

1. Вилков А. Б. *Физические аспекты акустического контроля. Международный центр научной и технической информации, институт машиноведения им. А. А. Благодарова АН СССР. М., 1992. 269 с.*  
2. Колесников А. Е. *Ультразвуковые измерения. - М., "Изд-во стандартов". 1982, 248 с.*  
3. Буденков Г. А.,

Стрижак В. А., Пряхин А. В., Полянин Г. А., Коршунов Я. И., Медзвецкая О. В. *Импульсный метод измерения скорости ультразвука. - Дефектоскопия, 1999, № 2, С. 3-8.*  
4. Глинченко А. С., Кузнецкий С. С., Фиштейн А. М., Чмых М. К. *Цифровые методы измерения сдвига фаз. - Новосибирск: Наука, 1979.*

УДК 620.179

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ БУРОВОГО ІНСТРУМЕНТУ АКНК-1

© Карпаш О. М., Криничний П. Я., Козоріз А. В., 2000  
Науково-виробнича фірма "ЗОНД", м. Івано-Франківськ

**Приведені результати експериментальних та теоретичних досліджень неруйнівних методів та засобів контролю бурового інструменту. Описано автоматизований комплекс неруйнівного контролю бурового інструменту АКНК-1, приведена його технічна характеристика.**

Зменшення аварійності при бурінні є одним із найбільш важливих заходів, що забезпечує підвищення продуктивності, зниження собівартості, підвищення швидкості буріння.

Найбільша кількість аварій відбувається із-за порушення міцності бурильної і обсадної колон. Аналіз роботи колон показує, що порушення міцності бурильної колони є однією з основних причин аварійності в бурінні. Найбільша кількість відмов, які призводять до аварій, пов'язана із полумкою бурильних труб і складає 55-65 % від загального числа відмов. Переважаючим видом аварій є втомне руйнування бурильних труб в різьбових з'єднаннях, воно викликає 65-90% аварій [1, 2]. Інші 10-35% аварій обумовлені полумкою бурильних труб по тілу із-за концентрації напружень на поверхні труби і зменшення товщини стінок труб внаслідок зносу.

В теперішній час нафтова і газова галузі володіють достатньою кількістю різноманітних типів ультразвукових дефектоскопічних установок, окремих дефектоскопів і товщиномірів, які успішно використовуються для виявлення вказаних дефектів як в умовах бурової, так і в умовах трубних баз. Однак їх ефективне використання обмежене низькою продуктивністю контролю.

Підвищення продуктивності дефектоскопії і товщинометрії тіла бурильних труб, усунення суб'єктивного фактору при оцінці результатів контролю, отримання об'єктивного документу з реєстрацією результатів можуть бути досягнуті тільки при автоматизації процесу неруйнівного контролю.

Задача створення надійного і продуктивного контролю бурильних труб в процесі спуско-

підіймальних операцій (СПО) автоматизованими засобами ультразвукового контролю обумовлює необхідність створення складних механічних, акустичних та електронних систем. Тому вибір конструкції і оптимізація параметрів автоматизованого комплексу неруйнівного контролю вимагали проведення цілого ряду експериментальних робіт, пов'язаних з вирішенням внаслідок автоматизації наступних основних операцій:

- 1) сканування контрольованої труби ультразвуковим променем,
- 2) створення стабільного акустичного контакту п'єзоперетворювача з поверхнею труби,
- 3) реєстрація результатів контролю та їх оцінка,
- 4) керування режимами роботи каналами контролю.

До основних параметрів, які визначались шляхом експериментальних досліджень були віднесені: умовна чутливість, умовна роздільна здатність (фронтальна та по дальності), кути вводу ультразвукових коливань (УЗК), оптимальні частоти збудження п'єзоперетворювачів, діапазони зон контролю.

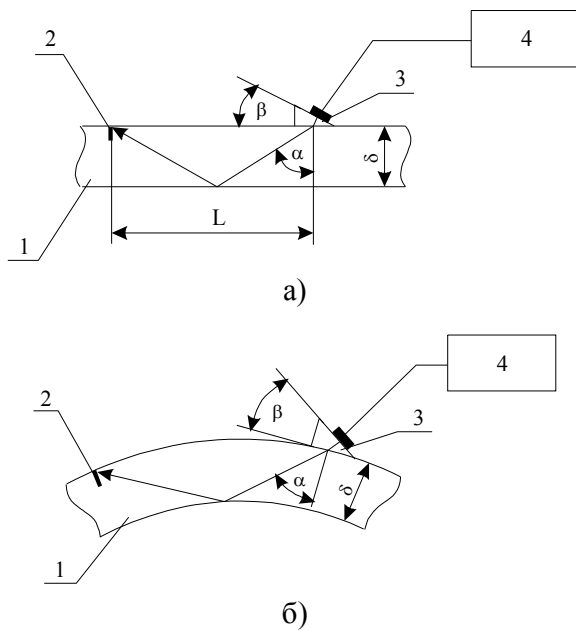
Експериментальні роботи по визначенню перерахованих параметрів проводилися по схемі, яка приведена на рис. 1.

Про наявність дефекту в стінці контрольованої труби свідчить поява луно-сигналу в зоні контролю на екрані ультразвукового дефектоскопа. Амплітуда луно-сигналу від дефекту залежить від розмірів і орієнтації дефекту, стану його відбиваючої поверхні, затухання УЗК в металі труби, параметрів

п'єзоперетворювача і його положення на поверхні труби, робочої частоти УЗК і ряду інших факторів.

Частота УЗК визначається в основному коефіцієнтом затухання, рівнем структурної реверберації металу і габаритами контрольованого виробу. Знаючи ці характеристики, можна оцінити і вибрати оптимальну частоту, яка забезпечить оптимальну чутливість контролю при мінімальних втратах енергії УЗК на поглинання і розсіювання зернами металу контрольованих труб.

Відомо, що затухання УЗК суттєво залежить від співвідношення величини діаметру  $D$  зерна і довжини хвилі  $\lambda$  УЗК. При  $\lambda < D$  пружні хвилі поглинаються в кожному зерні і затухання визначається в основному поглинанням. При  $\lambda \approx D$  затухання різко зростає за рахунок дифузного розсіювання пружних хвиль, які проникають між окремими



а) схема дослідження з штучним відбивачем поперечної орієнтації; б) схема дослідження з штучним відбивачем поздовжньої орієнтації; 1 - зразок труби для досліджень; 2 - штучний відбивач; 3 - призматичний перетворювач; 4 - ультразвуковий дефектоскоп

Рис. 1. Схема експериментальних досліджень.

кристалами металу. Особливо велике затухання при  $\lambda \approx (3...4)D$ . При  $\lambda \gg D$  відбувається розсіювання хвиль дрібними кристалами металу і коефіцієнт затухання пропорційний частоті УЗК в четвертій степені.

Для дефектоскопії звичайно застосовують частоти 0,5-10,0 МГц, при цьому  $\lambda \approx (10...15) \cdot D$ . В цьому діапазоні частот пружні коливання затухають слабо і відносно рідко спостерігаються завади від структурних складових.

Вибір оптимальної частоти УЗК стосовно контролю буринних труб здійснювався експериментально шляхом аналізу луно-сигналів на екрані дефектоскопу на частотах 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 МГц. Для цього підбирали таку частоту, при якій на екрані дефектоскопа спостерігалися чіткі луно-сигнали від штучного дефекту.

Результати досліджень показали, що оптимальна чутливість при контролі сталених і легкосплавних буринних труб досягається при частоті УЗК 2,5 МГц.

Ультразвуковий контроль по виявленню дефектів поперечної та поздовжньої орієнтації в стінці труб здійснюється, як правило, поперечними хвилями, які вводяться під кутом  $\alpha$  до поверхні тіла контрольованої труби за допомогою призматичних перетворювачів (рис. 1). УЗК, розповсюджуючись в стінці труби, багатократно відбиваються від її поверхонь. Число відбивань імпульсу УЗК при розповсюдженні вздовж акустичної вісі перетворювача від точки вводу променя до відбивача (штучного дефекту), розташованого, наприклад, на зовнішній поверхні стінки труби товщиною  $\delta$ , рівне

$$n_0 = L / (\delta \operatorname{tg} \alpha), \quad (1)$$

де  $L$  - відстань вздовж стінки труби від точки вводу променя до січення, в якому знаходиться відбивач.

Кут падіння променя або кут заломлення  $\alpha$  вибирають таким, щоб в стінці труби виникали тільки поперечні хвилі і досягалась максимальна чутливість виявлення штучних дефектів як на зовнішній, так і на внутрішній поверхнях стінки труби на оптимальній робочій частоті. Кут  $\beta$  призми перетворювача попередньо розраховують за законом синусів [3] таким чином:

$$\sin \beta / \sin \alpha = C_l / C_t, \quad (2)$$

де  $C_l$  і  $C_t$  - відповідно швидкості розповсюдження поздовжньої хвилі в матеріалі призми перетворювача і поперечної хвилі в металі труби.

Далі цей кут уточнювали експериментально з допомогою перетворювача з застосованим кутом вводу. В якості зразка для досліджень використовувався відрізок сталеної буринної труби довжиною 600 мм, діаметром 140 мм і товщиною стінки 10 мм. Зі сторони зовнішньої поверхні зразка в поперечному напрямку до його осі був нанесений штучний відбивач у вигляді прямокутного паза довжиною 20 мм і шириною 0,8 мм. Відбивач орієнтований під прямим кутом до поверхні зразка для досліджень.

Експерименти проводились з застосуванням ультразвукового дефектоскопа УД2-12 на робочій частоті 2,5 МГц. Критерієм вибору оптимального кута вводу УЗК служила максимальна амплітуда луно-сигналу від штучного відбивача, який надійно виявлявся ультразвуковим дефектоскопом. Експерименти показали, що найбільш повно даній умові відповідає перетворювач з кутом призми в межах

35-40°. При цьому максимальний і мінімальний кути вводу УЗК в тіло труби наступні:

$$\alpha_{min} = \arcsin(\sin\beta_{min} \cdot C_v/C_l) = 43^\circ 30', \quad (3)$$

$$\alpha_{max} = \arcsin(\sin\beta_{max} \cdot C_v/C_l) = 50^\circ 23', \quad (4)$$

де  $C_l = 3200$  м/с – швидкість розповсюдження поперечної хвилі в металі зразка,  $C_v = 2670$  м/с - швидкість розповсюдження поздовжньої хвилі в матеріалі призми перетворювача (оргскло).

По аналогії був проведений експеримент по вибору оптимального кута вводу УЗК для виявлення поперечного штучного дефекту таких же розмірів, який розташований на внутрішній поверхні стінки труби. Результати експериментів показали, що найбільш ефективно виявлення штучного дефекту на внутрішній поверхні труби відбувається при куті вводу  $\alpha = 50^\circ$ .

В результаті проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт науково-виробничою фірмою "Зонд" розроблений і виготовлений дослідний зразок автоматизованого комплексу неруйнівного контролю бурового інструменту АКНК-1.

Комплекс призначений для проведення ультразвуковим методом наступних видів контролю:

1) дефектоскопію різьбових ділянок і призматкової зони сталевих бурових труб (СБТ), бурових труб із алюмінієвих сплавів (АБТ), обважнених бурових труб (ОБТ) в з'єднаному і роз'єднаному станах;

2) контролю відхилення зусилля затяжки ОБТ від нормованого значення;

3) контролю відповідності діаметрального натягу по кінчному стабілізуючому пояску бурових труб типу 3 і 4 по ГОСТ 631-75 (труби ВК і НК) в зборі з замками ЗУК і ЗШК по ГОСТ 5286-75 його нормованому значенню;

4) контролю товщини стінки СБТ, АБТ і сталевих обсадних труб (СОТ) в місцях підвищеного зносу.

Комплекс призначений для роботи в умовах бурової при проведенні спуско-підіймальних операцій (СПО), на трубних площадках і базах виробничого обслуговування.

Загальна структурна схема автоматизованого комплексу, яка реалізує ультразвуковий луно-метод контролю бурових труб в процесі їх підйому із свердловини, приведена на рис. 2. Система п'єзоперетворювачів разом з системою створення акустичного контакту (акустичний блок 1) випромінює акустичні коливання в заданому напрямку тіла контрольованої бурової труби 16, яка підіймається із свердловини із швидкістю піднімання бурової колони. Луно-сигнали від дефектів поперечної або поздовжньої орієнтації, а також внаслідок вимірювання товщини поступають у відповідні канали дефектоскопії (3, 4) і товщинометрії (5). У випадку виявлення дефектів або виходу товщини стінки за

межі встановленого допуску спрацьовує світлова і звукова автоматична сигналізація відповідного каналу (7, 10 або 13), а з допомогою реєструючих блоків 8, 11 і 14 здійснюється їх документування.

При закінченні циклу контролю однієї труби контролю кінцеві результати контролю відображаються на екрані індикатора 15.

Керований маніпулятор 2 призначений для позиціонування акустичного блоку співвісно з контрольованою трубою, яка знаходиться у вертикальному положенні і забезпечує стабільний акустичний контакт п'єзоперетворювачів з поверхнею контрольованої труби під час її поступального руху або обертання.

Установка вкомплектована телевізійною установкою прикладного призначення ПТУ-63, яка дає можливість оператору, що заходиться в машині, спостерігати за процесом контролю.

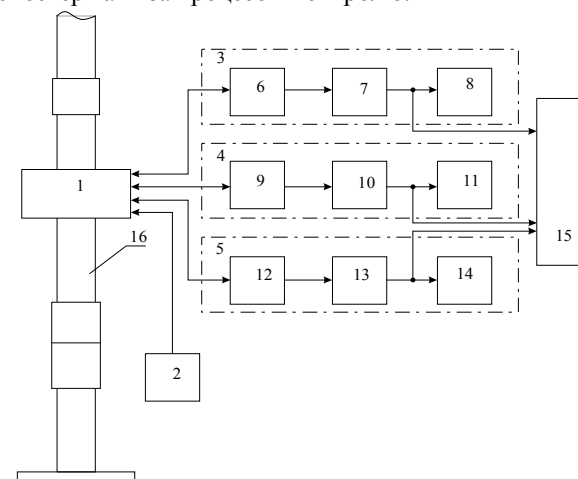


Рис. 2. Загальна структурна схема автоматизованого комплексу.

Таким чином, при спільній роботі функціональних вузлів і блоків структурної схеми по заданому алгоритму отримується рішення про якість кожної бурової труби, яка входить в склад бурової колони.

### Технічна характеристика комплексу АКНК-1:

1. Діапазон контрольованих типорозмірів труб нафтового сортаменту:

- 1.1. СБТ умовним діаметром від 73 до 140 мм з товщиною стінки від 7 до 11 мм;
- 1.2. АБТ умовним діаметром від 73 до 147 мм з товщиною стінки від 9 до 17 мм;
- 1.3. ОБТ умовним діаметром від 108 до 229 мм з товщиною стінки від 33 до 70 мм;
- 1.4. СОТ умовним діаметром від 114 до 508 мм з товщиною стінки від 7 до 12 мм;
- 1.5. НК умовним діаметром від 73 до 114 мм з товщиною стінки від 9 до 11 мм;
- 1.6. ВК умовним діаметром від 89 до 140 мм з

- товщиною стінки від 9 до 11 мм.
2. Діапазон вимірюваних товщин стінок труб - від 7 до 17 мм.
  3. Межа допустимого значення основної похибки товщиноміра при вимірюванні товщини до 17 мм – не більше  $\pm 0,1$  мм.
  4. Розміри дефектів, що виявляються:
    - 4.1. глибина -  $12,5 \pm 1$  % від товщини стінки;
    - 4.2. протяжність -  $25 \pm 2,0$  мм.
  5. Похибка вимірювання товщини стінки - не більше  $\pm 0,2$  мм.
  6. Робоча частота ультразвукових коливань - 2.5 - 5.0 МГц.
  7. Частота синхронізуючих імпульсів – 1000 Гц.
  8. Реєстрація дефектів і товщини, що вимірюється – автоматична.
  9. Сигналізація результатів контролю - світлова і звукова.
  10. Спосіб створення акустичного контакту - щільний, через шар води.
  11. Тривалість контролю при дефектоскопії різьової частини, призматкової зони, визначення відхилення осьового зусилля затяжки і діаметрального натягу –  $45 \pm 10$  с.
  12. Витрата води для створення акустичного контакту в процесі контролю не перевищує  $0,72 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Як акустична рідина використовується вода без механічних домішок або масло М-8Г<sub>1</sub> (ГОСТ 10541-78).
  13. Споживана потужність – не більше 3,0 кВт.

Комплекс пройшов метрологічну атестацію і приймальні випробування.
- 1. Сароян А. Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. - М.: Недра, 1979. 2. Субботин С. С., Соколова Н. Г., Брюханов А. Ф., Михайленко М. И. Дефектоскопия нефтяного оборудования. – М.: Недра, 1975. 3. Гурвич А. К., Ермилов И. Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. – К.: Техніка, 1972.*