

УДК 620.179

АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБСАДНИХ КОЛОН В СВЕРДЛОВИНІ

© Векерик В.В.

провідний інженер НДПІ ВАТ „Укрнафта”

(на час захисту - старший науковий співробітник НВФ “Зонд”)

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

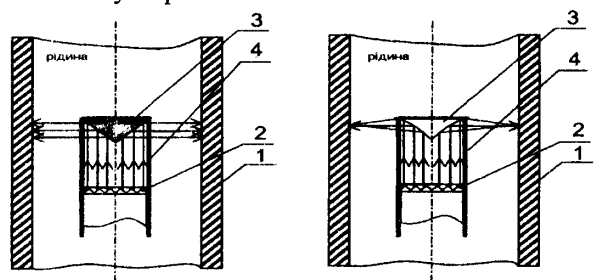
Показано і обґрунтовано, що найбільш інформативними параметрами, які визначають технічний стан обсадних колон та їх експлуатаційну надійність, є геометричні характеристики. Розроблені способи акустичного контролю геометричних параметрів трубних виробів зсередини. Експериментально досліджено залежність 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.

Обсадні колони призначені для тривалої (понад 20 років) експлуатації, тому перед спуском у свердловину їх ретельно контролюють. Але під час експлуатації технічний стан колони погіршується, з'являються дефекти, які призводять до аварій, ліквідація яких вимагає значних коштів і часу. Щоб попередити аварії, треба слідкувати за технічним станом обсадної колони в свердловині, своєчасно вживати належні профілактичні заходи, проводити ремонтні роботи. Найефективніше оцінити технічний стан можна за результатами неруйнівного контролю, тому мета роботи полягала в розробці методу, способів і технічних засобів контролю технічного стану обсадних колон безпосередньо в свердловині для виявлення їх пошкоджень і попередження відмов. За оптимальний було обрано акустичний (ультразвуковий) контроль.

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° .



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

Рис. 1. Схема реалізації способу контролю геометричних параметрів внутрішньої поверхні та форми поперечного перерізу труб: без фокусування (а) та з фокусуванням (б)

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 урахуванням часу затримки $t_{\text{затр.}}$ (від перетворювача до відбивача) згідно з формулою:

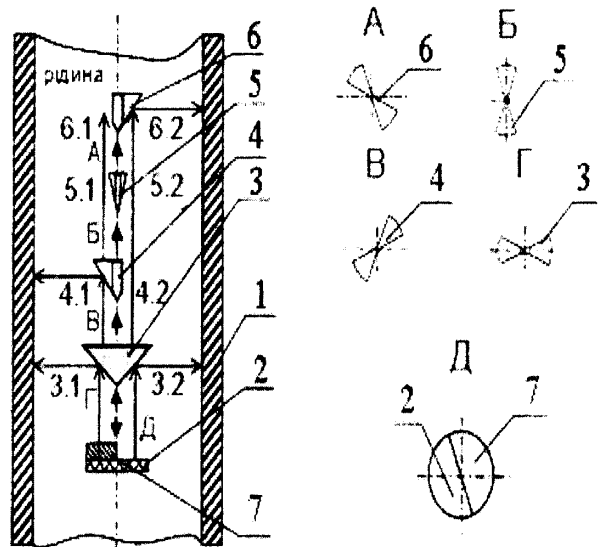
$$t_{\text{інф.}} = t_{\text{вим.}} - t_{\text{затр.}} = t_{\text{вим.}} - L/c_{\text{конт.рід.}} \quad (1)$$

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

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 вимірюваного числового значення в проконтрольованому перерізі за амплітудою імпульсу. Недоліками є неможливість ідентифікації багатостороннього зношення (луна-імпульси від пошкоджень однакової глибини, розміщених в різних місцях поперечного перерізу, зареєструються одночасно) та складність застосування для контролю товщини стінки у разі 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.



1 – труба; 2 – перетворювач; 3-6 – конусоподібні відбивачі; 7 – прискорювальна призма

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

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.

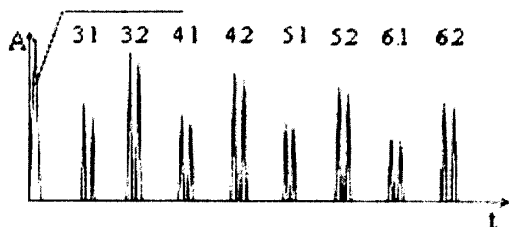


Рис. 3. Часова розгортка прийнятого сигналу, яка ілюструє повний цикл приходу імпульсів на перетворювач від чотирьох відбивачів

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 у часі пари імпульсів, відбитих від внутрішньої й зовнішньої поверхонь труби, визначаються її геометричні параметри: товщина стінки, діаметр, фактичне зношення внутрішньої і зовнішньої поверхонь.

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:

$$t_{\text{інф.}D_i} = t_{\text{вим.}j} - t_{\text{затр.}j};$$

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

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 за формулою:

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

де c_{cm} – 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.

Експериментальна перевірка розроблених сумішених п'єзоелектричних перетворювачів дала позитивний результат. Зокрема, досліджувалась залежність швидкості поширення поздовжньої хвилі від температури в зразках різної товщини, виготовлених з фрагментів сталених обсадних труб різних груп міцності. Експерименти проводилися в інтервалі температур від +14 до +100 °С. 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).

У 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.

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 і для правильної інтерпретації результатів контролю вимагає передачі на поверхню часу приходу та амплітуди сигналів. За допомогою другого способу (див. рис. 2) фактично проводиться контроль вздовж восьми твірних. При цьому можна оцінити розподіл контрольованих параметрів у поперечному перерізі труби і за значеннями виміряних 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.

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.

На основі теоретичних даних був розроблений і виготовлений експериментальний зразок інформаційно-вимірювального комплексу для контролю геометричних параметрів труб обсадної колони, який працює сумісно з пересувною лабораторією (каротажною станцією) та з трьохжильним геофізичним кабелем.

Контроль проводять 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 використовують керований електромеханічний пристрій з центраторами важільного типу у її верхній та нижній частинах. Керування здійснюється з наземного пульта управління.

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, дає можливість визначити параметри контролю з урахуванням 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;

набув 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 викорис-

тванню 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.

Висновки

1. 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 аварійним ситуаціям.

Доведено, що найбільш інформативними параметрами для контролю технічного стану обсадної колони є геометричні параметри поперечного перерізу труб (залишкова товщина стінки, фактичне зношення зовнішньої та внутрішньої поверхонь, форма поперечного перерізу), тому що саме вони найбільш повно характеризують зношення колони та величини допустимих навантажень.

2. Розроблено методологію застосування акустичного луна-імпульсного методу в умовах свердловини, яка базується на врахуванні температурної залежності швидкості поширення УЗК у матеріалі обсадних труб та контактному середовищі, врахуванні впливу експлуатаційних факторів на затухання ультразвуку та якість передачі на поверхню вимірювальної інформації. Це дозволяє підвищити точність та вірогідність результатів контролю шляхом: корегування результатів вимірювання, 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 геометричних параметрів трубних колон зсередини, що базуються на ідеї відхилення ультразвукових коливань від поздовжньої осі труби по радіусах до її стінки за допомогою конусоподібних відбивачів і забезпечують контроль одним ультразвуковим перетворювачем та безобертовою системою сканування, підвищує надійність роботи і спрощує конструкцію засобу контролю.

4. Розроблено математичну модель реалізації розроблених способів в 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.

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 м/(с·°C). Отримана залежність $c(T) = 5984 - 0,93T$ використовується для корегування результатів вимірювання товщини стінки труб обсадної колони, що дозволяє зменшити систематичну похибку вимірювання (на 2,25 % при температурі +150 °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 імерсійному 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.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу та науково-виробничій фірмі "Зонд".

Захист відбувся 9 липня 2004 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. Семенцов Г.Н., канд. техн. наук Рибачук В.Г.

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

УДК 622.245+620.179

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ТРУБНИХ КОЛОН

© Карпаш О.М.

проректор з наукової роботи Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
(на час захисту – директор НВФ "Зонд")

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.07 – машини і агрегати нафтової і газової промисловості

Захищається 96 наукових праць (з них 32 винаходи), що містять теоретичні дослідження та розробку методів підвищення роботоздатності трубних колон. Запропоновані й досліджені нові інформаційні ознаки якості різьбових з'єднань і способи вимірювання їх параметрів з використанням акустичних (ультразвукових) методів контролю. Досліджені закономірності розвитку корозійно-втомних тріщин у тілі бурильних труб і запропоновані способи їх виявлення. Результати теоретичних та експериментальних досліджень стали основою для технічного, методичного й організаційного забезпечення роботи служб неруйнівного контролю в нафтогазовій галузі.

Однією з найважливіших економічних проблем України є збільшення обсягів та темпів спорудження нафтових і газових свердловин при їх оптимальній собівартості та виконанні вимог екологічної безпеки. Оскільки головним чинником, що визначає вар-

тість, продуктивність та безпеку будь-якої нафтової чи газової свердловини, є трубні колони, то важливість і актуальність проблеми забезпечення їх працездатності до відпрацювання повного ресурсу стає цілком очевидною.