвинченому стані.

4. На основі одержаних аналітичних виразів та кореляційних зв'язків розроблені нові і вдосконалені існуючі способи контролю якості діаметральних та торцевих ущільнень типу "метал – метал", а також технічні засоби, необхідні для реалізації цих способів. Завдяки цьому забезпечена можливість контролю (з достовірністю результатів не менше 0.9) нових типів різьбових з'єднань, для яких якість додаткових ущільнень є безпосередньою умовою ефективного функціонування.

5. Вперше розроблений, технічно забезпечений і практично реалізований спосіб акустичного контролю, який забезпечує виявлення дефектів (з відносною похибкою до 8%) у всіх типорозмірах замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб в згвинченому стані. Завдяки використанню цього способу суттєво зменшуються непродуктивні витрати часу на проведення контролю в процесі спуско-підймальних операцій та підвищується безпека виконання робіт над гирлом свердловини.

6. На основі проведеної класифікації різьбових з'єднань вперше запропоноване, експериментально перевірене і практично реалізоване агрегування методик контролю уніфікованих елементів різьбових з'єднань, що дало можливість суттєво зменшити кількість зразків для настроювання і контролювати нові типи різьбових з'єднань за існуючими методиками.

7. На основі сучасних підходів до вирішення проблем якості сформульовані вимоги до проведення неруйнівного контролю й розроблені технології проведення контролю різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту, реалізовані в ГСТУ 320.02829777.002-95 "Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб

нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації” та технічних умовах, пов’язаних з наданням послуг з неруйнівного контролю.

8. Розроблені методи, технічні засоби та нормативні документи впроваджені й використовуються на нафтогазовидобувних підприємствах України, економічний ефект від їх використання складає понад 950 тис. грн. на рік.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карпаш О.М., Кійко Л.М. Алгоритм розрахунку параметрів способу контролю конічних з’єднань//Збірн. наукових праць “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів”. – Київ - Львів: Леотест, 2001. – С. 12 - 15
2. Криничний П.Я., Карпаш О.М., Кійко Л.М. Ультразвукова дефектоскопія різевих з’єднань обважнених бурильних труб в зібраному стані // Методи та прилади контролю якості. – 2000. - № 6. – С. 9-12
3. Кійко Л.М. Стосовно підходів до прогнозування ресурсу труб нафтового сортаменту // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 1997. - № 34. - Т. 6. - С. 206 - 211
4. Карпаш О.М., Кійко Л.М., Даниляк Я.Б., Молодецький І.А. Про один з підходів до контролю якості різбових з’єднань труб нафтового сортаменту//Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1996. № 4. – С. 58 - 61
5. Карпаш О.М., Криничний П.Я., Кійко Л.М., Карпаш М.О. Застосування акустичних методів для контролю якості різбових з’єднань//Збірн. наук.праць “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів”. – Київ - Львів: Леотест, 2001. – С. 34 - 37
6. ГСТУ 320.02829777.002-95 Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації. – Введ. вперше; Введ. 01.03.97. – К.: Держнафтогазпром, , 1997. – 102 с.
7. Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Кійко Л.М., Цюцяк І.І., Козоріз А.В. Надання послуг з неруйнівного контролю та технічної діагностики в світлі вимог системи якості НВФ "Зонд"//Тези. доп. на 4 Міжнар. наук.-техн. конф. "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання". - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. - С. 67 - 71
8. А.с. 1490625 G 01 N 29/04. Устройство для ультразвукового контроля резьбовых соединений труб//И.В.Гиря, Л.Б.Футерко, Л.Н.Кийко, Н.А. Молчанов 4307751/25-28, Заявл. 21.09.89 Оpubл. 30.06.89, Бюл. № 24
9. Пат РФ 1792530, G 01 N 29/04. Способ ультразвукового контроля конических резьбовых соединений с упорными уступами/О.М.Карпаш, Я.М.Зинчак, П.Я.Криничный, И.Г.Мигаль, Я.М.Бажалук и Л.Н.Кийко. - № 4934690/28; Заявлено 29.03.91; Оpubл. 30.01.93, Бюл. № 4. – 4 с.
10. ГСТУ 320.02829777.001-95 Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях. – Введ. вперше; Введ. 01.01.96. – К.: Держнафтогазпром, 1996. – 18 с.

## АНОТАЦІЯ

**Кійко Л.М.** Методи й засоби контролю різьбових з'єднань трубних колон. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2002.

Дисертація присвячена питанню контролю якості різьбових з'єднань бурильних, обсадних і насосно-компресорних колон, яке вирішується з урахуванням вимог ДСТУ ISO серії 9000: на єдиній системній основі розроблені методи, технічні засоби та нормативні документи, які сприяють попередженню відмов завдяки своєчасному виявленню неякісних з'єднань. Розроблена класифікація за конструктивними й функціональними ознаками дозволяє будь-яке різьбове з'єднання представити як комбінацію типових елементів, для контролю яких розроблені типові методики й застосоване їх агрегування. Одержані аналітичні вирази для розрахунку основних параметрів способів акустичного контролю всіх типорозмірів з'єднань, що, зокрема, вперше уможливило контроль ніпельної частини згвинченого замкового з'єднання. Дослідження процесів, що відбуваються в зоні спряження під час згвинчування, виявило граничні умови для амплітудного методу акустичного контролю. Розроблені нормативні документи, що регламентують вимоги до проведення контролю та пов'язані з ним процедури. Всі розробки впроваджені.

Ключові слова: трубні колони, різьбові з'єднання, контроль, якість згвинчування, класифікація, регламентація вимог.

## АННОТАЦИЯ

**Кийко Л.Н.** Методы и средства контроля резьбовых соединений трубных колонн. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученого звания кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - Приборы и методы контроля и определения состава веществ. - Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2002.

Диссертация посвящена вопросу контроля качества резьбовых соединений бурильных, обсадных и насосно-компресорных колонн, который решается на основе требований стандартов ISO серии 9000. В развитие этих требований на единой системной основе разработаны методы, технические средства и нормативные документы для контроля качества резьбовых соединений трубных

колон. Использование всего комплекса средств создает условия для предупреждения отказов благодаря своевременному выявлению дефектных или некачественно свинченных резьбовых соединений. Резьбовые соединения являются наиболее уязвимыми в плане возможных отказов, потому их конструкции постоянно совершенствуются. Но конструктивное усовершенствование эффективно только при обеспечении надлежащего качества свинчивания соединения.

В связи с этим, учитывая большое разнообразие применяемых типов резьбовых соединений, была разработана система их классификации по конструктивным и функциональным признакам с точки зрения неразрушающего контроля. Эта система дает возможность представить любое резьбовое соединение как комбинацию типовых элементов. Для этих элементов, исходя из их конструктивных особенностей и назначения, разрабатываются типовые агрегируемые методики контроля, благодаря чему значительно упрощается контроль новых типов соединений. Для более строгой классификации введено понятие «уплотнение типа «металл – металл»». В процессе исследований определен комплекс параметров, характеризующих качественное состояние трубной колонны на любом этапе ее жизненного цикла.

Получены аналитические выражения, позволяющие определять основные параметры способов акустического контроля методами прошедшего и отраженного излучения для всех типоразмеров резьбовых соединений расчетным путем. Эти выражения учитывают геометрические характеристики соединения, а также местонахождение и ориентацию поверхности отражения (дефекта, грани витка резьбы, дополнительного уплотнения). Впервые получено аналитическое выражение для эхо-зеркального способа акустического контроля замковых соединений, что тоже впервые дало возможность контролировать непильную часть свинченного соединения утяжеленных буровых труб (иные способы в этом случае неприемлемы вследствие затухания ультразвуковых колебаний в толще стенки трубы).

Исследование процессов, происходящих в зоне сопряжения во время свинчивания, позволило определить пределы применения амплитудного метода акустического контроля и обосновать возможность выявления дефектов в резьбовой части соединений на основе перераспределения напряжений в зоне торцового уплотнения типа «металл – металл».

Теоретические результаты подтверждены экспериментальными данными, полученными в процессе исследований на экспериментальных и натуральных образцах. На этой основе разработаны способы контроля качества диаметральных и торцовых уплотнений типа «металл – металл» свинченных резьбовых соединений, в т.ч. замковых, и технические средства для реализации этих способов.

Эти разработки вошли в состав комплексной установки УНКТ-1 и передвижной лаборатории ПЛНК-2, положены в основу специальных установок для контроля качества (дефектоскопии в свинченном состоянии и торцового уплотнения

- усилия затяжки) утяжеленных бурильных труб ОБТ-1 и УДР-1, для контроля качества дополнительных уплотнений типа «металл – металл» обсадных («Контакт-1», торцовое уплотнение) и бурильных («Контакт-2», диаметральное уплотнение) труб. Эти средства внедрены и эффективно эксплуатируются в Долинском, Бориславском, Ахтырском, Полтавском и Стрийском управлениях буровых работ, в Шебелинском управлении технологического транспорта, на Бориславской и Новоуренгойской базах производственного обслуживания, в ПО "Уренгойгазпром"

В результате выполнения работы определены требования к разработке технических условий на проведение неразрушающего контроля объектов нефтегазового комплекса, а также разработан ряд нормативных документов (отраслевые стандарты, технические условия), регламентирующих требования к проведению контроля и связанным с ним процедурам. Стандарты используются большинством нефтегазодобывающих предприятий Украины, технические условия - научно-производственной фирмой «Зонд» и функционирующим при ней аттестационным центром.

Ключевые слова: трубные колонны, резьбовые соединения, контроль, качество свинчивания, классификация, регламентация требований.

## ABSTRACTS

Kiyko L.M. Methods and means of non-destructive testing of threaded joints of strings. - Manuscript.

Thesis for obtaining of the scientific degree of Candidate of Engineering Sciences by speciality 05.11.13 - Methods & Devices of Control and Definition of Contents of Matters. - Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil & Gas, Ivano-Frankivsk, 2001.

The dissertation is devoted to a question of non-destructive testing of threaded joints of drill pipe, casing & production strings. It's solved in view of the requirements ISO 9000: on a uniform system basis the methods, means and specification are developed, which introduction enables to warn a refusal due to duly revealing defective or poor screwed together threaded joints. The classification of threaded joints to constructive and functional attributes allows to present such of them as a combination of typical elements, which are testing by the typical ganged technique. The analytical expressions parameters of testing for all standard sizes threaded joints are received & for the first time has enabled to test a nipple of the screwed together joints of boring pipes. Research of processes of adjoins during the treading has allowed to determine limits of a peak method. A number of the specifications for testing and it's procedures is developed. All development are introduced and effectively used.

Key words: strings, threaded joints, non-destructive testing, quality of threading, classification, regulation of the requirements.