

До спеціалізованої вченої ради
Д 20.052.04 в Івано-Франківському
національному технічному університеті
нафти і газу МОН України

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **ЧАБАНА Назарія Ігоровича «Удосконалення методу оцінки технічного стану бурильних і насосно-компресорних труб»**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 - Машини нафтової та газової промисловості

Актуальність теми дисертації

Забезпечення технологічної безпеки в основних галузях народного господарства та запобігання виникненню аварій і надзвичайних ситуацій техногенного характеру є складовою створення безпечних умов експлуатації обладнання. Слід відзначити, що існуючі засоби контролю дозволяють виявляти тільки типові дефекти (тріщини, невідповідність товщини та твердості деталі, та інше), а технології контролю не включають заходів проміжного контролю властивостей і структури металу труб в процесі експлуатації. Таким чином, удосконалення методів оцінки фактичного технічного стану матеріалу бурильних та насосно-компресорних труб шляхом дослідження нових інформативних ознак матеріалу труб, за допомогою яких можливо виявити дефекти в матеріалі труб на мікроструктурному рівні, є актуальним та важливим завданням.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Достовірність отриманих результатів експериментальних досліджень ґрунтується на використанні сучасних методик випробувань та математичних методів статистики. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, одержаних автором, якісно та кількісно узгоджуються.

Наукові положення, висновки і рекомендації в достатній мірі обґрунтовані результатами експериментальних даних.

Значення результатів роботи для науки і практики

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

1. Вперше запропоновано новий інформативний параметр – інтегральна густина зображень акустичних структурних шумів у матеріалах бурильних та насосно-компресорних труб з метою оцінки їх технічного стану, що дозволяє виявити дефекти в конструкціях на мікроструктурному рівні.

2. Вперше встановлено характер залежності між параметрами зображень акустичних структурних шумів та границею плинності матеріалу, що дозволяє

підвищити точність визначення фактичних значень фізико-механічних характеристик неруйнівними методами на будь-якому етапі експлуатації.

3. Удосконалено метод оцінки фізико-механічних характеристик насосно-компресорних та бурильних труб, який полягає у використанні комплексу інформативних параметрів (твердість і інтегральна густина) для визначення границі плинності матеріалу.

Практичне значення одержаних результатів.

- Розроблено методологію оцінки технічного стану бурильних та насосно-компресорних на основі удосконаленого методу визначення границі плинності металу за вимірними значеннями твердості та інтегральної густини зображень акустичних структурних шумів.
- Проведено промислову апробацію розробленої методології в умовах ТОВ НВФ «Зонд» та на об'єктах ПАТ «Укрнафта», в ході якої встановлено, що гранична основна похибка визначення границі плинності за допомогою отриманих залежностей не перевищує 5% відносно дійсних значень, отриманих випробуванням досліджуваних зразків труб на статичний розтяг, в той час як існуючі методики визначення границі плинності сталей за значеннями твердості допускають відхилення результатів в межах (7 – 10)%.

Повнота опублікування результатів дослідження.

Публікації результатів досліджень. За темою дисертаційної роботи опубліковано 11 друкованих праць, із них 6 – статті у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України; 1 – публікація в закордонному науковому фаховому виданні; 4 матеріалів з міжнародних конференцій (зокрема 1 у зарубіжних).

Структура роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертація викладена на 124 сторінках. Окрім того робота проілюстрована 34 рисунками, включає 19 таблиць, список використаних джерел зі 101 найменування і 4 додатків.

Мета дослідження полягає у удосконаленні методів оцінки фактичного технічного стану матеріалу бурильних і насосно-компресорних труб шляхом дослідження нових інформативних ознак матеріалу труб, за допомогою яких можливо виявити дефекти в матеріалі на мікроструктурному рівні засобами неруйнівного контролю та удосконалення методології визначення залишкового ресурсу труб.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено загальну характеристику роботи, сформульовано її мету й основні завдання досліджень. Викладено наукову повизну та практичне значення одержаних результатів досліджень.

У першому розділі розглянуті умови експлуатації, встановлені причини відмов бурильних та насосно-компресорних труб. Проведено огляд основних видів насосно-компресорних труб. Розглянуті основні методи діагностики і контролю технічного стану НКТ. Сформульовані мета і задачі дослідження.

З аналізу методів діагностики та контролю технічного стану бурильних та насосно-компресорних труб (зокрема НКТ) видно, що вони ґрунтуються здебільшого на візуальному та базовому інструментальному методах виявлення дефектів, проте вони не містять етапу визначення фактичного технічного стану труб. Особливо гострою ця проблема постає під час при діагностуванні насосно-компресорних труб, адже можливість доступу до них під час експлуатації обмежена.

Отже, для бурильних та насосно-компресорних труб оцінка фактичного технічного стану та забезпечення їх надійності шляхом розрахунку залишкового ресурсу, тому дослідження, присвячені удосконаленню методу визначення технічного стану шляхом використання комплексного підходу із використанням інформативних параметрів матеріалів бурильних та насосно-компресорних труб та забезпечення їх надійності за рахунок оцінки їх залишкового ресурсу, є актуальною проблемою.

Другий розділ присвячений дослідженням, що проводились з метою вивчення сучасних тенденцій визначення залишкового ресурсу нафтогазового обладнання. Ефективним напрямком в визначенні залишкового ресурсу є перехід від імовірнісних методів оцінки ресурсу, заснованих на статистиці відмов, до оцінки індивідуального ресурсу старіючого обладнання на основі комплексного підходу, що поєднує результати руйнівного і неруйнівного контролю з перевірочними розрахунками на міцність. Ще одним напрямком у визначенні ресурсу є можливе використання одночасно кількох параметрів контролю, що дозволяють найбільш об'єктивно оцінювати технічний стан об'єкта контролю.

Також досліджено взаємозв'язок механічних характеристик матеріалу нафтогазового обладнання з його ресурсом. Розглянуті існуючі методики визначення залишкового ресурсу трубопроводів та вертикальних сталевих резервуарів. Опрацювання даних методик свідчить про суттєвий вплив фізико-механічних характеристик матеріалів нафтогазового обладнання, зокрема границі плинності на термін безпечної експлуатації даного обладнання. Наприклад, згідно даних, отриманих при моделюванні методики визначення ресурсу трубопроводів встановлено, що зміна границі плинності матеріалу на 15% призводить до зменшення ресурсу вдвічі. Разом з тим доведено, що в процесі довготривалої експлуатації, внаслідок експлуатаційної деградації змінюються ФМХ матеріалу.

Третій розділ присвячений новому інформативного параметра для оцінки зміни структури матеріалу труб та розробці методології проведення експериментальних досліджень з метою встановлення наявності та характеру взаємозв'язку між новим інформативним параметром ультразвукового контролю і змінами в структурі матеріалу труб. За основу огляду взяті праці, в яких йдеться про вплив структурних змін металу на середній рівень акустичних структурних шумів.

У виконаному автором дослідженні використовується ультразвуковий дефектоскоп, що працює з п'єзоперетворювачами з фазованими ґратками. Автор ґрунтував вибір типу сталі труби, розміри і кількість зразків. Для проведення експериментальних досліджень був відібраний прямокутний зразок конструкційної легованої сталі марки 40Г, розміром 400x300 мм та товщиною 18,7 мм. Експериментальний зразок очищений від корозії та умовно поділений на зони. Розмір цих зон автор визначив у відповідності до половини кожного з геометричних розмірів п'єзоперетворювача з ультразвуковими фазованими ґратками (довжини та ширини призми) та становив 40x15 мм. Основними вхідними параметрами при виборі ультразвукового дефектоскопа та п'єзоелектричного перетворювача були: характеристики досліджуваної сталі, зокрема середній розмір зерна, величина затухання ультразвукових коливань та габаритні розміри (товщина) зразка; можливість отримання та збереження акустичного зображення в цифровій формі для полегшення подальших досліджень; роздільна здатність та чутливість ультразвукового перетворювача. Фізична сутність процесу формування зображення структурних неоднорідностей полягає в тому, що в результаті відображення, заломлення і трансформації пройдених та відбитих акустичних хвиль на межах зерен чи груп неоднорідностей з відмінними значеннями акустичних параметрів (акустичний опір), структурні неоднорідності на екрані дефектоскопа відображаються у вигляді світліших і темніших зон. Інтенсивність яскравості та кольору цих зон змінюється від чорного до яскраво-червоного кольору і пропорційна амплітуді відбитих акустичних коливань.

Експериментальні дослідження механічних властивостей на розтяг автор проводив на базі лабораторії випробувально-діагностичного центру ТОВ «НВФ «Зонд». За результатами виконаних випробувань їм були отримані діаграми деформування кожного з 18-ти зразків. Визначені границі міцності, границі плинності, показники відносного видовження і звуження. Наступним етапом експериментальних досліджень є аналіз кількісних показників отриманих акустичних зображень структурних шумів сталей з метою вибору оптимального. На початковому етапі запропоновано в якості кількісного показника використовувати фактичну площу зображень неоднорідностей. Для цього всі зображення опрацьовувалися з використанням програмного середовища ImageJ.

Особливістю роботи в даному середовищі є встановлення рівня чутливості вимірювання. Тобто оператор повинен задати границі зони неоднорідності, а оскільки різниця між відтінками кольору, якими позначається неоднорідність і металу без відхилень структури, невелика, то запропонований спосіб володіє досить високою трудосмістю та є суб'єктивним. Після аналізу отриманих результатів встановлена слабка кореляційна залежність між площею ділянок структурних неоднорідностей та фізико-механічними характеристиками сталей, яка складала не більше 0,6. Тому в ході наступного етапу аналізу отриманих зображень в якості показника, що характеризує структурні неоднорідності обрано показник інтегральної густини зображення. Показник інтегральної густини зображення за своєю суттю відображає значення амплітуди (енергії) відбитих від неоднорідностей акустичних коливань. Для визначення інтегральної густини зображення, що отримані за допомогою дефектоскопа з УЗФГ, піддаються

обробці в програмному середовищі MatLab . Додаткове ПЗ Image Processing Toolbox конвертує графічні зображення в матрицю чисел, де кожне число відповідає градівнту кольору кожного пікселя. Тобто кожному пікселю зображення присвоюється число, що залежить від його кольору. Інтегральна густина зображення характеризує суму цих чисел і є безрозмірною величиною. Також на дослідному зразку проведені лабораторні вимірювання комплексу фізико-механічних параметрів, таких як: коерцитивна сила H_c , твердість HB, магнітний індуктивний параметр I (визначається частотою електромагнітних коливань індуктивного перетворювача, що взаємодіє з об'єктом контролю), які є структурочутливими для феромагнітних сталей. Для визначення наявності і характеру взаємозв'язку між інформативними параметрами зображень акустичних структурних шумів сталі і її фізико-механічних характеристик (ФМХ) проведено графічний та кореляційний аналіз. Встановлення наявності та характеру зв'язку між обраними характеристиками металу проведено шляхом використання попарного кореляційного аналізу результатів спостережень інформативних параметрів, які характеризують мікроструктуру M_q та інформативних вимірних фізичних параметрів F_j на наявність між ними кореляційної залежності.

Згідно з отриманими даними, площа структурних неоднорідностей, коерцитивна сила та параметр I мають слабкий зв'язок з границею плинності, про що свідчать малі значення коефіцієнтів кореляції, тому в подальших дослідженнях їх використовувати недоцільно. Натомість найбільші значення коефіцієнтів кореляції характерні для показників інтегральної густини та твердості, тому саме їх і запропоновано використовувати в якості основних показників для подальших досліджень. Оскільки коефіцієнт кореляції експериментальних даних між границею плинності і інтегральною густиною складає - 0.9, то це свідчить, що ділянки, в яких значення інтегральної густини є вищими досягають границі плинності при менших значеннях напруження. Це можна пояснити тим, що за умов високих значень інтегральної густини ультразвукові коливання відбиваються на великій кількості неоднорідностей ґратки (як варіант дислокації), які за умови навантаження матеріалу концентруються в зоні найбільших напружень, призводячи спочатку до плинності металу в цій зоні, а потім і до руйнування.

Зміну параметра інтегральної густини автор пояснює тим, що в процесі експлуатації під впливом робочих умов можлива перебудова структури матеріалу від дрібнозернистої до крупнозернистої. На ділянках, де такий перехід відбувся виникають додаткові напруження та відбувається зародження мікротріщин, що в подальшому призводить до утворення макротріщин і руйнування (а також до зменшення границі плинності). Для підвищення точності визначення ФМХ запропоновано взяти за основу існуючу методика визначення механічних характеристик матеріалів і модернізувати її. Оскільки показник інтегральної густини представляється вперше, і прийнятих методик з його використанням не існує, то за основу взято параметр твердості. Величину границі плинності автор визначає з відомої залежності між границі плинності та твердістю по Брінелю.

Таким чином, використання тільки твердості при розрахунку за існуючими методиками границі плинності матеріалу не дає можливість отримання достовірної інформації про фізико-механічні характеристики матеріалу, тому

актуальною проблемою залишається удосконалення цих методик шляхом доповнення їх новими інформативними параметрами. З метою вибору нових інформативних параметрів та удосконалення методики визначення дійсних значень фізико-механічних характеристик сталей було проведено графічний аналіз отриманих значень твердості, інтегральної густини та границі плинності. Аналіз та порівняння отриманих гістограм свідчить про ймовірну високу корельованість між параметром інтегральної густини та границею плинності даними.

Для визначення характеру і виду залежності інформативних параметрів неруйнівного контролю від механічних властивостей сталі автор використовує регресійний аналіз, що дає можливість отримати регресійну модель з відповідним рівнянням. З цією метою автор побудовав графічну залежність границі плинності як функції інтегральної густини та розрахував коефіцієнт кореляції. Високий коефіцієнт кореляції свідчить про суттєву залежність границі текучості від інтегральної густини і доцільність внесення цього параметру в регресійну модель як аргумент. Результати регресійного аналізу підтвердили, що для твердості характерна гірша корельованість (в порівнянні з інтегральною густиною) ніж нею і границею плинності, що свідчить про слабший зв'язок цих параметрів та вищу похибку вимірювання твердості.

Коефіцієнт детермінації для даного рівняння становить $R^2 = 0,8779$, що свідчить про високий рівень підтверджуваності моделлю отриманих експериментальних даних.

У **четвертому** розділі розроблено технологію оцінки технічного стану бурильних та насосно-компресорних на основі удосконаленого методу визначення границі плинності металу за вимірними значеннями твердості та інтегральної густини зображень акустичних структурних шумів. Запропоновано використовувати отримані результати, для визначення залишкового ресурсу насосно-компресорних труб.

Проведено апробацію розробленої методології в умовах ТОВ НВФ «Зонд» та на об'єктах ПАТ «Укрпафта», в ході якої встановлено, що гранична основна похибка визначення границі плинності за допомогою отриманих залежностей не перевищує 5% відносно дійсних значень, отриманих випробуванням досліджуваних зразків труб на статичний розтяг, в той час як існуючі методики визначення границі плинності сталей за значеннями твердості допускають відхилення результатів в межах 7–10%. Для практичної реалізації запропонованої технології визначення фактичного технічного стану труб було розроблено проект СОУ-«Методика визначення технічного стану матеріалу бурильних та насосно-компресорних труб за оцінкою зміни їх фізико-механічних характеристик».

За змістом дисертаційної роботи можна висловити такі зауваження:

1. На с.2-*Методи оцінки фактичного технічного стану матеріалу?*

-Що таке технічний стан матеріалу? Може автор має на увазі технічний стан сталевій труби? Треба було визначити, що саме автор відносить до технічного стану?

2. На с.17-Чому в задачах (п.1) відсутній вплив силових параметрів експлуатації ?

3. Автор не визначає силові параметри, в яких перебувають бурильні та насосно-компресорні труби, зокрема, діапазон розтягуючих навантажень від маси колони, крутний момент, параметри циклу навантаження і т.п.

4. На с.55- *На перший план виходять методи НК напружено-деформованого стану обладнання та конструкцій.* - Методи НК напружено-деформованого стану? Це щось нове в НК ?

5. На с.75- *Перевагами акустичного методу є можливість контролювати фізико-механічні характеристики (в першу чергу, твердість, та структуру металокон-струкцій).* - Нажаль, таких переваг ці методи не мають.

6. На с.82- **3.2 Методика проведення та аналіз результатів експериментальних досліджень удосконаленого методу контролю зміни фізико-механічних характеристик сталей...?**

-Аналіз наявності дефектів чи неоднорідностей - так, але не контроль фізико-механічних характеристик сталей!

7. На с.91 - *Кожному пікселю зображення присвоюється число, що залежить від його кольору. Інтегральна густина зображення характеризує суму цих чисел і є безрозмірною величиною.*

- Але колір зображення залежить від налаштування пакету MatLab Image Processing Toolbox, який конвертує отримані графічні зображення в матрицю чисел. Тобто величина інтегральна густина зображення R_0 є суб'єктивною тому, що залежить від налаштування пакету, яке визначає оператор !?

Загальні висновки стосовно дисертації.

В результаті досліджень виконаних автором розв'язано актуальну науково-технічну проблему, що полягає у розробці нового інформативного параметру – інтегральна густина зображень акустичних структурних шумів у матеріалах бурильних та насосно-компресорних труб з метою оцінки їх технічного стану, що дозволяє виявляти дефекти в конструкціях. Вперше встановлено характер залежності між акустичними параметрами зображень та границею плинності матеріалу, що дозволяє підвищити точність визначення значень фізико-механічних характеристик неруйнівними методами. Вважаю, що дисертаційна робота **ЧАБАНА Назарія Ігоровича** «Удосконалення методу оцінки технічного стану бурильних і насосно-компресорних труб», за обсягом експериментальних даних і теоретичних узагальнень, актуальністю та науковою новизною, практичною цінністю та достовірністю отриманих результатів відповідає вимогам

паспорту вказаної спеціальності та пп. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження науко-вих ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а її автор – **ЧАБАН Назарій Ігорович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 - Машини нафтової та газової промисловості.

Офіційний опонент,
завідувач відділу “Комп’ютерного
моделювання та механіки
композиційних матеріалів”
Інституту надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України,
чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.


А. Л. Майстренко

Підпис чл.- кор. НАН України, д.т.н., проф. А. Л. Майстренка засвідчую:

Вчений секретар Інституту
к. т. н.


В. В. Смоквина



*Візику надійшов у спеціалізовану вчену раду
D20.052.04 11 червня 2019р.*

Учений секретар

19



/В.В.Турочка/