

УДК 620.179

МЕТОДИ Й ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБНИХ КОЛОН

© Кійко Л.М.

*НВФ "Зонд", заступник директора НВФ "Зонд", уповноважений з якості
(на час захисту - завідувач сектором технічного забезпечення НВФ "Зонд")*

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин*

На єдиній системній основі (ДСТУ ISO серії 9000) 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 методиками 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. Розроблені нормативні документи, що регламентують вимоги до проведення контролю та пов'язані з ним процедури. Усі розробки впроваджені.

Поліпшити техніко-економічні показники провідки та експлуатації нафтових і газових свердловин можна завдяки більш ефективному використанню та підтриманню працездатності трубних (бурильних, обсадних, насосно-компресорних) колон. Для цього існує два шляхи: забезпечення якості трубних колон через вдосконалення їх конструкцій та технологій експлуатації; систематичний контроль якості трубних колон неруйнівними методами для своєчасного виявлення й вилучення з експлуатації дефектних елементів. Оскільки неруйнівний контроль трубних колон перед спуском у свердловину є регламентованою технологічною процедурою, то слід зробити його максимально ефективним: визначити комплекс параметрів, які характеризують якість трубно-колонни і повинні піддаватись контролю; впровадити не тільки технічне та методичне забезпечення, але й організаційні заходи, які передбачали б обов'язковість такого контролю; регламентувати процедуру контролю та документування його результатів.

Об'єктом удосконалення трубних колон переважно є різьбові з'єднання. Але конструктивні вдосконалення зменшують ймовірність поломок тільки за умови належної якості (міцності і герметичності)

з'єднань. Отже, з'єднання все одно слід контролювати, і якщо раніше основною невирішеною проблемою вважалась оцінка якості з'єднань після їх згвинчування та в процесі експлуатації, то зараз вона додатково ускладнена різноманітністю удосконалених конструкцій: це вимагає розробки технологій контролю для кожної з них.

З огляду на це, була запропонована наступна послідовність вирішення проблеми:

1) аналіз конструкцій 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;

2) визначення взаємозв'язків між параметрами, що характеризують якість різьбових з'єднань, та інформативними сигналами, за якими оцінюються ці параметри;

3) встановлення закономірностей поширення ультразвукових коливань (УЗК) в різьбових частинах труб для розробки способів їх контролю;

4) проведення теоретичних та експериментальних досліджень для розробки способів контролю якості типових елементів різьбових, у т.ч. замкових, з'єднань трубних колон (власне різьб, додаткових

діаметральних та торцевих ущільнень типу "метал - метал" тощо);

5) дослідження можливості використання принципу агрегування методик контролю типових елементів різьбових з'єднань та його апробація;

б) розроблення технічних засобів та технологій для реалізації розроблених способів контролю якості різьбових з'єднань та необхідного для їх ефективного використання нормативного забезпечення.

Аналіз конструктивних та функціональних ознак понад 100 типів різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту (бурильних, обсадних та насосно-компресорних; вітчизняних, виготовлених за стандартами Американського нафтового інституту та технічними умовами провідних виробників - фірм "Валлурек", "Маннесманн", "Армо", "Атлас Бредфорд", "Ніппон Стіл Корп.", "Хайдріл" та ін.) показав, 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 трапецієвидною (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, трапецієвидною 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). До цієї групи належать і замкові з'єднання, якість яких забезпечується діаметральним натягом по різьбі та осьовим натягом по упорних поверхнях.

Для спрощення класифікації було введено поняття "додаткове ущільнення типу "метал - метал". За конструктивним виконанням такі ущільнення були поділені 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 та виступи), які виконуються під прямим або гострим кутом і також збираються з певним рівнем напружень. Упорні поверхні цього типу розташовуються аналогічно попереднім.

За функціональним призначенням ущільнення типу "метал - метал" поділяються на призначені переважно для забезпечення герметичності та призна-

чені переважно для забезпечення міцності. У 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. Отже, є можливість перейти до розробки уніфікованих методик контролю однотипних елементів і застосувати агрегування методик.

Дослідження особливостей поширення ультразвукових коливань в різьбових частинах труб з конусністю 2φ дозволило одержати аналітичні залежності між геометричними характеристиками з'єднання та параметрами способів його акустичного контролю (кут падіння α , кут вводу β , відстань l між точками вводу та приймання або відбиття ультразвукових коливань):

1) методами відбитого та проникного випромінювання - для n -го відбиття відповідно від внутрішньої та зовнішньої поверхні (n - парне число):

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

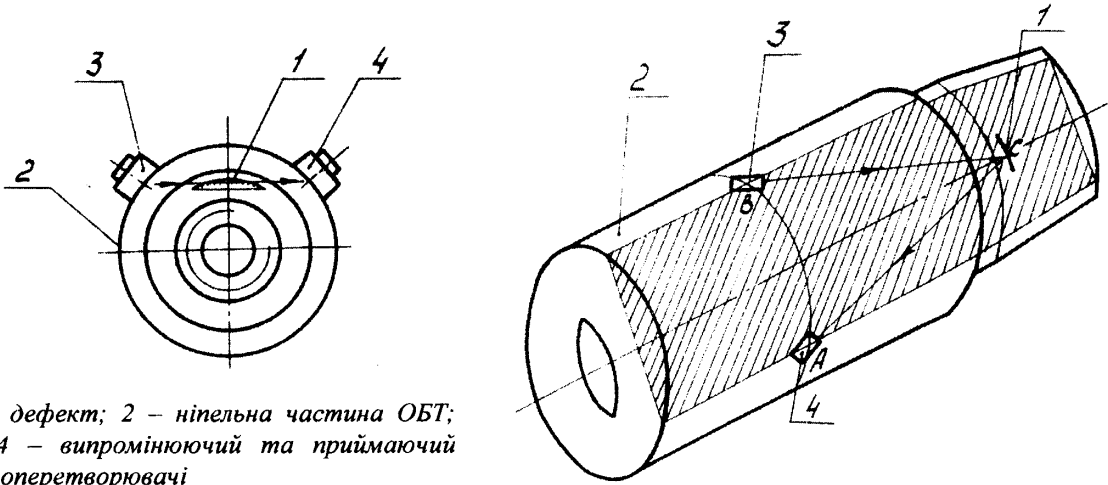
$$l_n = l_{n-1} * \text{ctg}[\beta - (n-2)\varphi] * \text{tg}(\beta - n\varphi). \quad (2)$$

2) луна-дзеркальним методом (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, зони спряження, витка різьби 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 у товщі металу. На основі цих залежностей розроблений спосіб, який вперше дозволив здійснювати дефектоскопію замкових різьбових з'єднань обважених бурильних труб усіх типорозмірів в згинченому стані (рис. 1).



1 – дефект; 2 – ніпельна частина ОБТ;
3, 4 – випромінюючий та приймаючий
п'єзопретворювачі

Рис. 1. Схема контролю ніпельної частини ОБТ луна-дзеркальним методом

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 у спряжених елементах, а наявність дефектів в різьбі призводить до перерозподілу напружень у торцевому ущільненні.

Теоретичні положення та висновки були перевірені експериментально. Залежно від поставлених задач, дослідження проводились на спеціальних зразках, що імітували елементи різьби та додаткових ущільнень і виготовлювались з фрагментів труб нафтового сортаменту, а також на натурних зразках різьбових частин обважених, бурильних, обсадних та насосно-компресорних труб – вітчизняних та імпортих (фірми "Ніппон Стіл Корп."). 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. Необхідний ступінь напружень в зоні додаткових ущільнень створювався шляхом селективного підбору різьбових пар за результатами вимірювального контролю, розрахунку очікуваного натягу і згинчування з'єднання з регламентованим крутним моментом. Для визначення інформативних параметрів, за якими можна оцінити якість різьбового з'єднання, проведені дослідження на зразках, що склалися з двох спряжених частин і імітували елементи різьбового з'єднання, та на суцільному (монолітному) зразку. У результаті визначений вплив і кореляційні зв'язки між питомим тиском на спряжених поверхнях та амплітудою УЗК, що пройшли через спряження, для різних частот УЗК та умов кон-

тактування, 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 щодо механізму формування напружень в ущільненнях типу "метал - метал".

Залежності амплітуди сигналу, який пройшов через зону спряження, від питомого тиску, при різних умовах контактування мають чотири характерних ділянки (рис. 2):

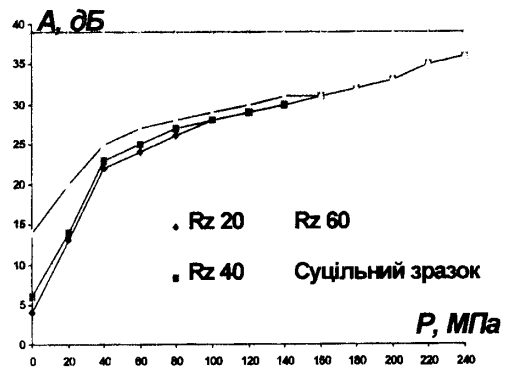


Рис. 2. Залежність амплітуди сигналу, що пройшов через зону спряження, від навантаження з'єднання для різних шорсткостей контактуючих поверхонь та суцільного зразка

- до досягнення певного (40 МПа) навантаження амплітуда прийнятого сигналу круто зростає (0.2 – 0.4 дБ/МПа), 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.

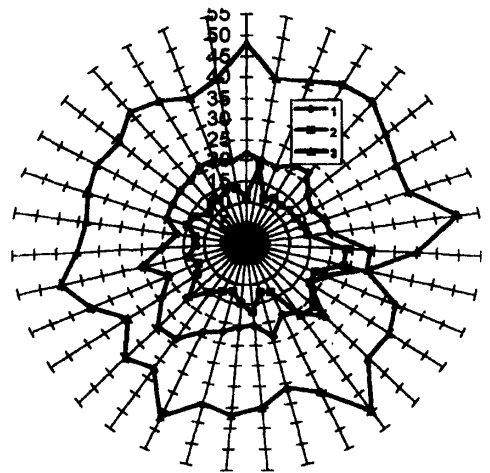
Причина тимчасової стабілізації амплітуди стає зрозумілою з рис.2 – після 160 МПа криві для Rz20, Rz40 та Rz60 зливаються в одну. Отже, в проміжку від 120 до 160 МПа висота початкових мікронерівностей на спряжених поверхнях вирівнюється, площадки контакту збільшуються, контактні тиски стають меншими за границю текучості і знову відбувається пружна деформація мікронерівностей.

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 С.Я. Гмиріна.

Таким чином, рівень і характер зміни амплітуди реально відображає фізичні процеси, які відбуваються під час навантаження або, в нашому випадку, під час згвинчування з'єднання. 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 обважених бурильних труб (так зване зусилля затяжки) та для обсадних і насосно-компресорних труб (рис. 3). Різниця амплітуд луна-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. На

основі експериментальних досліджень та розрахунків розроблені способи контролю якості діаметральних ущільнень типу “метал – метал”, 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.



1 – згвинчення вручну; 2 – згвинчення з регламентованим крутним моментом; 3 – герметичне з'єднання після дозгвинчування

Рис. 3. Розподіл амплітуд луна-імпульсів по периметру торцевого ущільнення типу “метал – метал” для обсадних труб фірми “Nippon Steel Корп.” при реалізації методу відбитого випромінювання

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 експериментально перевірене на натурних зразках з'єднань обсадних та насосно-компресорних труб різних конструкцій. Цей підхід виявився ефективним і був практично реалізований в галузевих стандартах з неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту та інших об'єктів нафтогазового комплексу.

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 кон-

тролю (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 проникного випромінювання без традиційних графічних побудов;

- вперше одержана аналітична залежність між геометричними характеристиками (радіусами, висотою упорного виступу) замкового різьбового з'єднання обважених 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 обважених бурильних труб усіх типорозмірів в згвинченому 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 ультразвукового контролю ніпельної частини згвинченого замкового з'єднання обважених 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.

Висновки

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 неруйнівного

контролю класифікаційні ознаки для всіх типорозмірів різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту. В результаті будь-яке з різьбове з'єднання можна представити як комбінацію уніфікованих елементів, для кожного з яких є типова методика контролю, що значно спрощує контроль нових типів з'єднань.

2. Теоретичні й експериментальні дослідження особливостей поширення ультразвукових коливань за різних умов навантаження та контактування спряжених поверхонь дозволили визначити інформативні сигнали для контролю параметрів, які безпосередньо характеризують міцність та герметичність різьбового з'єднання і дозволяють оцінити його якість у будь-який період експлуатації, що дає можливість попередити відмову з'єднання і одночасно запобігти його необґрунтованому відбракуванню.

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

- контролю конічних з'єднань методом відбитого й проникного випромінювання, що дає можливість обчислювати згадані параметри для всіх типорозмірів з'єднань без традиційних графічних побудов;

- контролю ніпельної частини різьбового з'єднання луна-дзеркальним способом, що забезпечує мінімальні втрати ультразвукової енергії і вперше робить можливим контроль замкових різьбових з'єднань обважених бурильних труб усіх 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 обважених бурильних труб в згвинченому стані. Завдяки цьому способу суттєво зменшуються непродуктивні витрати часу на проведення контролю в процесі спуско-підймальних операцій та підвищується безпека виконання робіт.

6. Вперше запропоноване, експериментально перевірене і практично реалізоване агрегування методик неруйнівного контролю типових елементів різьбових з'єднань.

7. На основі сучасних підходів до вирішення проблем якості сформульовані вимоги до проведення неруйнівного контролю й розроблені технології, реалізовані в технічних умовах, пов'язаних з наданням послуг з неруйнівного контролю, та в ГСТУ 320.02829777.002-95 "Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації".

8. Результати роботи реалізовані в установках для контролю обсадних ("Контакт-1"), насосно-компресорних (УНКТ-1) та обважених бурильних (ОБТ-1) труб, технологіях, нормативному забезпеченні (ГСТУ 320.02829777.001-95, ГСТУ 320.02829777.014-99) і широко впроваджені як в Україні, так і за її межами.

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

Захист відбувся 12 березня 2002 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Науковий керівник: докт. техн. наук, проф. Карпаш О.М.

Офіційні опоненти: докт. техн. наук, проф. Заміховський Л.М., канд. техн. наук, Учанін В.М.

Провідна установа: Інститут електрозварювання ім. Б.Є. Патона НАН України, м. Київ.

УДК 620.179

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ОБСАДНИХ ТРУБ

© Козоріз А.В.

інженер-консультант фірми „Розен Юроп Б.В. (RosenEurope b.v.)

(на час захисту - завідувач лабораторією перспективних досліджень НВФ "Зонд")

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин

Показано, що одними з основних параметрів СОТ, які відповідають за експлуатаційну надійність обсадної колони і можуть бути визначені методами неруйнівного контролю, є овальність та ексцентриситет. На основі проведених теоретичних досліджень розроблені способи та встановлені аналітичні залежності для визначення овальності та ексцентриситету СОТ. Експериментально досліджено характер залежності між основними параметрами контролю та характеристиками дефектів. Розроблено та впроваджено у виробництво комплекс технічних засобів і технологій, які дозволяють проводити автоматизований вхідний контроль якості обсадних труб.

За даними американських нафтогазових компаній, під час перевірки на трубних базах відбраковується до 20% нових обсадних труб. Аварії з обсадними трубами складають 7-8% всіх аварій в бурінні, на їх ліквідації витрачається понад 10% часу, що припадає на ліквідацію аварій всіх видів (особливо важкі аварії цього виду в регіонах, де обсадні труби спускають на велику глибину, та на розвідувальних свердловинах).

Проведений аналіз умов роботи та пошкоджень обсадних колон показав, що основним дефектом обсадних труб є невідповідність геомет-

ричних характеристик обсадних труб нормованим значенням, і тому перш за все слід контролювати їх різностінність (ексцентриситет), овальність та непрямолінійність (прогин). Найбільш прийнятним для вирішення цих задач є акустичний імпульсний луна-метод неруйнівного контролю.

Для виявлення дефектів різних типів та розмірів у всьому діапазоні типорозмірів обсадних труб проведені аналітичні розрахунки таких основних параметрів автоматизованого контролю, як крок сканування, частота акустичних коливань та чутливість.