

*Л. М. ЗАМІХОВСЬКИЙ*, д-р техн. наук, проф., ІФНТУНГ, Івано-Франківськ;

*М. В. ЛІСКАНИЧ*, д-р техн. наук, проф., ІФНТУНГ, Івано-Франківськ;

*А. П. ДЖУС*, канд. техн. наук, доц., ІФНТУНГ, Івано-Франківськ;

*О. М. ЛІСКАНИЧ*, аспірант, ІФНТУНГ, Івано-Франківськ

## **РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ЗАЛИШКОВОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

Проведено аналіз методів оцінки втоми металу на основі міцнісних, деформаційних і фізичних критеріїв. Встановлено доцільність використання засобів контролю, діагностичні параметри яких змінюються монотонно, відповідно до загального процесу вичерпання ресурсу виробу.

**Ключові слова:** метод контролю, діагностичний параметр, залишкова довговічність.

**Вступ.** Експлуатація машин і споруд за індивідуальним технічним станом відкриває додаткові резерви для підвищення їх ресурсу і показників безпеки. Цей метод вперше застосований у цивільній авіації. Надзвичайно перспективним є застосування методу в енергетичній галузі в практиці експлуатації магістральних трубопроводів, будівництві свердловин на нафту та газ і т.п. Діагностика технічного стану нафтогазового обладнання безпосередньо в процесі його експлуатації є основним інструментом, що дозволяє вирішувати проблему запобігання раптовим аварійним ситуаціям.

**Аналіз літературних даних та постановка задачі.** Питаннями оцінки навантаженості виробів, працездатності і надійності нафтогазового обладнання займалися багато учених. До об'єктів їх досліджень відносилось обладнання, що використовується при спорудженні свердловин, їх експлуатації та транспортуванні видобутих вуглеводнів. Особливу увагу приділялось роботі елементів буриньних колон, штангових свердловинних насосних установок, установок електровідцентрових насосів, компресорних установок та їх обв'язок.

Зростання частки старіючого і такого, що вичерпало свій ресурс обладнання, при неможливості своєчасного і в повному обсязі його оновлення, відсутності належного моніторингу реальної навантаженості вказаних об'єктів за минулий період експлуатації, можуть призвести до значного збільшення числа аварій. Вказана проблема посилюється в окремих випадках відсутністю науково-обґрунтованої концепції проведення діагностики і оцінки залишкового ресурсу нафтогазового обладнання.

Зважаючи на дію на вказані об'єкти широкого спектру циклічних навантажень, визначення розрахунковим методом довговічності їх елементів за ними є практично неможливим. Повне врахування комплексу статичних і змінних навантажень розрахунковими методами є ускладненим, що призводить до недостатньої точності визначення довговічності об'єктів. Через це, в експлуатаційних умовах необхідно здійснювати контроль навантаженості конструкції і за цими даними визначати залишковий ресурс найбільш небезпечних ділянок.

Тому розробка нових способів і методів забезпечення подальшої безаварійної експлуатації наявного обладнання з мінімальними витратами є актуальним завданням для нафтогазової галузі.

**Опис вирішення задачі.** Розв'язання вказаного завдання зумовлює необхідність наявності методів, які б дозволяли встановлення рівня втомного пошкодження і, тим самим, залишкового ресурсу конструктивних елементів.

Існують різні методи оцінки втоми металу зразків і деталей на основі міцнісних, деформаційних і фізичних критеріїв [1].

До міцнісних критеріїв оцінки пошкодженості відносяться: залишкова циклічна

міцність; залишкова статична міцність; крива втоми по моменту утворення тріщини; крива втоми по втомному зруйнуванню; швидкість росту тріщин на різних стадіях їх розвитку; лінії пошкодженості та ін.

До деформаційних критеріїв відносяться: зміна прогину в процесі випробування; зміна діаграми циклічної деформації; зміна мікротвердості; розмір пластично-деформованої зони біля вершини втомної тріщини; зниження ударної в'язкості; зміна газової щільності та ін.

Серед фізичних критеріїв необхідно виділити: енергетичні; структурні; величина роботи виходу електрона; загасання ультразвукових коливань; зміна магнітної проникності та ін.

На цих критеріях базуються руйнівні та неруйнівні методи контролю технічного стану виробу.

Перспективними і прийнятними у цьому випадку методами контролю є неруйнівні методи. Вони дозволяють перевірити стан виробу без порушення його цілісності і придатності до використання. Найбільш ефективні методи неруйнівного контролю базуються на контролі дефектних структур на мікро-, мезо- і макрорівнях та сучасних уявленнях про природу втомного пошкодження металів.

Серед сучасних методів неруйнівного контролю необхідно виділити ті, що характеризуються чутливістю до структурних змін деформаційного походження. Особливої уваги заслуговують характерні зміни їх діагностичних параметрів.

Чутливий до структурних змін деформаційного походження метод мікротвердості

дозволяє відслідковувати локальне накопичення втомного пошкодження біля концентраторів напружень, наприклад, отворів та оцінювати стан поверхневого шару. Це дуже важливо, оскільки саме в поверхневому шарі металу пошкодження проходить випереджаючими темпами. Щодо характеру зміни діагностичного параметра за результатами наведеними в роботі [2], необхідно відмітити немонотонний характер його зміни (рис. 1). Чутливим до структурних перетворень на дислокаційному рівні є неруйнівний ультразвуковий метод зворотного розсіювання

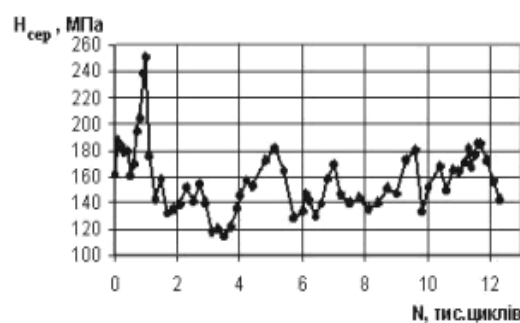


Рис. 1 - Залежність середньої мікротвердості від кількості циклів для алюмінію А-1

за допомогою електромагнітного та імерсійного перетворювачів. Аналізуючи залежність коефіцієнта затухання ультразвукових хвиль від кількості циклів, для сталі можна виділити певні ділянки зниження, зростання та падіння коефіцієнта затухання після досягнення його максимуму. Екстремуми коефіцієнта затухання ультразвукових хвиль в процесі циклічного навантажування відмічено на рисунку 2 [3].

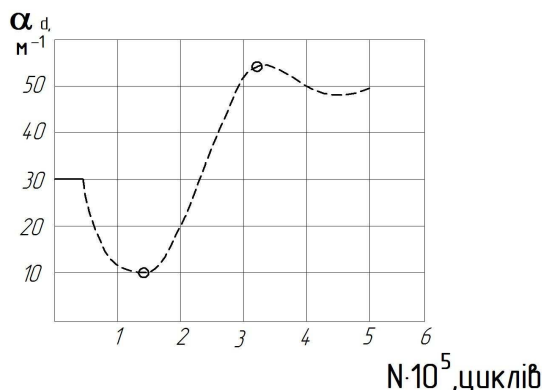


Рис. 2 - Залежність коефіцієнта затухання ультразвукових хвиль від кількості циклів для сталей (схема)

Відповідно до енергетичних уявлень про втомне руйнування, останнє відбувається в результаті накопичення металом пошкоджувальної енергії, пов'язаної з пластичною деформацією при циклічному навантажуванні. Пошкоджувальна енергія, що неповоротно поглинається металом і є зміною внутрішньої енергії, може бути виражена як різниця сумарної розсіяної енергії, тобто механічної енергії, що підводиться, або витраченої, і енергії, що не бере участь в

накопиченні втомних пошкоджень, тобто, що виділяється при циклічній деформації у вигляді тепла. Для визначення пошкоджувальної енергії необхідно виміряти як витрачену енергію так і енергію, що виділяється у вигляді тепла.

Випробування різних матеріалів [1] показали, що сумарна енергія залежить від рівня напружень, проте пошкоджувальна енергія практично не залежить від напружень і є величиною постійною (рис. 3).

Магнітний опір є узагальнювальною характеристикою, що враховує магнітну проникність матеріалу зразка та його розпушування, виникнення і розвиток втомних тріщин. [1]. За результатами вимірювань величини індуктивності котушки, отримані формули для визначення геометричних розмірів втомної тріщини. Дослідження магнітного опору дає можливість в процесі випробування прослідкувати стадії накопичення втомних пошкоджень, зафіксувати момент виникнення тріщини і характер її розвитку.

Наведені приклади методів дослідження фізико-механічного стану металів, які працюють в умовах циклічного навантажування, не відображають усього спектра сучасних методів неруйнівного контролю, що можна застосовувати для оцінювання накопиченого втомного пошкодження, проте дозволяють визначити деякі спеціальні вимоги до діагностичних параметрів під час оцінювання пошкодження.

У процесі циклічного навантажування значна кількість характеристик стану металів змінюється не монотонно. Циклічне навантажування супроводжується їх ростом, падінням, стабілізацією. Такий немонотонний характер еволюції фізико-механічних характеристик металу зумовлює необхідність постійного їх моніторингу. За умови реалізації такого моніторингу зазначені методи можуть бути достатньо ефективними. Крім того, цінність методів на практиці залежить від можливості їх реалізації для конкретних об'єктів. Якщо оцінка технічного стану проводиться періодично, наприклад, у разі технічного контролю магістральних трубопроводів, бурильних колон, необхідно використовувати методи, діагностичні параметри яких змінюються монотонно, відповідно до загального процесу вичерпання ресурсу.

На окрему увагу в нашому випадку заслуговує та особливість металів, що при втомному поширенні макротріщини в околі її контуру формується зона передруйнування, механічний стан якої при симетричному відносно тріщини навантаженні описується коефіцієнтом інтенсивності напружень. Так як швидкість  $v$  поширення втомної макротріщини в основному характеризується процесами, що проходять в зоні передруйнування, механічний стан якої описується коефіцієнтом інтенсивності напружень  $K_I$ , то логічним є існування залежності між величинами  $v$  та  $K_I$ . Існування такої залежності підтверджується результатами експериментальних досліджень [4]. Ця залежність в графічній інтерпретації є S-подібною кривою, яку називають діаграмою втомного руйнування (рис. 4) [5].

Ця крива складається із трьох характерних ділянок. На першій ділянці зміна швидкості росту

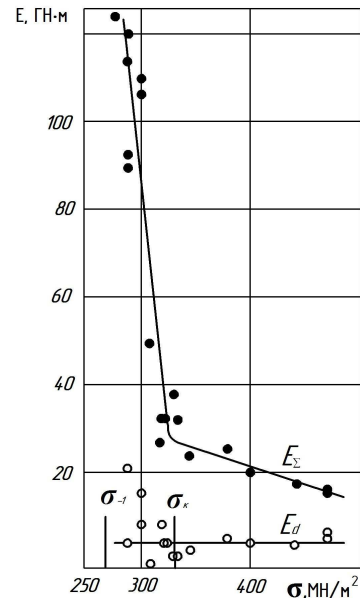


Рис. 3 - Залежність сумарної і пошкоджувальної енергії від рівня напруженого стану

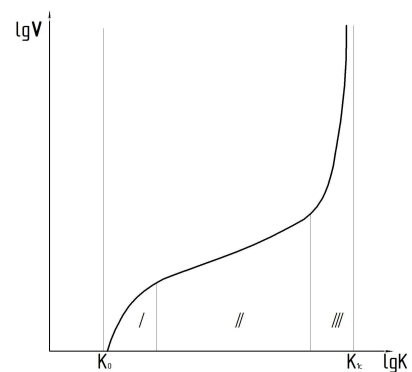


Рис. 4 - Діаграма втомного руйнування (схема)

втомної тріщини відбувається при інтенсивностях напружень, близьких до порогового значення  $K_0$ . При значеннях менших  $K_0$  ріст тріщини не спостерігається. Це є період інкубаційного росту тріщини. На другій ділянці залежність зображається майже прямолінійною ділянкою, а період відповідно характеризується зростанням швидкості розповсюдження втомної тріщини. В цьому випадку формується стійка зона передруйнування, що мало залежить від умов випробування. Третя ділянка відповідає періоду циклічного долому, коли розвиток втомної тріщини проходить при інтенсивностях напружень близьких до критичних значень. Таким чином, зважаючи на монотонний характер залежності між величинами  $v$  та  $K_I$ , доцільним є розроблення методів діагностування нафтогазового обладнання, для яких діагностичними параметрами слугуватимуть процеси накопичення втомних пошкоджень, що описуються, наприклад, діаграмою втомного руйнування відповідного матеріалу або безпосередньо виробу.

Більш зручними для використання при діагностуванні нафтогазового обладнання є залежності, які пов'язують діагностичний параметр із параметром, що добре контролюється в процесі експлуатації: кількістю циклів навантажування, тривалістю експлуатації тощо. Такою залежністю для прикладу є зміна амплітуди пластичної деформації в процесі циклічного навантажування (рис. 5) [6]. Як видно із рисунку, наведені залежності містять характерні ділянки аналогічні, як для діаграми втомного руйнування.

Ці залежності придатні для застосування як при безпосередньому діагностуванні елементів виробів, так і шляхом використання інструментальних методів оцінки накопиченого втомного пошкодження з допомогою індикаторів втоми. За будь-яких умов моніторинг індивідуального вичерпання ресурсу є одним із шляхів забезпечення надійної експлуатації нафтогазового обладнання. У зв'язку з цим проводяться роботи зі створення інструментальних методів оцінки накопиченого втомного пошкодження. Ці методи базуються на використанні засобів оцінки залишкового ресурсу, що є індивідуальними індикаторами втомних пошкоджень [7]. Використання індикаторів можливе у двох режимах. Першим є варіант використання індикатора як такого, що супроводжує контрольований об'єкт протягом всього періоду роботи і своїм станом передбачає руйнування останнього. Другим варіантом є зняття з їх допомогою даних про рівень навантаженості супроводжуваних елементів, з використанням яких розраховується залишковий ресурс. Саме цей варіант є більш доцільним при прогнозуванні довговічності, наприклад, елементів бурильної колони [8].

З використанням згаданих вище індикаторів, запропоновано метод пришвидшеної оцінки навантаженості різьбових з'єднань бурильних труб у промислових умовах і прогнозування їх довговічності [8].

Розроблений метод базується на методі „доламування” і використовується для індикаторів втоми, як об'єктів, призначених для пришвидшеної оцінки ресурсу з'єднань, контрольованих ними. Індикатор при роботі із контрольованим з'єднанням зазнає дії експлуатаційного навантаження за встановлений початковий період часу. Після чергового підйому інструменту індикатор втоми вилучається із контрольованого ним замкового з'єднання і піддається подальшому випробуванню до остаточної втрати його ресурсу, при певному навантаженні із одночасною фіксацією тривалості цього періоду. За результатами випробувань визначається рівень невідомого для нас експлуатаційного навантаження, діючого в умовах вибою на різьбові з'єднання і індикатори втоми. Саме експлуатаційне навантаження є важливою величиною і такою, що дає можливість говорити про рівень навантаженості контрольованих різьбових з'єднань і їх залишкову довговічність.

Важливим моментом у вказаному методі є визначення числа циклів навантажування індикатора у складі бурильної колони в експлуатаційних умовах.

Відповідно до діаграми втомного руйнування обов'язковим для отримання належної точності є забезпечення реалізації в експлуатаційних умовах процесів, що відповідають першій ділянці діаграми. Так як для другої ділянки характерним є формування стійкої зони передруйнування, малозалежної від умов випробування, то реалізація в межах цієї ділянки процесу „доламування” забезпечить бажану точність оцінки навантаженості, а отже, і прогнозування залишкової довговічності.

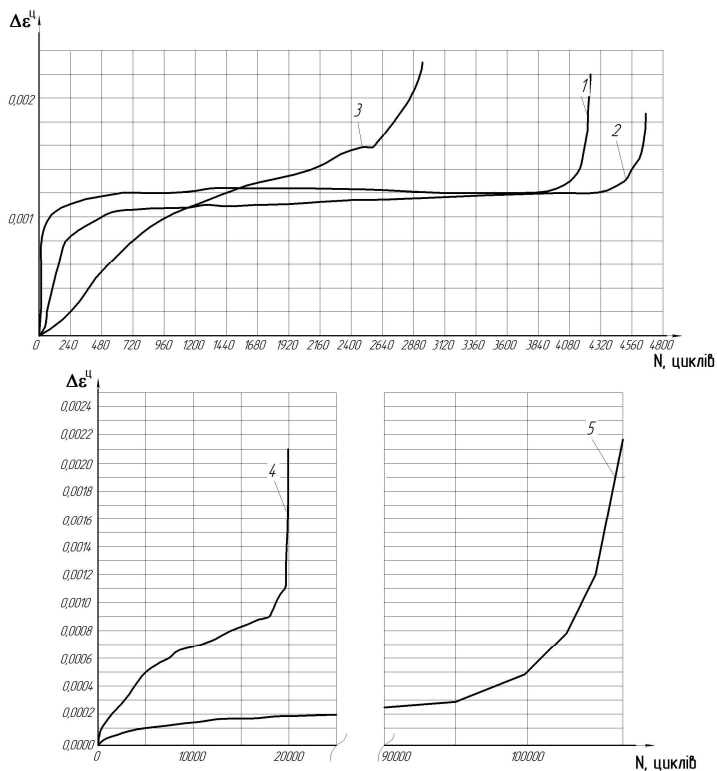


Рис. 5 - Зміна амплітуди пластичної деформації при низькочастотному навантажуванні сталі 20. Амплітуди напружень (МПа): 1–498,9; 2–450; 3–412,6; 4–316,7; 5–250

**Висновки.** Таким чином, для контролю процесу вичерпання ресурсу елементів нафтогазового обладнання, необхідним є застосування неруйнівних методів, діагностичні параметри яких монотонно змінюються протягом всього періоду експлуатації; добре контролюються в процесі експлуатації за кількістю циклів, тривалістю роботи, тощо; забезпечують контроль елементів обладнання в зонах, що містять концентратори напружень. Вибір діагностичних параметрів за вказаними вимогами дає можливість належної оцінки технічного стану виробу без здійснення постійного моніторингу характеристик його матеріалу.

**Список літератури:** 1. Школьник Л. М. Методика усталостных испытаний / Л. М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 302 с. 2. Корчук О. Ю. Накопичення пошкоджень і руйнування кристалів алюмінієвого сплаву / О. Ю. Корчук // Вісник НАУ. – 2005. – №3. – С. 112-115. 3. Бусов В. Л. Рассеяние ультразвуковых волн на микротрещинах в фрагментированных поликристаллах / В. Л. Бусов // Акустичний вісник. – 2008. – Том 10. – № 3. – С. 19-24. 4. Школьник Л. М. Скорость роста трещин и живучесть металла / Л. М. Школьник. – М.: Металлургия, 1973. – 215 с. 5. Панасюк В. В. Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов / В. В. Панасюк, А. Е. Андрейкив, С. Е. Ковчик. – К.: Наукова думка, 1977. – 277 с. 6. Крижанівський Є. І. Кінетика деформування сталі трубопроводу при низькочастотній втомі / Є. І. Крижанівський, Л. Я. Побережний // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. – №1. – С. 62-67. 7. Методи визначення експлуатаційних навантажень на елементи бурильної колони / М. В. Лисканич, А. П. Джус, П. І. Огородніков [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 2002. – №1. – С. 28-29. 8. Джус А. П. Індикатори контролю технічного стану елементів бурильної колони / А. П. Джус, О. М. Лисканич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №4/7(58). – С. 38-42.

Надійшла до редколегії 20.03.2013

УДК 622.24.053

**Рекомендації щодо вибору діагностичних параметрів при прогнозуванні залишкової довговічності нафтогазового обладнання/ Л. М. Заміховський, М. В. Лисканич, А. П. Джус, О. М. Лисканич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. – № 1 (977). – С. 71-76. – Бібліогр.: 8 назв.**

Проведен анализ методов оценки усталости металла на основе прочностных, деформационных и физических критериев. Установлена целесообразность использования средств контроля, диагностические параметры которых изменяются монотонно, в соответствии с общим процессом исчерпания ресурса изделия.

**Ключевые слова:** метод контроля, диагностический параметр, остаточная долговечность

The analysis of assessment methods based on fatigue strength, deformation and physical criteria. The expediency of the use of controls, diagnostic parameters which change monotonically, in accordance with the general process of exhaustion of the resource products.

**Keywords:** method of monitoring, diagnostic parameters, the residual life.

## УДК 004.43+004.9

*А. А. КИРИЧЕК*, магистр, НТУУ “КПИ”, Киев;

*А. А. АМОНС*, канд. техн. наук, доц., НТУУ “КПИ”, Киев;

*Г. Г. КИРИЧЕК*, канд. техн. наук, доц., НТУУ “КПИ”, Киев

### АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАГИАТА В ПРОГРАММНОМ КОДЕ

Предложен новый алгоритм фильтрации, как часть системы определения плагиата в программном коде. Исследование посвящено решению задачи отсечки файлов шаблона и фрагментов программного кода проекта до применения основных алгоритмов оценки подобия.

**Ключевые слова:** плагиат, программирование, токенизация, синтаксический анализ, фильтрация.

**Введение.** Задачей системы оценки идентичности программного кода, является автоматическое обнаружение (по заданным критериям) того, была ли использована в программе чужая идея. На практике определенным образом задаются функция близости и порог, по которым можно определить насколько вероятно, что определенная часть кода была заимствована [1].

В соответствии с [2], принято выделять следующие подходы к оценке близости программ: атрибутно-подсчетный, структурный и комбинированный, сочетающий в себе первых два.

Смысл атрибутных методов в численном выражении некоторых признаков (атрибутов) программы и сравнении полученных чисел для разных программ. Программы с близкими численными характеристиками атрибутов потенциально похожи. Две программы считаются похожими, если соответствующие числа из их наборов совпадают или близки [3], поэтому оценка близости программ сводится к сравнению чисел или векторов, получаемых путем простого анализа непосредственно исходного кода. Недостатком атрибутных техник является то, что несвязанные между собой параметры программы плохо описывают ее в целом. При таком подходе разные программы получают близкие характеристики [2].

Структурные методы исследуют свойства программы не изолированно, а как бы в контексте, устанавливая взаимосвязь различных характеристик и их совместное поведение. Для выделения нужных зависимостей, программа переводится в более компактное представление (токенизация исходного кода). Классический пример структурного подхода - построение дерева программы с последующим сравнением деревьев для разных программ. Недостатком структурных методов является их сложность и вычислительная трудоемкость. Кроме того, они обычно опираются на синтаксис конкретного языка программирования [4]. Адаптация метода для другого языка требует значительных усилий. Сложность реализации алгоритмов, использующих структурные методы, является платой за точность этих алгоритмов [5].

Комбинированный подход целесообразно использовать для поиска плагиата в большой базе программ [6]. Для этого на первом этапе с помощью одного из атрибутивных