

600. 179. 1

B26

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Векерик Віталій Васильович

УДК 620.179.1 +
622.245.12(043)
B26

**АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ
ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ОБСАДНИХ КОЛОН В СВЕРДЛОВИНІ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

В. Векерик

Івано-Франківськ – 2004 р.

нр/кв

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України та Науково-виробничій фірмі "Зонд".

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Карпаш Олег Михайлович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Семенцов Георгій Никифорович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології.

кандидат технічних наук

Рибачук Володимир Георгійович

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів,
науковий співробітник.

Провідна установа:

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться 09 липня 2004 р. о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Л 20.052.03

при Івано-Фра

за адресою:

76019, м. Іван

З дисертацією

національного

(76019, м. Іван

Автореферат р

Вчений секрет

кандидат техні

нафти і газу

ого

рибачук М.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Працездатність обсадних колон, призначених для кріплення стовбура свердловин, є одним з головних чинників, що визначають продуктивність та безпеку роботи свердловини. Відмови елементів обсадних колон мають місце як при спуску і кріпленні колони, так і під час освоєння свердловини та, особливо, в процесі її тривалої (більше 20 років) експлуатації. Деколи через аварії з обсадними колонами доводиться ліквідовувати свердловини, що не виконали свого цільового призначення. Проблема підвищення надійності та довговічності свердловин, а отже, і обсадних колон, належить до найважливіших в нафтогазовидобувній промисловості. Особливо актуальним є питання контролю технічного стану обсадних колон підземних сховищ газу, глибоких свердловин та свердловин, які тривалий час були на консервації.

Слід відзначити, що перед спуском у свердловину обсадні труби піддаються контролю. Для цього існують відповідні методи та засоби. Але, якщо і вжити всіх запобіжних заходів при формуванні обсадної колони, то це не гарантує її безвідмовну роботу протягом тривалого терміну. В умовах експлуатації погіршується технічний стан обсадних труб, що приводить до появи дефектів та виникнення аварійних ситуацій, на ліквідацію яких витрачаються значні кошти і багато часу. Негерметичність обсадної колони є однією з основних причин: простоїв свердловини; втрати продукту, що добувається; передчасного обводнення добувних свердловин і втрати води в нагнітальних свердловинах; забруднення водойм. Тому, для уникнення аварійних ситуацій необхідно слідкувати за технічним станом обсадної колони в свердловині, своєчасно застосовувати відповідні профілактичні заходи та проводити ремонтні роботи. Найефективніше оцінити технічний стан можна за результатами неруйнівного контролю, періодичність якого регламентується нормативними документами.

Своєчасність та успішність попередження аварійних ситуацій з обсадними колонами тісно пов'язані з ефективністю методів та засобів неруйнівного контролю їх технічного стану в свердловині. Розробці і вдосконаленню таких методів та засобів присвячено багато робіт вітчизняних й закордонних дослідників, але, не дивлячись на певні досягнення в цьому напрямку, методи та засоби, що використовуються, не достатньо точні та інформативні, досить дорогі, тому їх подальше вдосконалення є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами підтверджує її актуальність. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з галузевою науково-технічною програмою НАК "Нафтогаз України" на 2002 – 2007 рр. Створення, освоєння випуску та впровадження у виробництво комплексу технологій неруйнівного контролю та технічної діагностики обладнання й інструменту



при розробці нафтогазових родовищ. Організаційне, технічне, методичне та кадрове забезпечення".

Задачі контролю обсадних колон вирішувались в процесі виконання науково-дослідних робіт за договорами: "Розробка і виготовлення експериментального зразка інформаційно-вимірювального комплексу для контролю товщини стінки експлуатаційної колони обсадних труб" (№ 35НДР/01 НВФ "Зонд" з "Івано-Франківською експедицією по геофізичних дослідженнях в свердловинах") і "Розробка та впровадження засобів та технологій діагностування обсадних колон на підземних сховищах газу" (№11/102-5 (12/03) ІФНТУНГ з ДК "Укртрансгаз", номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ 0103U001613). Ці роботи виконувались за безпосередньою участю автора як виконавця та відповідального виконавця робіт.

Мета роботи полягає в розробці методу, способів та технічних засобів контролю технічного стану обсадних колон безпосередньо в свердловині для виявлення їх пошкоджень та попередження відмов.

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

- проаналізувати характер і встановити причини відмов обсадних колон, провести аналіз існуючих методів та засобів контролю їх технічного стану в свердловині;
- дослідити основні фактори, які визначають працездатність обсадних колон, встановити найбільш інформативні параметри для оцінки їх технічного стану;
- розробити метод та нові способи акустичного контролю геометричних параметрів труб обсадних колон в свердловині, дослідити шляхом математичного моделювання вплив експлуатаційних умов свердловини на результат контролю, розробити способи зменшення цього впливу;
- провести експериментальні дослідження з метою: уточнення параметрів розроблених способів, розробки спеціалізованих перетворювачів та оцінки впливу експлуатаційних умов свердловини на інформативні параметри контролю;
- розробити, виготовити та здійснити дослідну перевірку експериментальних зразків технічних засобів контролю геометричних параметрів обсадних колон в свердловині, проаналізувати загальну похибку вимірювання.

Об'єктом дослідження є обсадні колони, які використовуються для кріплення нафтогазових свердловин при їх спорудженні та експлуатації.

Предметом дослідження є методи та засоби неруйнівного контролю технічного стану обсадних колон.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались методи неруйнівного контролю, математичного та кореляційного аналізу. При розробці способів та засобів контролю геометричних параметрів обсадних колон використовувався луна-імпульсний метод акустичного неруйнівного контролю. Під час проведення експериментальних досліджень і обробки їх результатів застосовувались методи планування експерименту, теорії ймовірності та прикладної статистики. Розробка технічних засобів здійснювалась з

використанням методів схемотехніки. Для моделювання роботи п'єзоелектричних перетворювачів використовувався метод кінцевих елементів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- удосконалено математичну модель роботи акустичного тракту системи контролю для розрахунку акустичного поля, яка, на відміну від існуючих моделей, дає можливість визначити параметри контролю з врахуванням експлуатаційних умов свердловини;

- визначено температурний коефіцієнт зміни швидкості поширення ультразвуку в матеріалі сталених обсадних труб різних груп міцності, який необхідно брати до уваги при розрахунках товщини стінки труби в умовах свердловини, що дозволить зменшити додаткову похибку вимірювання;

- дістав подальшого розвитку акустичний луна-імпульсний метод контролю, який, на відміну від відомих варіантів його використання, застосований для вимірювання геометричних параметрів труб обсадної колони в свердловині, завдяки: розробленій методології його реалізації, що базується на врахуванні та зменшенні впливу дестабілізуючих експлуатаційних факторів на результат контролю, та розробленим новим способам контролю, які дозволяють проконтролювати поперечний переріз труби зсередини за допомогою одного перетворювача та безобертової системи сканування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені способи та засоби контролю дозволяють: забезпечити проведення контролю технічного стану обсадних колон безпосередньо в свердловині; підвищити надійність роботи глибинної частини засобу контролю завдяки використанню безобертової системи сканування та зменшити її габаритні розміри завдяки використанню тільки одного вимірювального каналу та одного перетворювача, що досить важливо при конструюванні засобів внутрішньотрубного контролю.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема, особисто автором:

- запропоновано нові підходи до розробки спеціалізованих засобів контролю обсадних колон в свердловині та способів контролю їх геометричних параметрів [1, 6, 7];

- розроблено математичну модель роботи акустичного тракту системи контролю для розрахунку акустичного поля, яка дає можливість визначити параметри контролю з врахуванням експлуатаційних умов свердловини [2];

- розроблено способи зменшення впливу експлуатаційних умов свердловини на інформативні параметри контролю та вірогідність результату вимірювання геометричних параметрів труб обсадної колони [1, 3];

- досліджено залежність швидкості поширення поздовжньої ультразвукової хвилі в матеріалі сталених обсадних труб від температури, в результаті чого визначено температурний коефіцієнт зміни швидкості [3];

– встановлено основні параметри, які характеризують технічний стан і визначають експлуатаційну надійність обсадних колон, доведено необхідність розробки технічних засобів для контролю геометричних параметрів труб обсадних колон, обґрунтовано застосування акустичного луна-імпульсного методу для вирішення поставлених задач [4, 5];

– запропоновано нові конструктивні рішення, які були використані при розробці технічних засобів [6-9].

Із робіт, що опубліковані у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри “Методи і прилади контролю якості та сертифікації продукції” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) у 2001, 2002, 2003 рр., на міжнародних конференціях “Фізичні методи та засоби контролю матеріалів та виробів “Леотест-2002” та “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів “Леотест-2003” (м. Славське, Львівської області), на 7-ій міжнародній науково-практичній конференції УНГА „Нафта і газ України-2002” (м. Київ) та на 3-ій науково-технічній конференції і виставці „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 2002).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 10 друкованих праць, з них 5 – статті у фахових наукових виданнях, затверджених ВАК України [1-5], в тому числі 1 одноособова, 2 – патенти України на винахід [6, 7], 3 – тези доповідей на конференціях [8-10].

Структура та об’єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 210 сторінок, в т.ч. 43 рисунки та 13 таблиць (31 сторінка), список використаних джерел із 201 найменування та 5 додатків (31 сторінка).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дано загальну характеристику дисертаційної роботи. Розкрито суть та стан наукової задачі контролю технічного стану обсадних колон. Обґрунтовано актуальність теми, на підставі чого сформульовані мета та основні задачі дослідження. Висвітлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз особливостей конструкції обсадних колон, умов їх експлуатації, основних причин та видів відмов і пошкоджень. В результаті встановлено, що основними пошкодженнями обсадних колон є втрата

герметичності тіла колони та різьбових з'єднань, змінання труб, їх механічне і корозійне зношення, розрив труб та обрив колони по тілу і різьбових з'єднаннях. Проаналізовано методи та засоби контролю обсадних колон в свердловині та показано, що вони є недостатньо інформативними, мають обмеження щодо застосування, не дозволяють передбачити аварію чи порушення герметичності, і не дають реальної оцінки фактичного технічного стану колони.

Встановлено параметри, які визначають технічний стан і експлуатаційну надійність обсадної колони, а як найбільш інформативні обрано геометричні параметри труб (залишкову товщину стінки, фактичне зношення зовнішньої та внутрішньої поверхонь, форму поперечного перерізу), тому що саме вони найбільш повно характеризують зношення колони та допустимі величини навантажень. Доведено необхідність розробки технічних засобів для контролю цих параметрів. Сформульовані задачі, які потребують вирішення, і обрані напрямки подальших досліджень.

Дослідження щодо неруйнівного контролю обсадних колон на різних стадіях їх експлуатації проводило багато вчених – Будников В.Ф., Булатов А. И., Петерсон А. Я., Климов В. В., Шлеин А.Т., Мамедов А.А., Измайлов Л.Б., Теплухин В.К., Кисельман М.И., Нечаев Б.А., Валяев В.А. (російські організації НТЦ Кубаньгазпром, НПФ Геофизика, НПП ВНИИГИС), Boyers Charles Lance, Nicolas Yves, Landaud Andre, Lavinge Jean, Jonson (компанії Vetco, Schlumberger Technology, Halliburton, Geolink, Argosy Technologies) та інші. Однак, їхня увага зосереджувалась, в основному, на контролі тільки внутрішньої поверхні труб та виявленні вже існуючих місць негерметичності колон, а не на попередженні їх появи.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням з вибору методу, розробки способів, методології та технічних засобів контролю геометричних параметрів обсадних колон в свердловині. Встановлено, що для реалізації поставлених задач найефективнішим є акустичний луна-імпульсний метод з використанням п'єзоелектричних перетворювачів та імерсійного варіанту створення акустичного контакту. Геометричні параметри об'єкта контролю розраховуються за виміряним часом проходження ультразвукових коливань (УЗК).

Акустичний контроль широко використовується як метод геофізичних досліджень в свердловині для визначення властивостей гірських порід. Що ж стосується контролю технічного стану обсадних колон, то акустичний контроль в свердловині, в основному, застосовується для перевірки якості цементування, досить рідко – для контролю саме обсадних труб колони, і не використовується для визначення їх геометричних параметрів. Це можна пояснити існуванням ряду проблем, що стримують широке використання акустичного контролю для вирішення таких задач, а саме: важкі експлуатаційні умови (високі тиски, температура та інше), що впливають на результат контролю; відсутність серійних спеціалізованих первинних перетворювачів, що можуть працювати в таких умовах

експлуатації; неможливість застосування традиційних способів акустичного контролю геометричних параметрів трубних виробів. На усунення цих труднощів, адаптацію вибраного методу до контролю геометричних параметрів обсадної колони в умовах свердловини та розробку відповідної методології контролю і була спрямована подальша робота.

Аналіз відомих способів контролю трубних виробів зсередини дозволив виявити притаманні їм недоліки, для усунення яких було розроблено два нових способи й відповідні технічні засоби для їх реалізації. Визначальними у розробці були, по-перше, високі вимоги до надійності роботи, тому що втрутитися і оперативно внести корективи в роботу системи в процесі контролю неможливо, а по-друге, конструктивні особливості самої обсадної колони, яка є досить складним об'єктом з точки зору проведення неруйнівного контролю. Основна увага була зосереджена на створенні безобертової системи сканування з використанням тільки одного перетворювача, оскільки це дозволяє підвищити надійність роботи системи та прохідну здатність засобу контролю в колоні. В розроблених способах для досягнення поставленої мети застосована ідея відхилення УЗК від поздовжньої осі труби по радіусах до її стінки з допомогою конусоподібних відбивачів.

Перший спосіб (рис. 1) призначений для контролю геометричних параметрів внутрішньої поверхні та форми поперечного перерізу труб обсадних колон і дозволяє отримати результат у вигляді інтегрального розподілу контрольованих параметрів та оцінити вагомість кожного значення в поперечному перерізі. Для відхилення УЗК використовується відбивач, виконаний у вигляді суцільного конуса з кутом нахилу твірних 45° . Суть способу полягає в тому, що УЗК, збуджені перетворювачем 2, через контактну рідину поширюються в напрямку відбивача 3 і відбиваються ним по радіусах до стінки труби 1 в усіх напрямках, пройшовши через стінку корпусу 4, та частково відбившись при цьому від неї. Далі УЗК відбиваються від внутрішньої та зовнішньої поверхонь труби і потрапляють на перетворювач тим же шляхом, але в зворотному напрямку. Аналізуючи прийнятий відбитий від внутрішньої поверхні сигнал (розміщення в часі відбитих імпульсів та їх амплітуду), можна визначити характер зношення труби та форму поперечного перерізу (для цього розраховують шлях від відбивача до поверхні труби, використовуючи значення швидкості $c_{\text{конт.рід.}}$ поширення ультразвуку у контактному середовищі). Інформативний інтервал часу $t_{\text{інф.}}$ при цьому вираховується з часу приходу імпульсу $t_{\text{вим.}}$ з врахуванням часу затримки $t_{\text{затр.}}$ (від перетворювача до відбивача) згідно з формулою:

$$t_{\text{інф.}} = t_{\text{вим.}} - t_{\text{затр.}} = t_{\text{вим.}} - L/c_{\text{конт.рід.}} \quad (1)$$

де L – віддаль від перетворювача до відбивача;
 $t_{\text{вим.}}$ – виміряний час приходу імпульсу.

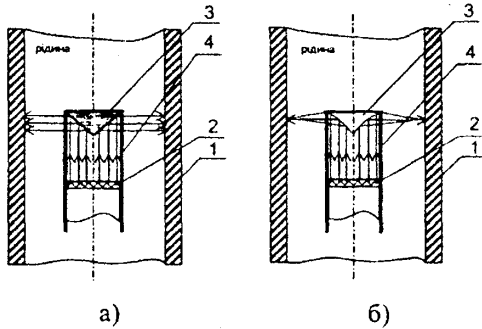


Рис. 1. Схема реалізації способу контролю геометричних параметрів внутрішньої поверхні та форми поперечного перерізу труб:

a – без фокусування; *б* – з фокусуючим відбивачем:

1 – труба; 2 – перетворювач; 3 – конусний відбивач; 4 – корпус.

Слід відзначити, що при реалізації цього способу потрібно шляхом регулювання чутливості акустичного тракту позбавитись приходу імпульсів, відбитих від зовнішньої поверхні труби. Справа в тому, що за рахунок великої різниці швидкостей поширення поздовжньої ультразвукової хвилі у воді, яке є контактною рідиною, та сталі, при значному нерівномірному зношенні труби, сигнали, відбиті від внутрішньої та зовнішньої поверхонь, будуть накладатися одні на одних, і інтерпретувати результати контролю буде досить складно. Для збільшення інтенсивності прийнятого сигналу та роздільної здатності контролю можна сфокусувати на поверхні труби ультразвукові коливання, відхилені відбивачем. Для цього бічну поверхню конусного відбивача слід зробити вгнутою вздовж твірних (див. рис. 1, б).

Запропонований спосіб має свої переваги та свої недоліки. До переваг належать простота та надійність конструкції, можливість одночасного контролю всього поперечного перерізу та оцінки вагомості кожного виміряного числового значення в проконтрольованому перерізі за амплітудою імпульсу. Недоліками слід вважати неможливість ідентифікації багатостороннього зношення (луна-імпульси від пошкоджень однакової глибини, розміщених в різних місцях поперечного перерізу, зареєструються одночасно), а також складність застосування для контролю товщини стінки у випадку значного нерівномірного зношення внутрішньої поверхні.

Другий спосіб (рис. 2) призначений для контролю геометричних параметрів внутрішньої і зовнішньої поверхонь та вимірювання товщини стінки і дозволяє отримати розподіл контрольованих параметрів у поперечному перерізі. Для досягнення мети використовується значно складніша конструкція відбивача та процедура обробки прийнятої інформації. Відбивач виконаний у вигляді n симетричних конусоподібних частин з кутом нахилу твірних 45° . Кожна наступна

частина відбивача зміщена відносно попередньої (вздовж осі труби 1, див. рис. 2) так, щоб прийняті від неї сигнали, відбиті від стінки труби, попадали на перетворювач 2 в часі, відмінному від часу приходу сигналів, відбитих від інших частин відбивача (рис. 3, сигнали 3.2, 4.2, 5.2 та 6.2). Крім цього, кожна наступна частина відбивача повернена відносно попередньої на кут $360^\circ/(2n)$, достатній для охоплення при скануванні всього перерізу труби. На рис. 2 показано варіант реалізації способу з використанням чотирьох відбивачів 3-6, який є оптимальним, з точки зору ефективної площі відбиваючої поверхні, достатньої для прийняття акустичних сигналів, а також з точки зору максимально можливої віддалі для розділення частин відбивача в поздовжньому напрямі, з огляду на габарити акустичного блока та затухання акустичного сигналу.

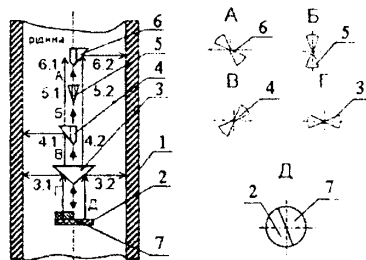


Рис. 2. Схема реалізації способу контролю геометричних параметрів внутрішньої та зовнішньої поверхонь і вимірювання товщини стінки з використанням чотирьох конусоподібних відбивачів:

1 – труба; 2 – перетворювач;

3-6 – конусоподібні відбивачі; 7 – прискорювальна призма.



Рис. 3. Часова розгортка прийнятого сигналу, яка ілюструє повний цикл приходу імпульсів на перетворювач від чотирьох відбивачів

Для розділення сигналів від одного відбивача (від його лівої та правої частин) перед перетворювачем встановлюється прискорювальна призма 7 (див. рис. 2) так, щоб вона перекривала половину діаграми направленості акустичного поля перетворювача та одну половину кожного з відбивачів. При цьому додатково з'являються сигнали 3.1, 4.1, 5.1 та 6.1 (див. рис. 3). Завдяки такій конструкції

розділяються в часі прийняті інформативні сигнали від різних частин поперечного перерізу труби. За розміщенням в часі пари імпульсів, відбитих від внутрішньої та зовнішньої поверхонь труби, визначаються її геометричні параметри: товщина стінки, діаметр, фактичне зношення внутрішньої і зовнішньої поверхонь труби.

Примітка. Для розділення сигналів від одного відбивача можна також використати замість призми водяну лінію затримки (змістити частини відбивача або використати перетворювач спеціальної конструкції).

За допомогою кожного з відбивачів можна виміряти два значення товщини стінки та значення внутрішнього діаметра (шляхом вимірювання часу приходу поверхневого та донного імпульсів). Інформативний час обчислюється для кожного імпульсу з врахуванням часу затримки згідно з формулами:

$$t_{\text{інф } D_i} = t_{\text{вим. } j} - t_{\text{затр } j}, \quad t_{\text{інф } h_i} = t_{\text{вим. } j+1} - t_{\text{вим. } j}, \quad (2)$$

де $t_{\text{інф } D}$ – інформативний час для визначення геометричних параметрів внутрішньої поверхні, наприклад, діаметра (стосується імпульсів, відбитих від внутрішньої поверхні);

$t_{\text{інф } h}$ – інформативний час для визначення товщини стінки та геометричних параметрів зовнішньої поверхні;

$i=1, 2...8; j=1, 3, 5...15$ - порядкові номери.

Геометричні розміри в кожному поперечному перерізі розраховуються через відповідні швидкості поширення ультразвуку згідно формули:

$$D_n = \frac{(t_{\text{інф } D_m} + t_{\text{інф } D_{m+1}}) \cdot c_{\text{конт.під}}}{2}, \quad h_i = \frac{t_{\text{інф } h_i} \cdot c_{\text{ст.}}}{2}, \quad (3)$$

де $c_{\text{ст.}}$ – швидкість поширення ультразвукової хвилі в сталі;

$i=1, 2...8; n=1, 2...4; m=1, 3, 5, 7$ - порядкові номери.

За отриманими значеннями, шляхом апроксимації результатів, відтворюється поперечний переріз труби.

Цей спосіб дозволяє отримати при чотирьох відбивачах вісім інформаційних каналів, розділених у часі, з використанням одного вимірювального каналу.

Використання першого чи другого з розроблених способів залежить від поставлених задач контролю, а при їх поєднанні вони добре доповнюють один одного та дозволяють підвищити вірогідність отриманого результату.

В цьому розділі також викладено суть розробленої методології використання акустичного луна-імпульсного методу контролю для вимірювання геометричних параметрів труб обсадної колони в експлуатаційних умовах свердловини, згідно з якою:

- для підвищення точності та вірогідності результатів контролю товщини стінки обсадної колони необхідно враховувати температурну залежність

швидкості поширення ультразвуку в матеріалі обсадних труб;

- при розрахунках геометричних параметрів внутрішньої поверхні труби потрібно вимірювати швидкість поширення ультразвуку в контактній рідині в процесі проведення контролю та використовувати в обчисленнях її дійсне значення;

- для підвищення надійності та вірогідності результатів контролю слід враховувати вплив експлуатаційних факторів на затухання ультразвуку;

- для проведення вимірювань потрібно використовувати спеціалізовані первинні перетворювачі, які мають відповідну механічну, теплову та хімічну стійкість;

- для забезпечення вірогідності отримуваних на поверхні даних вимірювань потрібно цифрувати та кодувати первинні дані в глибинній частині засобу контролю, яка знаходиться в свердловині.

Розроблено математичну модель контролю при реалізації запропонованих способів в експлуатаційних умовах свердловини, яка дозволяє: імітувати роботу акустичного тракту та розраховувати акустичне поле (діаграму направленості, розподіл величин, що характеризують поле - акустичний тиск, амплітуду, швидкості поширення УЗК) для акустичних блоків з різними геометричними та акустичними характеристиками; підібрати параметри контролю, матеріали конструктивних елементів, а також оцінити вплив на результат контролю температури, тиску, геометричних параметрів обсадної труби та проаналізувати придатність способів для використання в заданих експлуатаційних умовах.

Вхідними даними для розрахунку були значення акустичних параметрів при нормальних умовах всіх матеріалів, що впливають на поширення ультразвуку (швидкість поширення поздовжньої хвилі, коефіцієнт загасання, густина, хвильовий опір), температурні коефіцієнти швидкості та загасання, геометричні параметри труб обсадної колони (діаметр, товщина стінки) і акустичного блока (діаметр кераміки, віддаль до відбивача, віддаль між частинами відбивача), а також розподіл гідростатичного тиску та температури по глибині свердловини.

За результатами розрахунку визначається характер та межі зміни всіх величин під впливом заданих експлуатаційних умов свердловини, що дозволяє оцінити придатність способів для застосування в цих умовах та вибрати необхідні параметри контролю. З допомогою часу приходу луна-імпульсів та їх амплітуди моделюється робота системи контролю.

В розділі наведений алгоритм та отримані результати розрахунку, проведеного для діапазону робочих температур від +5 до +150 °С та тисків від 0,1 до 100 МПа, що відповідає умовам контролю експлуатаційної колони по всій її глибині. Розрахунок здійснений для обсадної колони з зовнішнім діаметром 168 мм і товщиною стінки труби 10 мм, частота перетворювача 2,5 та 5 МГц, діаметр п'єзокераміки відповідно становив 12 мм (для 2,5 МГц) та 10 мм (для 5 МГц).

Відстані між відбивачами (30 мм) і відстані від перетворювача до першого відбивача (60 мм) (підбиралися в процесі розрахунку залежно від можливості розділення в часі сигналів від відбивачів та довжини ближньої зони перетворювача відповідно.

При проведенні розрахунку брались до уваги: температурна залежність швидкості ультразвуку та хвильового опору в матеріалах; залежність швидкості поширення ультразвуку у контактному середовищі (воді) від тиску; залежність густини контактної середовища від температури та тиску; температурна залежність коефіцієнта загасання у воді; втрати енергії з віддалю у контактному середовищі; втрати енергії на всіх межах розділу двох середовищ. Загасанням ультразвуку з віддалю у стінці об'єкту контролю, зважаючи на незначний вплив, знехтували.

Кінцевим результатом розрахунку є графічне й числове представлення часу приходу та амплітуди луна-імпульсів, а також демонстрація (у вигляді додаткової відносної похибки) впливу нехтування зміною швидкості поширення УЗК: в контактній рідині - на результат вимірювання внутрішнього радіусу, в матеріалі об'єкта контролю - на результат вимірювання товщини стінки. За результатами проведеного моделювання та розрахунку можна зробити висновок, що за вищезгаданих умов контролю нехтування зміною швидкості УЗК в матеріалі труби приводить до збільшення відносної похибки вимірювання товщини стінки на 2,25 %, а в контактному середовищі - до збільшення відносної похибки вимірювання внутрішнього радіусу на 8,8 %.

В цьому ж розділі викладено основні підходи до розробки спеціалізованого суміщеного п'єзоелектричного перетворювача для тривалої роботи в імерсійному варіанті контролю в умовах свердловини. Розроблено загальну структуру інформаційно-вимірювальної системи для контролю обсадних труб в свердловині, основними елементами якої є глибинна та наземна частини, зв'язок між якими здійснюється через геофізичний кабель. Глибинна частина складається з вимірювальної системи (акустичний блок, канал вимірювання, мікропроцесорний блок) та керованого центрального пристрою. Наземна частина - це пульт обробки прийнятої інформації, індикації та документування результатів контролю.

Третій розділ містить результати експериментальних досліджень, що проводились з метою перевірки окремих теоретичних положень та висновків, одержаних в попередньому розділі, а також для уточнення параметрів контролю. При дослідженнях моделювались умови, наближені до реальних експлуатаційних умов контролю. При цьому використовувались зразки обсадних труб різних типорозмірів із штучними дефектами, що імітували зміну геометричних параметрів та серійна апаратура, атестована в органах Держстандарту (зокрема, ультразвукові прилади та п'єзоелектричні перетворювачі).

Експериментальна перевірка розроблених суміщених п'єзоелектричних перетворювачів дала позитивний результат. Ці перетворювачі використовувались для визначення температурних коефіцієнтів швидкості поширення ультразвуку в сталях, з яких виготовляються обсадні труби. Зокрема, досліджувалась залежність швидкості поширення поздовжньої хвилі від температури в зразках різної товщини, виготовлених з фрагментів сталейних обсадних труб різних груп міцності. Експерименти проводилися в інтервалі температур від $+14$ до $+100$ °C. На еталонній товщині h сталюго зразка вимірювався часовий інтервал t та визначалась швидкість $c=2h/t$. Для підвищення вірогідності отриманих даних проводились багаторазові вимірювання з подальшою їх статистичною обробкою (усереднювалися результати багаторазових вимірювань часового інтервалу в контрольних точках температури, дисперсія значень складала 0,01 мкс, що приводить до дисперсії розрахованої швидкості 13-14 м/с). Графічне представлення отриманих результатів для сталі групи міцності Д наведено на рис. 4. В межах досліджуваного температурного діапазону зменшення швидкості досягає $+1,5\%$ (88,6 м/с), що приводить до такого ж процентного збільшення похибки вимірювання товщини без врахування цієї зміни. Отримана температурна залежність має виражений лінійний характер (коефіцієнт кореляції з результатами експерименту при апроксимації лінійною функцією складає 0,993):

$$c(T) = 6007,63 - 0,957 \cdot T. \quad (4)$$

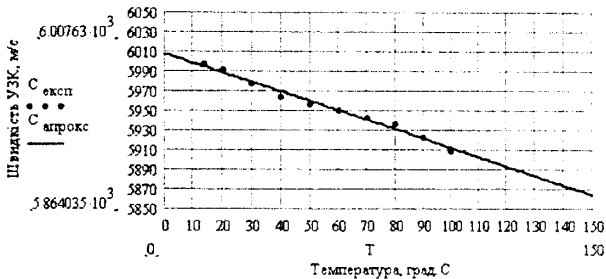


Рис. 4. Графічне представлення температурної залежності зміни швидкості поширення поздовжніх ультразвукових хвиль в матеріалі сталейних обсадних труб (група міцності Д): $c_{\text{експ}}$ – результатами експериментальних досліджень, $c_{\text{апрокс}}$ – результати лінійної апроксимації отриманих даних експерименту.

Температурний коефіцієнт швидкості при такій залежності становить мінус $0,957$ м/(с·°C), а значення швидкості при $+20$ °C – 5988 м/с. Для випадків, коли контроль прийшлося б проводити при вищих температурах, наприклад, $+200$ °C, зменшення швидкості та відповідно збільшення похибки вимірювання товщини вже буде складати $+3,2\%$. Отже, для отримання вірогідних даних про фактичне значення товщини потрібно враховувати температурну залежність швидкості поширення

ультразвуку в матеріалі труб і корегувати результати вимірювання з огляду на дійсну (виміряну або встановлену за даними геофізичних досліджень) температуру поверхні труби (контактного середовища) в місці контролю.

Дослідження сталей інших груп міцності показали, що варіація швидкості ультразвуку складає ± 23 м/с ($\pm 0,38$ %), а варіація температурного коефіцієнту швидкості – $\pm 0,03$ м/(с \cdot °C). З огляду на незначні відхилення вказаних параметрів, для спрощення процедури корегування значень швидкості при розрахунках товщини стінки були прийняті середні значення: швидкості поширення УЗК (5965 м/с при +20 °C) та її температурного коефіцієнта (мінус 0,93 м/(с \cdot °C)). При цьому залежність (4) набуває вигляду:

$$c(T) = 5984 - 0,93 \cdot T. \quad (5)$$

В результаті проведених досліджень затухання поздовжніх ультразвукових хвиль було зроблено висновок, що для підвищення надійності та вірогідності контролю в процесі вимірювання потрібно використовувати автоматичне регулювання чутливості апаратури.

На рис. 5 продемонстровано результати експериментальної оцінки способу контролю геометричних параметрів внутрішньої поверхні та форми поперечного перерізу труб (див. рис. 1) у вигляді одержаних часових розгорток (А-сканів) та відповідних їм проконтрольованих поперечних перерізів.

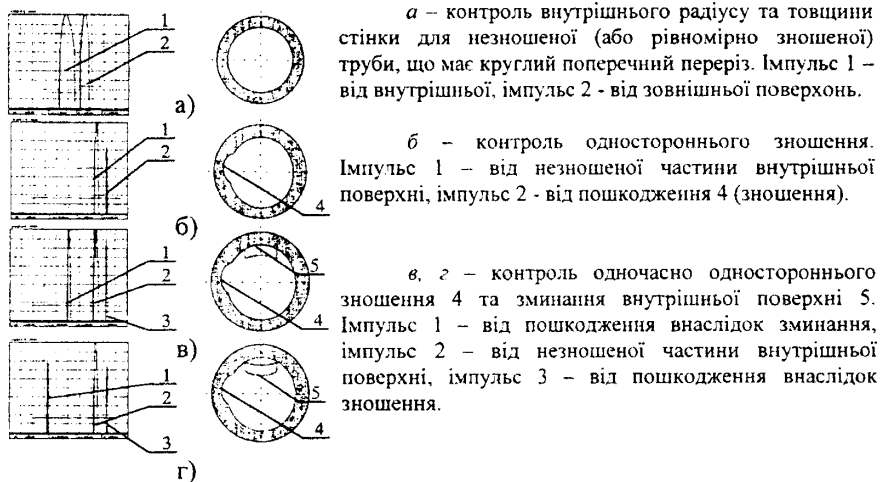


Рис. 5. Результати експериментальної перевірки способу контролю геометричних параметрів внутрішньої поверхні та форми поперечного перерізу труб (див. рис. 1): часові розгортки та відповідні їм перерізи труби

Дослідження проведено на зразках обсадних труб, а представлений на рис. 5 результат стосується обсадної труби діаметром 168 мм, з номінальною товщиною стінки 8,9 мм та промодельованими штучними дефектами форми. При цьому використовувався серійний дефектоскоп УД2-70 та розроблений акустичний блок (рис. 6, а).

На рис. 7 наведені результати експериментальної оцінки способу контролю геометричних параметрів внутрішньої та зовнішньої поверхонь і вимірювання товщини стінки (див. рис. 2).

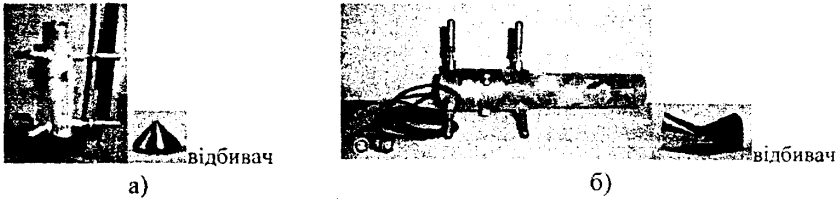
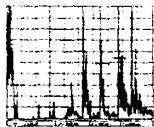
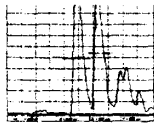


Рис. 6. Розроблені акустичні блоки для експериментальної перевірки способів



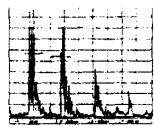
а)

a - без використання прискорювальної призми (відсутнє розділення сигналів від одного відбивача). На часовій розгортці - чотири серії імпульсів від відбивачів.



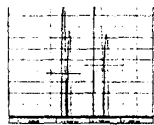
б)

b - луна-імпульси від одного відбивача (показано можливість вимірювання товщини стінки). На часовій розгортці - імпульси від внутрішньої та зовнішньої поверхонь труби.



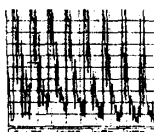
в)

в - з використанням призми (момент, коли інша частина перетворювача ще не контактувала з рідиною). На часовій розгортці - чотири серії імпульсів від відбивачів.



г)

г - з використанням водяної лінії затримки для розділення сигналів від одного відбивача. На часовій розгортці - імпульси від внутрішньої та зовнішньої поверхонь труби. Перші два - від одної частини відбивача, другі - від іншої.



д)

д - з використанням водяної лінії затримки. Загальна картина при розділенні сигналів від чотирьох відбивачів. На часовій розгортці - вісім серій імпульсів (по дві від кожного відбивача).

Рис. 7. Результати експериментальної перевірки другого способу (див. рис. 2).

Експерименти показали, що під час контролю особливу увагу слід приділяти центруванню акустичного блоку в обсадній колоні. Відхилення в центруванні може приводити до зміщення та перекосів акустичного блоку відносно труби та до втрати відбитих сигналів.

Розроблені способи контролю мають суттєві відмінності в реєстрації та інтерпретації результатів контролю. *Перший спосіб* (див. рис. 1) дозволяє отримати інтегральну оцінку геометричних параметрів внутрішньої поверхні в поперечному перерізі. Для правильної інтерпретації результатів недостатньо інформації тільки про час приходу луна-імпульсу. Час приходу дозволяє судити тільки про наявність того чи іншого розміру контрольованого параметру в поперечному перерізі, а про якесь процентне співвідношення (вагомість цього значення в перерізі) можна робити висновки тільки на основі порівняння амплітуд прийнятих сигналів. Отже, для чіткої інтерпретації результатів контролю даний спосіб вимагає передачі на поверхню часу приходу та амплітуди сигналів. З допомогою *другого способу* (див. рис. 2) фактично проводиться контроль вздовж восьми твірних. При цьому ми можемо оцінити розподіл контрольованих параметрів у поперечному перерізі труби і за значеннями вимірених величин, що розміщені між собою через 45° , відтворити внутрішню та зовнішню поверхні труби. В даному способі не потрібна інформація про амплітуду імпульсів. Навпаки, для підвищення надійності контролю, краще використовувати автоматичне регулювання чутливості і фіксувати прихід імпульсу на одному рівні.

В розділі наведені процедури реєстрації, обробки та інтерпретації результатів контролю обома способами.

Оцінка адекватності розробленої математичної моделі проводилася шляхом перевірки відповідності результатів розрахунку часу приходу та амплітуд луна-імпульсів отриманим результатам експерименту для однакових типорозмірів об'єкта та умов проведення контролю і дала позитивні результати. Для перевірки адекватності використовувався критерій Фішера.

Четвертий розділ присвячений розробці, виготовленню та дослідженню засобів контролю геометричних параметрів обсадних колон. В ньому наведені основні положення з розробки внутрішньотрубного механізму сканування і створення акустичного контакту в свердловині та каналу зв'язку глибинної системи з наземним пультом оператора. Описано розроблений і виготовлений експериментальний зразок інформаційно-вимірювального комплексу для контролю геометричних параметрів труб обсадної колоні, який працює сумісно з пересувною лабораторією (каротажною станцією) та з трьохжильним геофізичним кабелем. Проведення контролю здійснюється під час зупинки свердловини, після вилучення з неї насосно-компресорних або бурильних труб і заповнення її технічною водою, яка служить контактним середовищем. Для надійного центрування глибинної частини засобу контролю в свердловині використовується керований електромеханічний пристрій з центраторами важільного типу у її верхній та нижній частинах. Керування здійснюється з наземного пульта управління.

Експериментально та аналітично встановлено загальні похибки вимірювання та їх складові, дано рекомендації щодо їх зменшення.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі контролю технічного стану обсадних колон в свердловині, що виявляється у вимірюванні геометричних параметрів труб акустичним луна-імпульсним методом. Розроблено математичну модель, методологію, способи, технічні засоби, впровадження яких сприятиме попередженню відмов обсадних колон та виникнення аварійних ситуацій.

1. В результаті аналізу конструктивних особливостей обсадних колон, умов їх експлуатації, основних причин та видів відмов встановлено, що основними дефектами і пошкодженнями є: втрата герметичності тіла колони та різьбових з'єднань, змінання труб, механічне і корозійне зношення, розрив труб та обрив по тілу або різьбових з'єднаннях. Порівняльний аналіз методів та засобів неруйнівного контролю обсадних колон в свердловині показав, що існуючі засоби є недостатньо інформативними, мають обмеження щодо застосування і не дозволяють передбачити аварію чи порушення герметичності та дати реальну оцінку фактичного технічного стану колони. Аналіз параметрів, які визначають технічний стан та працездатність обсадних колон, дозволив в якості найбільш інформативних вибрати геометричні параметри поперечного перерізу труб (залишкову товщину стінки, фактичне зношення зовнішньої та внутрішньої поверхонь, форму поперечного перерізу), тому що саме вони найбільш повно характеризують зношення колони та величини допустимих навантажень. Доведено необхідність розробки методу, способів та технічних засобів для їх контролю.

2. Встановлено, що для реалізації поставлених задач найефективнішим є акустичний луна-імпульсний метод. Розроблено методологію його застосування в експлуатаційних умовах свердловини, яка базується на врахуванні температурної залежності швидкості поширення ультразвуку в матеріалі обсадних труб та контактному середовищі, врахуванні впливу експлуатаційних факторів на затухання ультразвуку та якість передачі на поверхню вимірювальної інформації, що дозволить підвищити точність та вірогідність результатів контролю, шляхом: корегування результатів вимірювання товщини стінки, вимірювання швидкості ультразвуку в контактній рідині в процесі контролю, автоматичного регулювання чутливості акустичного тракту, використання спеціалізованих первинних перетворювачів та цифрування і кодування первинних даних вимірювання в глибинній частині засобу контролю.

3. Розроблено нові способи контролю акустичним луна-імпульсним методом геометричних параметрів трубних колон зсередини, що базуються на ідеї відхилення ультразвукових коливань від поздовжньої осі труби по радіусах до її стінки з допомогою конусоподібних відбивачів, що дає змогу проводити контроль одним ультразвуковим перетворювачем та безобертовою системою сканування,

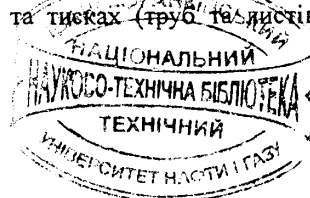
підвищує надійність роботи та спрощує конструкцію засобу контролю. На дані способи отримано патенти України на винахід.

4. Розроблено математичну модель контролю при реалізації розроблених способів в експлуатаційних умовах свердловини, яка дозволяє імітувати роботу акустичного тракту системи контролю, розраховувати акустичне поле для акустичних блоків з різними геометричними та акустичними характеристиками; підібрати параметри контролю, матеріали конструктивних елементів, а також оцінити вплив на результат контролю температури, тиску, геометричних параметрів об'єкта контролю та проаналізувати придатність способів для використання в різних умовах експлуатації.

5. Проведено експериментальну оцінку розроблених способів, яка дозволила уточнити параметри контролю, дослідити характер залежності між інформативними параметрами та характеристиками пошкоджень, оцінити адекватність математичної моделі, встановити особливості реалізації та інтерпретації результатів контролю. Встановлено залежність швидкості поширення поздовжньої ультразвукової хвилі в матеріалі сталених обсадних труб від температури, в результаті чого було визначено температурний коефіцієнт швидкості мінус $0,93 \text{ м/(с}\cdot\text{°C)}$. Отримана залежність $c(T) = 5984 - 0,93 \cdot T$ використовується для корегування результатів вимірювання товщини стінки труб обсадної колони, що дозволяє зменшити систематичну похибку вимірювання (на $2,25\%$ при температурі $+150 \text{ °C}$). Досліджено вплив експлуатаційних факторів на затухання поздовжніх ультразвукових хвиль у воді та сталі, результати чого використані при розробці системи автоматичного часового регулювання чутливості акустичного тракту.

6. Розроблено підходи до проектування та виготовлено спеціалізовані п'єзоелектричні перетворювачі, які можна використовувати для тривалої роботи в імєрсійному варіанті контролю в умовах свердловини. Розроблено, виготовлено та проведено дослідні випробування в промислових умовах експериментального зразка інформаційно-вимірювального комплексу для контролю геометричних параметрів труб обсадної колони, за результатами якого можна оцінити її фактичний технічний стан.

Результати роботи можна практично застосувати для контролю й інших об'єктів: обидва розроблені способи можна використати для контролю будь-яких трубних виробів, коли виникає необхідність проведення контролю з їх внутрішньої поверхні (магістральних трубопроводів, труб теплообмінників та систем водопостачання); а окремі підходи розробленої методології реалізації луна-імпульсного методу – у випадках, коли акустичний контроль потрібно проводити при підвищених температурах та тисках (труб та пристроїв в процесі виготовлення, елементів реакторів і т.д.).



СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карпаш О.М., Векерик В.В., Криничний П.Я. Аналіз технічного стану обсадних колон і оцінка можливості контролю їх геометричних характеристик акустичним методом // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2004. – №1. – С.13–19.
2. Векерик В.В. Математичне моделювання роботи акустичного тракту при контролі геометричних параметрів труб в умовах свердловини // *Методи та прилади контролю якості*. – 2003. – №11. – С. 32 – 38.
3. Векерик В.В., Криничний П.Я., Карпаш О.М. Вимірювання товщини акустичним методом при високих температурах // *Збірник наукових праць. Серія: Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів, випуск 8: Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об'єктів*. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, 2003. – С. 16–20.
4. Карпаш О.М., Криничний П.Я., Векерик В.В. Аналіз методів та засобів контролю технічного стану обсадних колон в умовах експлуатації // *Методи та прилади контролю якості*. – 2002. – №8. – С. 16–18.
5. Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Криничний П.Я., Векерик В.В. Оцінка технічного стану обсадних колон // *Збірник наукових праць. Серія Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів, випуск 7 Неруйнівний контроль конструкційних та функціональних матеріалів*. – Львів, 2002. – С. 27–30.
6. Пат. України МКИ G01B17/02. Спосіб акустичного контролю геометричних характеристик внутрішньої поверхні труб / Карпаш О.М., Векерик В.В.; НВФ „Зонд”, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – №2003098122; Заявл. 01.09.2003; Опубл. 06.2004, Бюл. №6. – 5 с.
7. Пат. України UA61587 А, МКИ 7 G04N29/04. Спосіб акустичного контролю геометричних характеристик труб / Карпаш О.М., Криничний П.Я., Векерик В.В.; НВФ „Зонд”, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № 2003032058; Заявл. 07.03.2003; Опубл. 17.11.2003, Бюл. №11. – 4 с.
8. Криничний П.Я., Зінчак Я.М., Векерик В.В., Карпаш О.М., Райтер П.М. Свердловинний ультразвуковий товщиномір // *Нафта і газ України. Збірник наукових праць: Матеріали 7-ї міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України-2002” (Київ, 31 жовтня-1 листопада 2002 р.) в 2 т.* – К.: Нора-прінт, 2002. – Т1. – С. 349–351.
9. Криничний П.Я., Зінчак Я.М., Карпаш О.М., Райтер П.М., Векерик В.В. Розробка технічних засобів та технологій неруйнівного контролю обсадних колон в свердловині // *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання. Матеріали 3-ї науково-технічної конференції і виставки*. – Івано-Франківськ. – 3-6 грудня 2002. – С. 70–72.
10. Karpash O., Tsyutsyak I., Vekerik V., Danylyak Y. Nondestructive testing of drilling, oil and gas equipment and instrument // *Conferinta stiintifica cu participare internationala*. – Baia Mare. – 8-9 Mai 2003. – 169-172.

АНОТАЦІЯ

Векерик В.В. Акустичний контроль геометричних параметрів обсадних колон в свердловині. – 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. Івано-Франківськ – 2004.

Показано і обґрунтовано, що найбільш інформативним з параметрів, які відповідають за працездатність обсадних колон і визначають їх фактичний технічний стан, є геометричні параметри. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено способи акустичного контролю геометричних параметрів трубних виробів зсередини та методологію застосування з цією метою акустичного луна-імпульсного методу контролю в експлуатаційних умовах свердловини. Експериментально досліджено залежність швидкості поширення поздовжньої ультразвукової хвилі в матеріалі обсадних труб та чутливості акустичного тракту від експлуатаційних факторів свердловини. Розроблено математичну модель контролю (роботи акустичного тракту та розрахунку акустичного поля) в умовах свердловини. Розроблено комплекс технічних засобів для акустичного контролю геометричних параметрів обсадних колон в свердловині.

Ключові слова: акустичний контроль, технічний стан, обсадна колона, геометричні параметри, луна-імпульсний метод, швидкість поширення ультразвуку, товщина стінки, п'єзоелектричний перетворювач.

ANNOTATION

Vekeryk V.V. Acoustic testing of geometrical parameters of casing strings in a well. – Manuscript.

A thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering sciences on a speciality 05.11.13 - Devices and methods of testing and determination of matter composition. The Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil & Gas. Ivano-Frankivsk - 2004.

Is shown and prove that most informative parameters, which responsible for operational reliability of casing strings and which determine their actual technical condition, are the geometrical parameters. According to theoretical and experimental researches the means of the acoustic testing of geometrical parameters of pipes from their internal side and methodology of application with this purpose an acoustic pulse-echo method of the testing in operational conditions of a well was developed. Dependence of a speed of longitudinal ultrasonic wave propagation in a material of casing string and sensitivity of an acoustic tract from the operational factors experimentally are investigated. The mathematical model of the testing (of a work of an acoustic tract and estimation of an acoustic field) in conditions of a well is developed. The complex of means of the acoustic testing of geometrical parameters of casing strings in a well is developed.

Key words: the acoustic testing, technical condition, casing string, geometrical parameters, pulse-echo method, ultrasound wave speed propagation, wall thickness, piezoelectric probe.

АННОТАЦИЯ

Векерик А.В. Акустический контроль геометрических параметров обсадных колонн в скважине. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск – 2004.

Работоспособность обсадных колонн – один из главных факторов, влияющих на производительность и безопасность работы скважины. Отказы элементов обсадных колонн проявляются как при спуске и креплении колонны, так и во время освоения скважины и, особенно, в процессе ее продолжительной (более 20 лет) эксплуатации. Бывают случаи, когда через аварии с обсадными колоннами ликвидируют скважины, не выполнившие своего целевого назначения. Особенно актуальны вопросы контроля обсадных колонн подземных хранилищ газа, глубоких скважин и скважин, которые продолжительное время были на консервации.

Следует отметить, что существуют методы и средства контроля обсадных труб перед их спуском в скважину. Но даже если принять все предупредительные меры при формировании колонны, это не гарантирует ее безотказную работу на протяжении продолжительного срока. В условиях эксплуатации ухудшается техническое состояние обсадных труб, что приводит к появлению дефектов и возникновения аварийных ситуаций, на ликвидацию которых расходуются большие средства и время. Поэтому, необходимо проводить периодические обследования обсадной колонны для оценки ее технического состояния, позволяющих своевременно применить соответствующие профилактические меры, провести ремонт и избежать аварийных ситуаций. Самой эффективной является оценка технического состояния обсадных колонн по результатам неразрушающего контроля, периодичность которого регламентируется требованиями нормативных документов.

Разработке и усовершенствованию методов и средств неразрушающего контроля обсадных колонн посвящено много работ отечественных и зарубежных исследователей, но, несмотря на определенные достижения в этом направлении, используемые методы и средства не достаточно точны и информативны, а также довольно дороги. Поэтому задача дальнейшего усовершенствования и разработки является актуальной.

Наиболее важными параметрами обсадных колонн, отвечающих за их работоспособность и определяющих техническое состояние, являются геометрические параметры.

Цель работы состоит в разработке метода, способов и технических средств контроля технического состояния обсадных колонн непосредственно в скважине для выявления их повреждений и предупреждения аварий.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

– усовершенствована математическая модель работы акустического тракта системы контроля для расчета акустического поля при реализации разработанных способов контроля в условиях скважины, которая, в отличии от существующих

моделей, дает возможность рассчитать параметры контроля с учетом эксплуатационных условий скважины;

– определен температурный коэффициент изменения скорости распространения ультразвука в материале стальных обсадных труб разных групп прочности, который необходимо учитывать при вычислении толщины стенки трубы в условиях скважины, что позволит уменьшить дополнительную погрешность измерения;

– получил дальнейшее развитие акустический эхо-импульсный метод контроля, который, в отличие от известных вариантов его использования, применен для измерения геометрических параметров труб обсадных колонн в скважине, благодаря: разработанной методологии его реализации, базирующейся на учете и уменьшении влияния дестабилизирующих факторов на результат контроля, и разработанным новым способам контроля, которые позволяют проконтролировать поперечное сечение трубы изнутри с помощью одного преобразователя и невращающейся системы сканирования.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что разработанные способы и средства контроля позволяют: обеспечить контроль технического состояния обсадных колонн непосредственно в скважине; повысить надежность работы глубинного устройства благодаря использованию невращающейся системы сканирования и уменьшить её габаритные размеры благодаря использованию только одного измерительного канала и одного преобразователя, что играет значительную роль при конструировании средств внутритрубного контроля.

Ключевые слова: акустический контроль, техническое состояние, обсадная колонна, геометрические параметры, эхо-импульсный метод, скорость распространения ультразвука, толщина стенки, пьезоэлектрический преобразователь.

