

УДК 620.179

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРУБНИХ КОЛОН В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Зінчак Я.М.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
заст. директора науково-дослідного інституту нафтогазових технологій
(на час захисту – перший заст. директора НВФ „Зонд”)*

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.04.07 – Машини і агрегати нафтової і газової промисловості*

Визначено і досліджено ступінь впливу різних чинників на величину крутного моменту відгвинчування з'єднувальних елементів трубних колон. Виведено аналітичні залежності величини натягу у різьбовому з'єднанні від його геометричних, фізичних та механічних характеристик. Запропоновано новий спосіб визначення діаметрального натягу в з'єднанні. Розроблені методика і технічні засоби виявлення ультразвуковим методом дефектів різної орієнтації та аналітично визначені параметри способу контролю. Розроблені та впроваджені технологія і мобільні установки, які забезпечують проведення комплексу робіт з підтримки працездатності трубних колон безпосередньо в умовах бурової, дозволяють виявляти дефектні з'єднувальні елементи і проводити їх заміну без порушення трубної різьби.

Внаслідок специфіки конструкції нафтопромислових труб і особливостей їх експлуатації з'єднувальні елементи зношуються інтенсивніше, ніж бурильні труби, і 15 % аварій з трубними колонами обумовлено відмовами з'єднувальних елементів. За статистикою, в процесі експлуатації бурильної труби міняти замок необхідно 2-3 рази. Ця операція можлива тільки в умовах трубної бази, супроводжується значними матеріальними і трудовими витратами і не гарантує цілісності різьби труб (замки сточують або зрізають газорізкою). Витрати можуть бути суттєво меншими, а якість робіт підвищена за наявності технічних засобів і технологій, які дозволяють проводити заміну з'єднувальних деталей без пошкодження різьби труби безпосередньо на буровій. Важливим для працездатності трубної колони є своєчасне виявлення дефектних з'єднувальних елементів.

Для забезпечення працездатності з'єднувальних елементів необхідно створити комплексну систему, в яку повинні увійти технічні засоби і технології, що дають можливість проводити:

- вхідний контроль (інструментальний і неруйнівний) з'єднувальних елементів;
- їх підготовку до експлуатації (калібрування, паспортизацію, нанесення захисних і зносостійких покриттів, встановлення захисних ковпаків);

- облік напрацювання і прогнозування ресурсу;
- періодичний контроль під час експлуатації та відбракування елементів з дефектами або тих, які відпрацювали свій ресурс;
- ремонт і заміну зношених елементів.

Аналіз параметрів, які визначають величину моменту відгвинчування з'єднувальних елементів, та проведені інженерні розрахунки показали, що в більшості випадків дотичні напруження, виникаючі при розгвинчуванні з'єднання, багатократно перевищують допустимі. Дослідженнями встановлено, що для реальних з'єднань крутний момент відгвинчування можна зменшити двома способами: зниженням коефіцієнта тертя (за рахунок адгезійних зв'язків у зоні спряження) і зниженням контактного тиску (за рахунок створення перепаду температур між спряженими поверхнями з'єднувального елемента і труби). Але дуже великий перепад температур не тільки неможливий технічно, він має небажані наслідки – перегрів або переохолодження спричиняють зміну структури і властивостей металу. При малому ж перепаді температур відгвинчування потребує великих зусиль, які приведуть до незворотних деформацій роз'ємних елементів. Особливо чутлива в цьому відношенні трубна різьба, тому необхідно знайти оптимальне значення перепаду температур.

З використанням теоретичних даних, приведені у працях Н.І.Мусхелішвілі, був отриманий вираз для розрахунку температур ΔT між з'єднувальним елементом і трубою, при якому контактний тиск в зоні їх спраження буде близький до нуля:

$$\Delta T = -\frac{(1-\nu)^2}{1-2\nu} \cdot \frac{\delta}{2\alpha R} \cdot \times \frac{(R^2 - R_1^2)(R_2^2 - R^2)(\ln R_2 - \ln R_1)}{R^2 \ln R_2 (R_2^2 - R_1^2) + R_1^2 \ln R_2 (R^2 - R_2^2) + R_2^2 \ln R_2 (R_1^2 - R^2)} \quad (1)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона; δ – натяг у з'єднанні; α – температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труби (з'єднувального елемента); R_1 – внутрішній радіус труби в зоні спраження; R_2 – зовнішній радіус з'єднувального елемента; R – радіус контактуючих поверхонь з'єднання.

Розрахунки, проведені для різних типорозмірів труб у межах нормованих діаметральних натягів, показали, що перепад температур у зоні спраження в ряді випадків (особливо при малих діаметрах і великих натягах) достатньо високий, і нагрів деталі до такої температури приведе не тільки до структурних змін, але й до розплавлення металу. Як наслідок, зняти контактні напруження тільки за рахунок нагріву охоплюючої деталі неможливо. Тому було запропоновано спосіб зменшення контактного тиску шляхом нагріву з'єднувального елемента і охолодження бурильної труби в зоні з'єднання. Аналіз можливих способів нагріву показав, що найбільш перспективним є нагрів електродугою, яка обертається в магнітному полі (а.с. 1439199), оскільки за рахунок швидкого нагріву з'єднувального елемента труба не встигає нагрітись (перепад температур в 300 °C створюється через 60 с з початку нагріву), а найбільш практичним при існуючих технічних засобах є нагрів за допомогою індукційного нагрівача.

Оскільки досягти нульових контактних тисків практично неможливо, був проведений аналіз умов, за яких технічно можливо розгвинтити з'єднання без пошкодження трубної різьби за рахунок зменшення контактних тисків на спражених поверхнях, та серія дослідів на 15 натурних зразках. У результаті запропоновано спосіб відгвинчування, суть якого полягає в нагріві з'єднувального елемента до температури, яка не викликає змін міцнісних характеристик матеріалів спражених виробів, інтенсивному спрямованому охолодженні внутрішньої поверхні труби в зоні різьби і прикладанні моменту відгвинчування при максимальному перепаді температур. При визначенні оптимальних параметрів розгвинчування з'єднань аналізувались різні режими нагріву і охолодження спражених елементів. При нагріві з'єднувального елемента індукційним способом з наступним примусовим охолодженням різьбової частини труби було встановлено, що:

1) швидкість нагріву труби і з'єднувального елемента складає в середньому 38 °C/хв;

2) швидкість охолодження труби в першу хвилину була в середньому 130 °C/хв, у другу – 90 °C/хв, а далі – 40 °C/хв;

3) швидкість охолодження з'єднувального елемента в перші дві хвилини не перевищувала 10 °C/хв, у третю – 20 °C/хв, в дві наступні – 30 °C/хв і далі – 40 °C/хв.

Отже, найменший крутний момент відгвинчування повинен мати місце по завершенні 4-хвилинного охолодження труби.

Дослідження залежності величини крутного моменту від створеного в зоні спраження перепаду температур показали:

1) при перепаді в 120 °C у 70 % зразків трубних різьб виникали пошкодження у вигляді задирів;

2) мінімальне значення крутного моменту спостерігалось при перепаді 240 °C і склало в середньому 20 кН·м, пошкоджень різьби практично не було;

3) значення крутного моменту при перепаді температур (200 – 240) °C змінювалось в межах (23 – 20) кН·м.

Проведені дослідження підтвердили можливість відгвинчування з'єднувальних елементів за допомогою розробленої методики на практиці. При цьому крутний момент, необхідний для відгвинчування (від 20 до 23 кН·м), повинен прикладатись до з'єднувального елемента в інтервалі 3-5-х хвилин після початку охолодження різьбової частини труби.

При нагріві електродугою в якості магнітної котушки був використаний статор двигуна змінного струму. Напруга до з'єднувального елемента і мідного кільцевого електроду, що охолоджується водою, подавалась від зварювального трансформатора постійного струму. Магнітні котушки підключались до мережі змінного струму напругою 380 В. Між електродом і з'єднувальним елементом збуджувалась електрична дуга, яка під дією магнітного поля оберталась навколо останнього, нагріваючи його. Температура контролювалась за допомогою пірометра "СМОТРИЧ-146П".

У результаті експериментів встановлено таке:

1) нагрів з'єднувальних елементів до температури (350 – 450) °C відбувався протягом (50-60) с;

2) перепад температур на спражених поверхнях в кінці нагріву склав (300 – 320) °C.

При дослідженні електроконтактного (струмами короткого замикання) способу нагріву з'єднувальних елементів з'ясувалось, що:

1) швидкість нагріву не перевищує 33 °C/хв, тобто менша, ніж при індукційному нагріві;

2) для збільшення швидкості нагріву необхідно підвищити напругу кола первинної обмотки (більше 300 В), що недопустимо у виробничих умовах.

Враховуючи отримані результати, далі визначали величину крутного моменту при розгвинчуванні з'єднань, що нагріваються дугою. Ця величина складала від 8 до 10 кН·м, залежно від типорозміру з'єднання і натягу, з яким воно зібрано.

Дослідження напружено-деформованого стану різьбового з'єднання дало можливість розробити спосіб контролю діаметрального натягу. На базі задачі Ляме про порожнистий циліндр, що зазнає внутрішнього і зовнішнього тиску, був отриманий вираз, який визначає збільшення зовнішнього діаметру ΔD_2 охоплюючої деталі, обумовлене натягом δ :

$$\Delta D_2 = 2 \frac{A_1}{\mu_2} \cdot \frac{r^* (1 - \nu_2)}{R_2}, \quad (2)$$

де

$$A_1 = \frac{2\delta}{\frac{1}{\mu_1} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{R(1-2\nu_1)}{R_1^2} \right) + \frac{1}{\mu_2} \cdot \left(\frac{r^*}{R} + r^* (1-2\nu_2) \right)}, \quad (3)$$

$$r^* = \frac{\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R^2}}{\frac{1}{R^2} - \frac{1}{R_2^2}}, \quad (4)$$

$\nu_1, \nu_2, \mu_1, \mu_2$ – пружні константи матеріалу труби і з'єднувального елемента; R, R_2 – відповідно внутрішній і зовнішній радіуси з'єднувального елемента; R_1 – внутрішній радіус труби в зоні різьбової ділянки; δ – натяг, з яким зібрано з'єднання.

Таким чином, по збільшенню зовнішнього діаметра з'єднувального елемента можна визначити реальний натяг в з'єднанні. На практиці доцільно порівнювати не діаметри деталі до і після зборки, а довжину її окружності: зважаючи на мале значення ΔD_2 це зручніше, оскільки збільшення довжини окружності в π раз більше, ніж збільшення діаметра.

Обумовлений натягом напружений стан з'єднувального елемента часто приводить до виникнення поздовжніх дефектів на поверхні і в товщі металу. Для їх виявлення переважно використовуються ультразвукові методи, але контроль ускладнюється відсутністю інформації про стан акустичного контакту між п'єзоперетворювачем і об'єктом контролю. Тому була запропонована нова конструкція п'єзоперетворювача (а. с. 1569696), яка усуває згаданий недолік завдяки використанню ефекту двостороннього випромінювання п'єзопластини. Ультразвукові коливання, спрямовані в сторону об'єкта контролю, забезпечують виявлення дефектів, а ті, що поширюються в протилежну сторону – дають інформацію про наявність акустичного контакту.

Для виготовлення такого п'єзоперетворювача повинно витримуватись співвідношення:

$$\gamma = \arctg \frac{\sin \alpha}{\frac{C_l}{C_t} + \cos \alpha}, \quad (5)$$

де γ – кут нахилу задньої (відбиваючої) грані; α – кут нахилу п'єзопластини; C_b, C_t швидкості поширення відповідно поздовжніх і поперечних ультразвукових коливань в матеріалі призми.

Під час апробації натяг в з'єднанні визначався двома способами: по збільшенню діаметру зовнішньої поверхні з'єднувального елемента після зборки і за результатами калібрування елементів різьбових пар. Обидва варіанти дали ідентичні результати.

Основні результати і висновки

1. На основі теоретичних і експериментальних досліджень створені нові технології і технічні засоби, що забезпечують працездатність трубних колон за рахунок своєчасного виявлення непридатних до експлуатації (бракованих) з'єднувальних елементів і їх заміни або ремонту безпосередньо на буровій.

2. Вперше визначено ступінь впливу різних факторів на величину крутного моменту відгвинчування з'єднувальних елементів. Показано, що внаслідок конструктивних особливостей крутний момент відгвинчування з'єднувальних елементів для труб з висадкою всередину у середньому на 5 кН·м більший, ніж для труб такого ж діаметру з висадкою назовні. Із збільшенням товщини стінки труб контактні тиски, а разом з ними і крутні моменти відгвинчування, збільшуються. Звичайне механічне відгвинчування зношених з'єднувальних елементів без пошкодження трубної різьби неможливе.

3. На основі проведених досліджень розроблена технологія заміни з'єднувальних елементів, яка відрізняється від існуючих тим, з'єднувальний елемент відгвинчують без пошкодження трубної різьби. Визначені основні параметри способів відгвинчування – значення перепаду температур у зоні спряження труби із з'єднувальним елементом і крутного моменту. Залежно від типорозміру з'єднання і діаметрального натягу величина крутного моменту відгвинчування складає від 10 до 20 кН·м, а перепад температур не перевищує 240 °С.

4. Запропонований спосіб визначення діаметрального натягу зібраного з'єднання полягає в тому, що за допомогою розроблених ультразвукових засобів вимірюють довжину окружності з'єднувального елемента до і після його нагвинчування на трубу, визначають збільшення діаметру ΔD_2 і, використовуючи аналітичну залежність, визначають діаметральний натяг δ :

$$\delta = \Delta D_2 \frac{\mu_2 R_2}{2r^*} \left[\frac{1}{\mu_1} \left(\frac{1}{R} + \frac{R}{R_1^2} (1 - 2\nu_1) \right) + \frac{1}{\mu_2} \left(\frac{r^*}{R} + r^* (1 - 2\nu_2) \right) \right], \quad (6)$$

5. Розроблена методика забезпечення нормованого діаметрального натягу у різьбовому з'єднанні, зібраному з двох відбракованих елементів, шляхом:

- селективного підбору різьбових з'єднань, параметри яких відрізняються від нормованих;
- підрізання упорних виступів (торців) в зношених замкових різьбових з'єднаннях.

6. Розроблені методика і технічні засоби виявлення ультразвуковим методом дефектів різної орієнтації, які виключають вплив нестабільності акустичного контакту на результати контролю. Аналітично визначені параметри способу контролю.

7. Розроблена, виготовлена і впроваджена у виробництво установка "Ремонт-1", яка забезпечує проведення комплексу робіт (заміна з'єднувальних елементів, сортування труб, правка різьб і т.п.) для підтримки працездатності трубних колон безпосередньо в умовах бурової.

8. Дослідні зразки і серійні вироби на протязі 1986-1991 рр. впроваджені на бурових підприємствах ГТК "Газпром", ВО "Роснефтегаз", Мінгео СРСР, ВПО "Зарубежнефть".

Робота виконана в науково-виробничому об'єднанні „Надра” при Івано-Франківському інституті нафти і газу.

Захист відбувся 26 жовтня 1993 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 053.27.02 в Державній академії нафти і газу ім. І.М. Губкіна, м. Москва

Наукові керівники: канд. техн. наук Гінзбург Є.С.; канд. техн. наук Карпаш О.М.

Офіційні опоненти: докт. техн. наук, проф. Протасов В.Н., канд. техн. наук Тараєвський С.І.

Провідна установа: СКБ „Газприборавтоматика” (м. Москва).

УДК 620.179.621.565.92

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Кононенко М.А.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
доцент кафедри інформаційно-вимірювальної техніки
(на час захисту – завідувач випробувальної лабораторії НВФ “Зонд”)*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади та методи контролю

Запропоновано метод розрахунку параметрів пружних гармонійних хвиль. Розповсюджених в неоднорідних структурах. Розроблені нові способи та технічні засоби контролю якості шаф побутових холодильників як багатопшарової структури, до складу якої входить неоднорідний матеріал - пінополіуретан. Розроблені методики дозволяють проводити суцільний контроль шаф холодильників акустичними методами безпосередньо в умовах виробництва.

Одним з основних недоліків вітчизняних холодильників є незабезпечення заданих температур у морозильному та холодильному відділеннях, яке призводить до збільшення енергоспоживання та передчасного виходу з ладу холодильного агрегату. Причинами цього є недостатня вивченість чинників, що призводять до порушення теплового балансу холодильників, та відсутність надійних методів і засобів контролю якості теплоізоляційної огорожі.

Встановлено, що 17% всіх відмов виникає через наявність дефектів у шафах холодильників, основними з яких є:

- незаповнення окремих ділянок пінополіуретановою ізоляцією, особливо у верхній частині шафи холодильника;

- наявність у затверділому пінополіуретані (ППУ) пор значних розмірів, які сполучаються, утворюючи газові порожнини;

- деформація шафи холодильника у процесі його експлуатації, обумовлена усадкою ППУ під час полімеризації через зниження товарної густини нижче свого критичного значення.