

УДК 620.179+622.24.053

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНИХ КОЛОН

© Даниляк Я.Б., 2005

Науково-виробнича фірма „Зонд”, м. Івано-Франківськ

Викладена суть технічного діагностування елементів та з'єднань бурильної колони. Розроблена методика контролю якості згвинчування (зусилля затяжки) замкового з'єднання. Розраховано значення величин осьових зусиль затяжки і контактні тиски в упорному стику для всіх контрольованих типорозмірів ОБТ.

Забезпечення надійності і довговічності бурильних колон (можливості відпрацювання ними повного ресурсу) належить до ключових проблем нафтогазової галузі України. Одним із можливих шляхів її вирішення є технічне діагностування елементів та з'єднань колони на всіх стадіях її життєвого циклу. Суть технічного діагностування полягає у контролі технічного стану, виявленні причин існуючих чи потенційних відмов і визначенні технічного стану на наступний інтервал часу (прогнозуванні ресурсу) [1].

Бурильна колона складається з ведучої труби, бурильних труб, з'єднаних між собою замковими з'єднаннями; обважених труб, що встановлюються в нижній частині колони над долотом. Основними функціями бурильної колони є передача енергії долоту, подача бурового розчину на забій свердловини, осьове навантаження на долото тощо. Технічний стан бурильної колони залежить як від її якісних характеристик, так і від умов експлуатації.

Аналіз умов експлуатації бурильної колони показує, що вона зазнає дії різних за характером і величиною навантажень (статичних, динамічних та змінних), які змінюються по всій її довжині, причому з наближенням до забою вплив змінних навантажень збільшується. Якщо згинаючі змінні навантаження пов'язані з обертанням колони, то осьові – з коливаннями в процесі роботи долота та зі спуско-підіймальними операціями, під час яких колона піддається поперемінному розтягу і стисненню, обумовленому зміною ваги розміщеної нижче частини труб. Вплив теплового поля призводить до зниження міцності матеріалу труб на 10-20% [2]. Усе це негативно відбивається на технічному стані бурильної колони і може призвести до аварійної ситуації.

В основному аварії пов'язані з порушенням цілісності різьбових з'єднань бурильної колони. За даними статистичного аналізу, до 80 % відмов відбувається в різьбових з'єднаннях бурильних труб, бурильних замків і ведучих труб [2].

Найбільш поширене порушення замкового

з'єднання труб – викришування окремих витків (переважно на ділянках, розташованих біля більшого або меншого діаметра конуса з'єднання), злам конуса ніпеля або муфти, руйнування замка або з'єднувальної муфти у вигляді повздовжніх або поперечних тріщин, які виникають під час буріння або підготовки комплектів труб. Такі тріщини переважно є наслідком внутрішніх напружень, пов'язаних з порушенням термообробки або з дефектами металургійного походження. Частими є відмови, пов'язані із зношуванням замкової різьби внаслідок багатократного згвинчування-розгвинчування під час спуско-підіймальних операцій, коливань бурильної колони, викликаних її обертанням, роботою забійного двигуна та долота. Послаблення різьбових з'єднань під дією змінних навантажень (особливо за недостатньої затяжки з'єднання перед спуском в свердловину) призводить до циклічного тертя спряжених поверхонь, що, на додачу до зносу, змінює фізико-механічні властивості поверхневого шару, сприяє деформації поверхневих структур, зниженню міцності і збільшенню вільної поверхневої енергії з наступним утворенням мікротріщин. Як наслідок відбувається втомне руйнування або розрив замкового з'єднання через знос різьби.

Технічний стан бурильної колони можна охарактеризувати двома узагальнюючими показниками – здатністю протидіяти зовнішнім навантаженням (несучою здатністю, міцністю з'єднань тощо) та герметичністю. Кожен з цих показників може бути оцінений за сукупністю наступних діагностованих параметрів:

1) геометричні характеристики тіла труб (внутрішній та зовнішній діаметри, товщина стінки, величина та характер зносу, зігнутість, різностінність тощо);

2) геометричні характеристики різьбових ділянок (параметри різьби, висадки, стабілізуючих поясків, упорних торців та виступів, ступінь зносу різьби, співвісність з'єднання);

3) міцність і герметичність з'єднань елементів колони;

4) наявність внутрішніх та поверхневих дефектів в тілі й різьбових ділянках;

5) міцнісні та пружні характеристики матеріалу елементів трубної колони, твердість їх поверхневого шару;

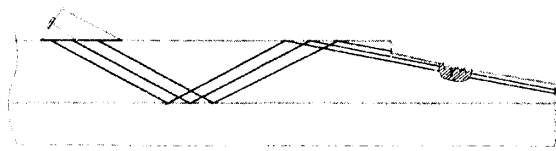
6) величина та характер розподілу напружень по товщі металу (як в діаметральному, так і в осьовому напрямках), у т.ч. монтажних напружень.

Найбільш вразливими у плані потенційних відмов є замкові з'єднання елементів бурильної колони, тому за мету ставилось встановлення та дослідження діагностованих параметрів, придатних для оперативного технічного діагностування замкових з'єднань бурильних колон перед спуском у свердловину.

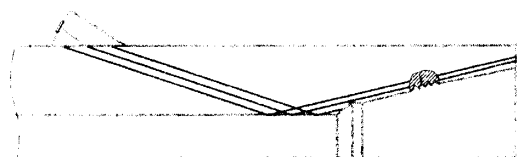
Такими параметрами виявились, перш за все, дефекти втомного походження і якість звинчування (зусилля затяжки) замкового з'єднання. Для контролювання цих параметрів було обрано ультразвуковий метод.

Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені для обважнених бурильних труб, показали, що в діапазоні діаметрів від 108 мм до 178 мм для виявлення втомних тріщин у замковій різьбі в більшості випадків може бути використаний луна-імпульсний метод, який реалізується за допомогою похилих п'єзоперетворювачів (рис. 1а, б), але для більших діаметрів (від 197 мм до 229 мм) контроль похилими п'єзоперетворювачами є недостатньо надійним і достовірним через складність вводу поперечної хвилі ультразвукових коливань (УЗК) по нормалі до площини дефекту та затухання УЗК у товщі металу. З огляду на це, було запропоновано контролювати кожен з елементів розгвинченого замкового з'єднання з використанням прямого п'єзоперетворювача, встановленого на горцевій поверхні.

Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені для обважнених бурильних труб, показали, що в діапазоні діаметрів від 108 мм до 178 мм для виявлення втомних тріщин у замковій різьбі в більшості випадків може бути використаний луна-імпульсний метод, який реалізується за допомогою похилих п'єзоперетворювачів (рис. 1а, б), але для більших діаметрів (від 197 мм до 229 мм) контроль похилими п'єзоперетворювачами є недостатньо надійним і достовірним через складність вводу поперечної хвилі ультразвукових коливань (УЗК) по нормалі до площини дефекту та затухання УЗК у товщі металу. З огляду на це, було запропоновано контролювати кожен з елементів розгвинченого замкового з'єднання з використанням прямого п'єзоперетворювача, встановленого на горцевій поверхні.

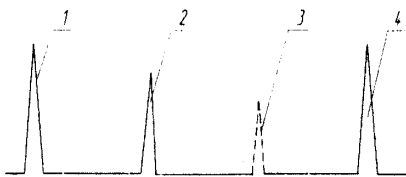


а)



б)

1 - зондуєчий імпульс; 2 - луна-імпульс від скосу або упорного торця; 3 - луна-імпульс від дефекта; 4 - луна-імпульс від торця



в)

Рис. 1. Контроль ніпельної (а) та муфтової (б) частин ОБТ діаметром від 108 до 197 мм та зображення на екрані дефектоскопа (в)

Робочу частоту п'єзоперетворювача і діаметр п'єзокераміки обирали так, щоб забезпечити мінімальне відбиття ультразвукової енергії від площин витків різьби і максимальне - від площин втомної тріщини. Тому перш за все визначили специфіку розвитку й поширення втомних тріщин у замковій різьбі, дослідивши 15 макрошліфів з втомними тріщинами глибиною від 1,5 мм до 10,0 мм, вирізаних з ОБТ діаметрами 203 мм і 229 мм.

З'ясувавши, що напрям розвитку тріщини йде в сторону від торця труби, а діапазон кутів нахилу втомних тріщин до осі труби при апроксимації їх прямими лініями лежить в межах (4-8)°, визначили модель втомної тріщини у вигляді тріщини глибиною 5 мм з кутом нахилу $6^\circ \pm 2^\circ$ до осі труби. Завдяки цьому були визначені прийнятні параметри способу контролю замкових різьб прямим п'єзо-

перетворювачем. У дальній зоні ультразвукового поля прямого п'єзоперетворювача починається поступове розширення хвилі (рис.2). Поле хвилі набуває форми усіченого конуса, половина кута якого

$$\varphi_p = \arcsin 61 \frac{\lambda}{a},$$

де λ - довжина хвилі; a - радіус випромінювача.

Умова мінімального відбиття ультразвукової енергії від площин впадин різьби виконується при $\varphi \geq \varphi_p$. Максимальне відбиття ультразвукової енергії від площини втомної тріщини буде спостерігатись при $\varphi_p = \varphi_T$. Виходячи з цього, а також враховуючи, що кут нахилу φ для замкової різьби 3-171, становить $4^\circ 45' 48''$, оптимальний кут розходження хвилі п'єзоперетворювача повинен знаходитись в межах від 4° до 8° .

Для виявлення втомних тріщин, орієнтованих під різними кутами до осі труби в межах вказаного діапазону кутів, необхідно мати п'єзоперетворювач з кутом φ_p , близьким до верхньої межі вказаного діапазону. У цьому випадку найвища виявлюваність втомних тріщин матиме місце при куті $\varphi_t = 8^\circ$ і, відповідно, буде спадати із зменшенням кута φ_t .

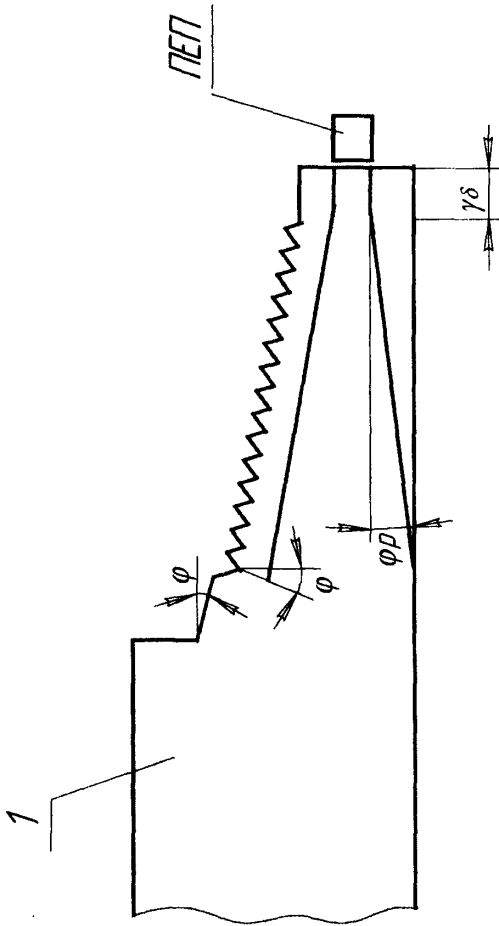


Рис. 2. Схема поширення УЗК при прозвучуванні ОБТ з торця прямим п'єзоперетворювачем

Експериментальні дослідження проводились на натурних зразках ніпельної та муфтової частини об'єктованих бурових труб (умовним діаметром 203 мм і 229 мм з замковою різьбою типу 3-171) зі штучними дефектами глибиною від 1,5 до 5,0 мм у западинах другої та п'ятої ниток різьби. Орієнтація штучних дефектів під визначеним кутом до осі труби забезпечувалась способом виготовлення, величину кута нахилу визначали для кожного типорозміру ОБТ виходячи з критеріїв максимального (від площини дефекту) і мінімального (від різьби) відбиття ультразвукових коливань та конкретного кута нахилу замкової різьби.

Методика проведення експериментальних досліджень полягала у такому. Натурний зразок із штучними дефектами у западині першої та п'ятої ниток різьби розміщали на підставці з роликками, а на торцеву поверхню зразка встановлювали прямий п'єзоперетворювач так, щоб жоден із штучних дефектів не попадав у зону випромінювання (рис. 2). Органами регулювання дефектоскопа усували або зводили до мінімуму рівень завад, обумовлених багатократним відбиттям УЗК від впадин різьби і стінок труби. Після цього п'єзоперетворювач переміщали по торцю так, щоб в зону випромінювання потрапив штучний дефект у западині п'ятої нитки різьби, і регулювали кут між випромінюючою поверхнею перетворювача і торцем зразка так, щоб амплітуда імпульсу від штучного дефекту сягала максимуму, а завади були відсутні або мінімальні. У пошуках максимуму амплітуди також інколи переміщували перетворювач на торцевій поверхні у радіальному напрямку та коригували настройку чутливості і рівня відсічки для досягнення необхідної чутливості і захисту від завад.

Таким чином було експериментально встановлено, що прямий п'єзоперетворювач з діаметром п'єзокераміки 12 мм і робочою частотою 5 МГц дозволяє виявляти втомні тріщини глибиною 1,5 мм і більше в об'єктованих бурових трубах умовним діаметром 203 мм і 229 мм з різьбами типу 3-171.

Під час експериментальних досліджень з контролювання замкових з'єднань у згинченому стані ультразвукові коливання вводили в різьбову ділянку ОБТ з її зовнішньої поверхні так, щоб вони поширювались у напрямку її торця паралельно твірній конуса різьби.

Для цього використовували похилий п'єзоперетворювач з кутом призми 54° та регульованим кутом вводу та, як і в попередньому випадку, натурні зразки ОБТ умовним діаметром 108 мм та 146 мм зі штучними дефектами глибиною 5 мм, орієнтованими по нормалі до осі труби, укладені на підставку з роликками.

Методика експериментальних досліджень полягала у тому, що п'єзоперетворювач встановлювали на ніпельну (рис. 1, а) або муфтову (рис. 1, б) частину замкового з'єднання так, щоб віддаль від точки вводу УЗК до торця труби була в межах від 330 до 450 мм. Ультразвукові коливання через шар контактної рідини вводили із зовнішньої поверхні в тіло труби ОБТ в напрямку до різьбової частини на визначеній віддалі від торця труби. Кут вводу УЗК і відповідний йому кут заломлення вибирали таким, щоб УЗК поширювались в контрольованому виробі вздовж твірної конуса різьби безпосередньо біля впадин різьби. Спершу п'єзоперетворювач розміщали так, щоб вісь випромінювання УЗК проходила

через бездефектну зону. Тоді на екрані дефектоскопа, крім зондувального імпульсу, повинні були з'являтися імпульси, відбиті від упорного торця та від торця труби (для ніпельних частин) або від скосу труби і від торця (для муфтових частин). Після чіткої появи зазначених імпульсів зразок, не змінюючи віддалі від точки вводу УЗК до торця труби, обертали на роликах так, щоб вісь випромінювання перетворювача перетнула площину штучного дефекту в западині п'ятої нитки різьби, при цьому на екрані дефектоскопа лівіше імпульсу від торця труби з'являвся імпульс від дефекту (рис. 1. в). Тоді, обертаючи регулюючий гвинт, знаходили такий кут між випромінюючою поверхнею перетворювача і поверхнею труби, при якому амплітуда імпульсу від дефекту ставала максимальною, і за допомогою контргайки фіксувати положення регулюючого гвинта. У пошуках максимуму амплітуди п'езоперетворювач, за потреби, дещо переміщували вздовж осі зразка. Штучний дефект повинен був чітко виявлятися під час обертання зразка, на якому проводили настроювання, а також при контролюванні іншого зразка такого ж типорозміру за умови збереження параметрів (кута вводу та відстані) настроювання.

Результати експериментів показали, що дефекти глибиною 5 мм стабільно виявляються як у згвинченому, так і в розгвинченому замковому з'єднанні ОБТ умовним діаметром 108 та 146 мм. Луна-імпульси від штучних дефектів були стабільно стійкими як у ніпельній, так і у муфтовій частині, так само як і імпульси від упорного торця, але імпульси від скосу і від торця труби час від часу зникали з розгортки.

Таким чином, експериментальні дослідження показали, що елементи замкового з'єднання можуть бути проконтрольовані перед спуском у свердловину. Але, як уже зазначалось, технічний стан колони визначає не тільки бездефектність її складових, а і якість з'єднань цих складових між собою. Оскільки більшість елементів бурильної колони з'єднуються за допомогою замкової різьби, то предметом досліджень була обрана саме вона.

Відомо, що найбільша довговічність замкового з'єднання досягається тільки при його оптимальній затяжці. Недостатня затяжка призводить до втомних поломок або промиву глиняним розчином різьбового з'єднання, перевищення оптимального крутного моменту затяжки може призвести до руйнування ніпельної частини з'єднання.

Проведено дослідження по встановленню залежності амплітуди луна-імпульсів, що пройшли через стик замкового різьбового з'єднання, від моменту затяжки з'єднання. Дослідження проводились на лабораторних зразках типу 3-42. У результаті була встановлена принципова можливість визначати зу-

силля затяжки з'єднання за допомогою ультразвуку і знайдена лінійна залежність між амплітудою ультразвукових імпульсів і крутним моментом затяжки.

Відомо, що між зусиллям затяжки і крутним моментом існує залежність:

$$M = k_0 \cdot Q, \quad (1)$$

де M – крутний момент, k_0 – коефіцієнт пропорційності або коефіцієнт затяжки; Q – осьова сила на стик затягнутого з'єднання.

За умови забезпечення сталості коефіцієнта тертя в різьбовій парі, а також сталих геометричних розмірів і чистоти обробки різьбового з'єднання крутний момент затяжки однозначно характеризує осьове зусилля затяжки з'єднання. У зв'язку з тим, що контроль зміни крутного моменту пов'язаний з меншими технічними труднощами, ніж вимірювання осьового зусилля затяжки, в стендових умовах була встановлена залежність амплітуди поперечних ультразвукових коливань частотою 2,5 МГц, що пройшли через упорний стик різьбового з'єднання ОБТ діаметром 146 мм з замковою різьбою типу 3-122 від величини крутного моменту затяжки з'єднання. Матеріал ОБТ – сталь 36Г2С.

Осьове зусилля затяжки різьбового з'єднання визначалось за формулою $Q = M_{кр}/k_0$. Максимальна величина крутного моменту затяжки різьбового з'єднання приймалась рівною 20 кН.м.

Залежність між амплітудою поперечних ультразвукових коливань, які пройшли через стик, і величиною крутного моменту затяжки для ОБТ діаметром 146 мм (рис. 3) свідчить про лінійний зв'язок між крутним моментом (в межах від 0 до 20 кН.м) та осьовим зусиллям затяжки (від 0 до 230 Н/мм²).

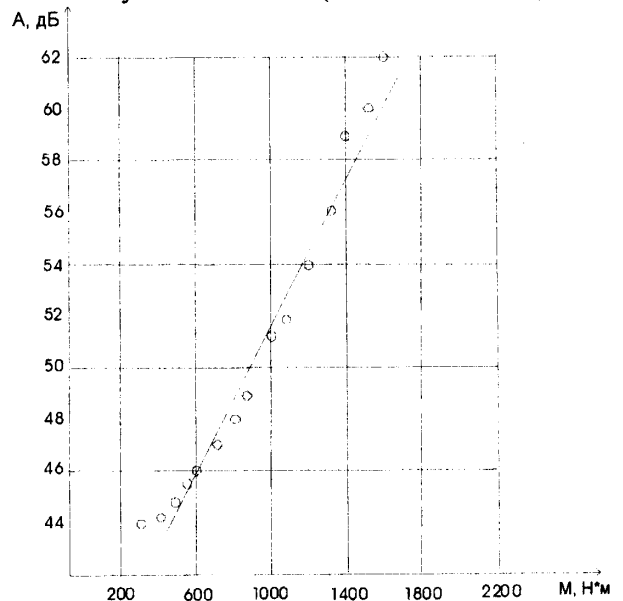


Рис. 3 Залежність амплітуди УЗК, які пройшли через стик, від величини крутного моменту затяжки

Як показують дослідження, проведені Н.В.Хімченко, залежність амплітуди сигналу повздовжніх ультразвукових коливань частотою 0,7 МГц від величини контактного тиску, знята при прозвучуванні теплових з'єднань із сталей 20, 35, 50, практично лінійна до величини контактного тиску 120 кН/мм^2 . При контактному тиску вище за $120 - 140 \text{ кН/мм}^2$ спостерігається деяке зменшення амплітуди сигналу, яке автор пояснює зростаючим впливом зони деформованого металу, яка досягає $1 - 1,5 \text{ мм}$. Лінійний характер залежності для упорного стику ОБТ можна пояснити наявністю тангенційної складової осьової сили при зтяжці з'єднання, яка збільшує число зон щільного контакту в упорному стику.

З метою вивчення зміни осьового зусилля зтяжки по колу упорного стику провели експериментальні дослідження за схемою рис. 4. Дослідження проводились на двох зразках з замковою різьбою 3-42, попередньо зтягнутих крутним моментом рівним $2,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Кут призми приймаючого і випромінюючого п'єзоперетворювачів становить 50° , робоча частота п'єзоперетворювачів – 5 МГц . Для запису сигналу, який пройшов через упорний стик, використовувався ПК, підключений до аналогового виходу ультразвукового дефектоскопа УД2-12.

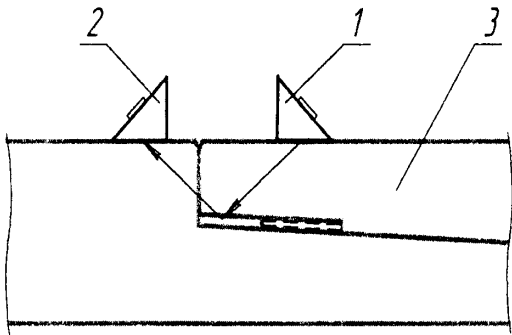
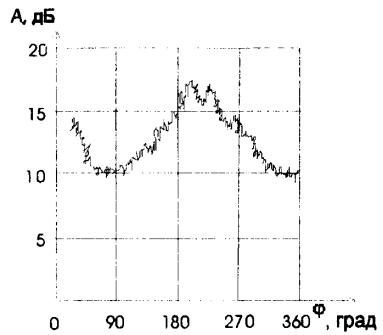


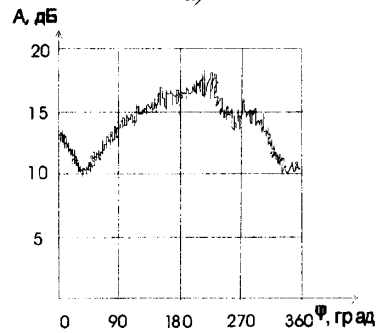
Рис. 4. Схема прозвучування упорного стику ОБТ

Стик прозвучувався по колу шляхом рівномірного обертання зразка. Запис сигналу, який пройшов через стик, показано на рис.5 та рис. 6. Для першого і другого зразків запис здійснювався при трьох (відповідно а), б) та в) на рис. 5 та рис. 6) обертах зразка. Як видно з рисунків, по колу зразка має місце зміна зусилля зтяжки, обумовлена відхиленням геометричних розмірів зразків від номінальних.

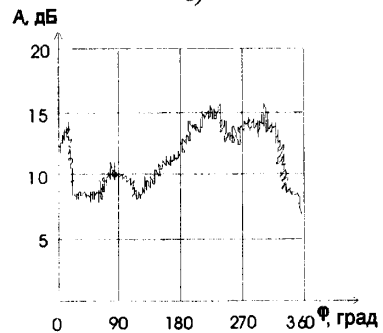
Оскільки відхили геометричних розмірів безпосередньо впливають на величину зусилля зтяжки, виникла потреба визначити характер цього впливу. З цією метою було проведено експериментальні дослідження для встановлення характеру розподілу контактних тисків в упорному стику замкового різьбового з'єднання



а)



б)

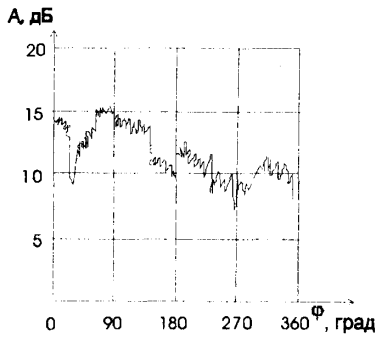


в)

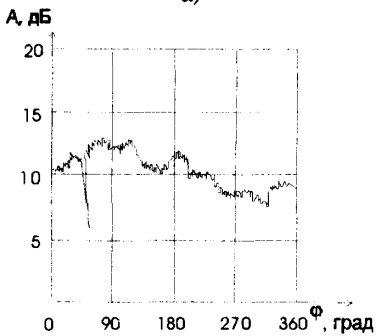
Рис. 5. Зразок 1: запис аналогового сигналу на виході дефектоскопа

За наявності дефекту (втомної тріщини) у ніпелній частині згиненого різьбового з'єднання виникає додатковий згинаючий момент у площині торця муфти через позацентрове прикладання стискаючих навантажень в муфті від зтяжки з'єднання. Цей згинаючий момент викликає зменшення контактних тисків на одній із сторін упорного торця муфти (на ділянці розвитку втомної тріщини) і їх збільшення - на діаметрально протилежній стороні.

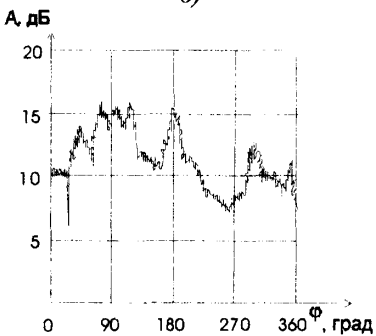
З розвитком втомної тріщини в ніпелі може відбутись повне розкриття упорного стику замкового з'єднання зі сторони найбільшого втомного руйнування ніпеля.



a)



б)



в)

Рис. 6. Зразок 2: запис аналогового сигналу на виході дефектоскопа

.У лабораторних умовах встановлений характер розподілу контактних тисків в упорному стикі за допомогою ультразвукового луна-імпульсного методу. Дослідження проводились на різьбовому з'єднанні 3-147 за суміщеною схемою контролю. Кут нахилу п'єзоперетворювача складав 40° при робочій частоті УЗК 5 МГц.

Заміри амплітуди відбитих від стикі луна-сигналів проводились у 8 точках кола, тобто через кожних 45° при моменті згвинчування 3,5 кНм. Характер зміни амплітуди відбитого сигналу, який однозначно визначає зміну контактної тиску в упорному стикі ОБТ, показано на рис. 6. Залежність 1 відображає характер зміни контактної тиску в бездефектному різьбовому з'єднанні, 2 – в з'єднанні

такого ж типу, але за наявності втомної тріщини, що утворилась у процесі стендових випробувань на машині УП-200.

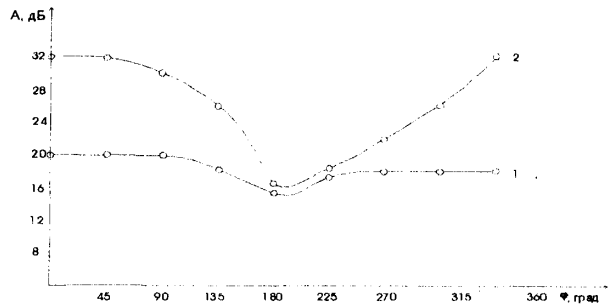


Рис. 6. Залежність контактної тиску у замковому різьбовому з'єднанні за відсутності (крива 1) та за наявності (крива 2) дефекту типу втомної тріщини

Проведені дослідження показують можливість проведення ультразвукового контролю замкових різьбових з'єднань на наявність втомних тріщин в ніпельних ділянках по зміні контактної тиску в упорному стикі.

Результати цих досліджень були втілені в методиці контролю зусилля затяжки замкових з'єднань обважнених бурильних труб. Ця методика передбачає спосіб, умови і порядок проведення контролю зусилля затяжки обважнених бурильних труб діаметром від 89 до 229 мм в умовах бурової. Вона базується на застосуванні принципів проходження ультразвукових коливань через напружене пошарове середовище За цією методикою проводиться контроль зусилля затяжки ОБТ (крутного моменту згвинчування) непрямым методом, оскільки зміна крутного моменту, що визначає зусилля затяжки замкового з'єднання ОБТ, веде до зміни контактної тиску в упорному стикі, яке, в свою чергу, зумовлює перерозподіл ультразвукової енергії на стикі. Тому ультразвукові коливання із зовнішньої поверхні муфтової частини спрямовуються у зону контрольованого стика замкового різьбового з'єднання під кутом, який забезпечує поширення центральної частини пучка у напрямку бісектриси двогранного кута, утвореного поверхнями торця і конічної виточки. При цьому на екрані дефектоскопа з'являється луна-сигнал відбитих УЗК від поверхні двогранного кута. Крім того, в місці вводу основної поперечної хвилі вводиться додаткова повздовжня (по нормалі до поверхні конічної виточки в площині торця). Відбитий луна-сигнал цієї хвилі використовується як опорний і одночасно служить для контролю якості акустичного контакту.

Технологія контролю зусилля затяжки ОБТ передбачає два етапи:

попереднє настроювання приладу з п'єзоперетворювачем на зразку;

контроль зусилля затяжки реального з'єднання на буровій.

Попередню настройку приладу з п'єзоперетворювачем необхідно проводити кожний раз перед проведенням контролю на зразку для настроювання, який являє собою замкове різьбове з'єднання відповідного типорозміру. Контроль зусилля затяжки на буровій необхідно проводити після закріплення бурильної колони в клинових захватах або посадки на елеватор.

Контролюються всі неробочі різьбові з'єднання в свічах ОБТ і робочі після їх згинчування.

Різьбове з'єднання підлягає додатковій затяжці або розгвинчуванню з послідуною затяжкою з оптимальним крутним моментом, якщо співвідношення амплітуд луна-сигналів 2 і 3 на контрольованому з'єднанні і дослідному зразку відрізняються більше, ніж на 15%. Поєднання неруйнівного контролю різьбових ділянок ОБТ з контролем зусилля затяжки замкового з'єднання дозволить оптимально відпрацювати комплект ОБТ при бурінні глибоких свердловин.

1. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. 2. Сароян А.Е. Теория и практика работы буровой колонны. – М.: Недра, 1990. – 263 с.

УДК 622.242.6

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО СТАНУ - ОСНОВА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ БУРОВИХ УСТАНОВОК

© Карнаш О.М., Зінчак Я.М., Козулькевич М.Р., Карнаш М.О., 2005
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Наведена концепція продовження терміну експлуатації бурових установок (БУ). Досліджені проблеми прогнозування реального залишкового ресурсу бурових установок. Досліджені методи ранньої діагностики різних типів обладнання та конструкцій, проаналізовано їх переваги та недоліки при використанні для визначення фактичного технічного стану механічного обладнання бурових установок в процесі експлуатації. Вибрані і описані два основні методи ранньої діагностики, які можуть бути застосовані до бурових установок (стаціонарних та мобільних): метод магнітної пам'яті металу та вібраційний метод діагностування.

Розвиток систем паливної енергетики і об'єктів хімічної технології пов'язаний із збільшенням масштабів видобування і переробки нафти, газу і конденсату, зі значним зростанням одиничних потужностей установок і апаратів, а також із ускладненням самих технологічних процесів і режимів управління виробництвом. Як наслідок, поряд з розвитком науково-технічного прогресу в промисловості має місце стійка тенденція росту кількості аварій з важкими екологічними, економічними, і соціальними наслідками. Безпека, таким чином, висувається в число основних характеристик промислових об'єктів [1].

Особливу актуальність проблема промислової безпеки має для підприємств нафтогазового комплексу, що підтверджується даними Держнаглядохоронпраці про аварійність за останні роки.

Особливо стоїть питання промислової безпеки при експлуатації бурового обладнання, нормативний

(розрахунковий) термін експлуатації якого перевищує 10 років. Основна частина бурових установок, випущених ще до 90-х років, в даний час виробила свій розрахунково-нормативний термін експлуатації і потребує масштабної заміни. Тому існує нагальна потреба оцінки їх залишкового ресурсу, визначення фактичного стану та прийняття рішення про доцільність подальшої експлуатації чи невідкладної заміни.

Якщо визначення можливості безпечної експлуатації бурових веж на підставі неруйнівного контролю та оцінки технічного стану їх металоконструкцій на всіх стадіях життєвого циклу (проекування, виготовлення, перевірок і випробувань, крім експлуатації) достатньо вивчені, розроблені та описані [2], то контроль пошкоджень в процесі експлуатації, побудова сценаріїв виникнення і розвитку аварій, концепція продовження терміну експлуатації БУ, визначення фактичного стану обладнання БУ сучас-