

5. Осадчук В.А. Діагностування залишкових технологічних напружень в елементах конструкцій розрахунково-експериментальним методом // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* –2003. –46, №1. –С. 88-104. 6. Андрейкив А.Е., Дарчук А.И. Усталостное разрушения и долговечность конструкций. – Киев: Наук. думка. –1992. –184 с. 7. Дарчук О.І., Драгілев А. Моделювання впливу залишкових напружень на швидкість росту втомних тріщин в зварних з'єднаннях // *Машинознавство.* –2005, № 3.

–С. 7–12. 8. Дарчук О.І. Застосування імовірнісної механіки втомного руйнування до оцінки надійності зварних конструкцій // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* –2003, №4. –С 19-26. 9. Саврук М.П. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами. –Киев: Наук. думка, 1988. – 620с. 10. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н. Механика коррозионного разрушения конструкционных материалов. –М.: Металлургия, 1986. –294 с.

УДК 62.026.004.67

МЕТОДИКА ОЦІНКИ МІЦНОСТІ КОМПОЗИТНИХ БАНДАЖІВ СТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВІДІВ МЕТОДАМИ ТЕНЗОМЕТРУВАННЯ ТА АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

© Копей Б.В., Найда А.М., 2006,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

©Розгонюк В.В., 2006

Представництво ТзОВ “Газекспорт” в Україні (м.Київ),

©Ройзман В.П., Горошко А.В., 2006,

Хмельницький національний університет “Поділля”

Розглянуто засоби та методи підготовки тензометрування сталевих трубопроводів з склотканинним бандажем і визначення початку руйнівних процесів методом акустичної емісії. Крім цього, певна увага приділена препаруванню тензодатчиками досліджуваної труби, підготовці тензоапаратури і акусто-емісійної апаратури з метою оцінки міцності бандажа та зміцненої ним труби

У нафтогазовидобувній промисловості широко використовують металеві трубопроводи. У процесі їх експлуатації за певних технологічних умов навантаження поява і злиття мікротріщин у трубі може призвести до її руйнування та виникнення аварійної ситуації. Для захисту металевих трубопроводів від негативних чинників (зокрема, низької корозійної стійкості) та підвищення характеристик міцності розробляють різні методи. Серед них ефективним способом є нанесення на зовнішню чи внутрішню поверхню труби покриття захисного шару із полімерного композитного матеріалу [1,2].

В роботі розглядається спосіб оцінки міцності і надійності сталевих труб з бандажем при дії внутрішнього тиску. Технологія підсилення полягає у нанесенні на зовнішню поверхню труби (у разі пошкодженості матеріалу тріщинами чи виразками) зміцнювального шару – композитного бандажу. Цей шар формується за спеціально розробленою технологією із тканого композиту (склопластика) і виконує функцію зміцнення сталеві труби.

Місцезнаходження та рівень пошкодженості сталеві труби і бандажа встановлюється за експериментальною методикою.

Оцінку експлуатаційної міцності металеві труби з пошкодженістю та нанесеним композитним бандажем виконували тензометруванням та методом АЕ (акустичної емісії).

Об'єктом дослідження була сталева труба довжиною 390 мм, зовнішнім діаметром 89мм і товщиною стінки 4 мм.

З обох кінців до труби були приварені шарові заглушки. В одній із них був вмонтований штуцер, через який здійснювали нагнітання в трубу рідини і створювали необхідний тиск.

При підготовці до проведення випробувань було вирішено розташувати вздовж зразка 7 штук тензодатчиків КФ 5П1-10-200-Б-12 (рис.1) та стільки ж вздовж з протилежного боку для дублювання та підвищення точності вимірювань таким чином, щоб крайні датчики розташовувались поблизу торців сталеві труби на відстані 15 мм, а решта були рівновіддаленими один від одного на

відстані 60 мм з умовою, що четвертий датчик знаходився б рівно посередині, а два його сусідніх знаходилися близько країв майбутнього бандажу.

У разі недостатку чутливості цих датчиків передбачено додаткові датчики з іншою чутливістю (2 датчики з базою 5 мм та 1 з базою 20 мм), які розташовані посередині труби біля датчика 4. Тензорезистори наклеювали на об'єкт дослідження за допомогою клею "Цианопан", до складу якого входить циакрін.

Підготовлену та обезжирену поверхню зразка покривали тонким шаром клею і після 5-7 хвилин покривали зразок ще раз більш товстим шаром клею з подальшою сушкою протягом 1-2 хвилини при кімнатній температурі.

Контактну поверхню тензодатчика покривали тонким шаром клею і розташовували перпендикулярно до осі зразка і одразу ж, притиснувши тензодатчик фторопластовою плівкою, видаляли з-під нього залишки клею. Іншою плівкою міцно притискували тензодатчик до зразка і витримували 30-40 с.

Номінальний час сушки тензодатчиків складав 2-3 доби при кімнатній температурі.

Після сушки тензодатчики перевіряли омметром з вихідною напругою не більше 0,5 В.

Загальний вигляд препарованої труби з датчиками та підсилюючою апаратурою зображено на рис. 2.

Кожен з датчиків з'єднували зі своїм каналом тензоапаратури 8АНЧ-26 за допомогою кабелів. Оброблений та підсилений сигнал від тензоапаратури надходив на свій окремий канал осцилографа Н071.4М, де за допомогою гальванометрів М041-1,0 у вигляді відхилення світлового променя фіксували на фотопапері УФ67.

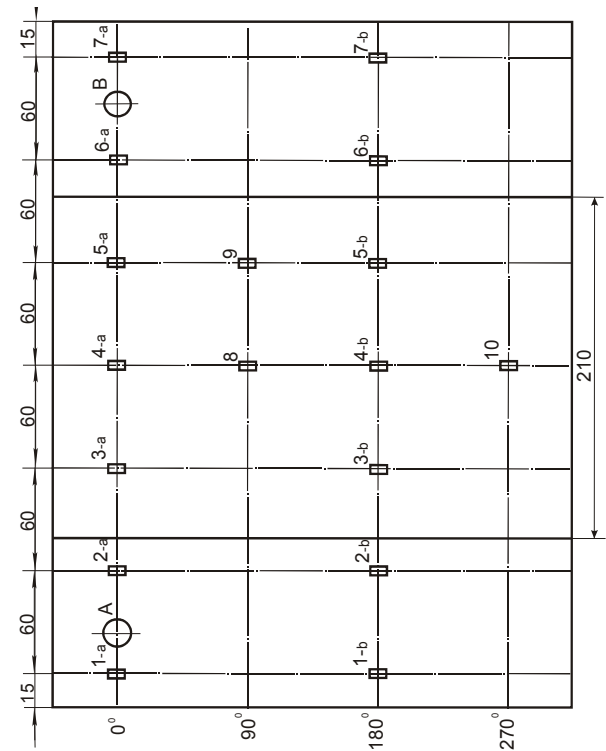
Розташування променів зліва направо відповідало порядковим номерам датчиків без навантаження тиском. Калібровку та налаштування тензоапаратури і осцилографа перед початком досліджень виконували згідно технічної документації на ці прилади.

Для зручності та за умови необхідної точності було сформовано наступну конструкцію устаткування для нагнітання тиску в досліджувану металеву трубу (рис.3).

Установка здатна поступово утворювати тиск від 0 до 4,0 МПа із зупинкою при будь-якому значенні тиску за допомогою крана. Манометр із межею вимірювання до 10,0 МПа контролював тиск у системі, а інший манометр із межею вимірювання до 4,0 МПа—тиск у досліджуваній трубі. Клас точності обох манометрів дозволяв виконувати вимірювання із достатньою точністю випробувань.

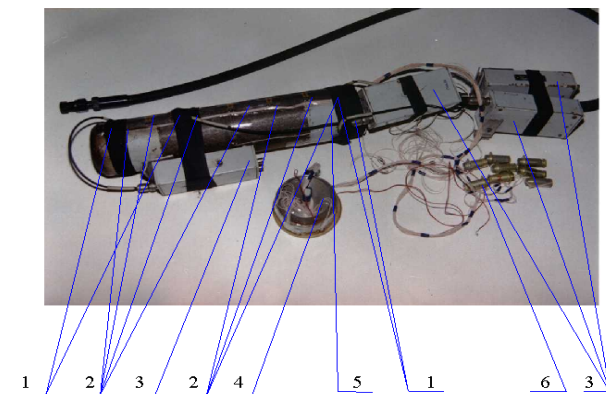
Так як робота виконувалась з трубою з використанням підвищеного тиску, то для

безпечного проведення дослідів передбачено ряд запобіжних заходів:



1-а, 1-б, 2-а, 2-б, 3-а, 3-б, 4-а, 4-б, 5-а, 5-б, 6-а, 6-б, 7-а, 7-б—тензодатчики; А, В—датчики акустичної емісії

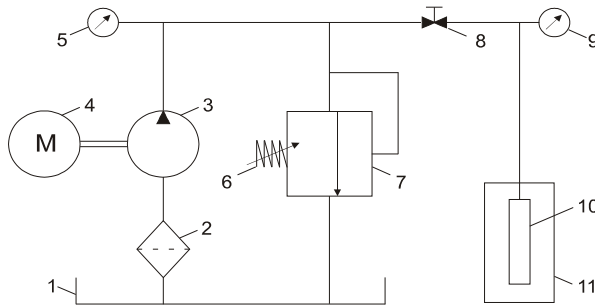
Рис. 1. Схема препарування датчиками досліджуваної труби



1-датчик акустичної емісії; 2-тензодатчики; 3-підсилювач САА-06; 4-тензометричний міст; 5-труба; 6-електроз'єднувачі

Рис. 2. Загальний вид препарованого зразка

- використання захисного металевого кожуха, в якому розташовували об'єкт дослідження;
- замість газу трубу наповнювали машинною оливою, яка має більшу густину, а отже була більш безпечна при можливому руйнуванні труби.



1-бак з робочою рідиною; 2-фільтр; 3-насос Г12-31М; 4-електромотор; 5-манометр з межею тиску до 10,0 МПа.; 6-пружина запобіжного клапана; 7-клапан ПГ66-12; 8-кран; 9-манометр з межею тиску до 4,0 МПа; 10-труба; 11-сталевий кожух

Рис. 3. Схема установки нагнітання тиску

Для контролю за початком руйнівних процесів навантаженого зразка встановлювали апаратуру акустичної емісії. Датчики акустичної емісії П113 розташовували на краях труби, що давало змогу контролювати всю поверхню досліджуваного зразка. Попередньо змащені мастилом типу ЦИАТИМ робочі частини датчиків акустичної емісії з зусиллям 20Н приєднували до зразка за допомогою ізоляційної стрічки. Далі датчики приєднувались за допомогою кабелів до апаратури АФ-15, яка обробляла отримані сигнали та надсилала їх через модуль паралельного цифрового інтерфейсу Р10-48 на вхід персонального комп'ютера, де вони оброблялись. Калібрування та налаштування акусто-емісійної апаратури АФ-15 та модуля паралельного цифрового інтерфейсу виконували згідно технічної документації на ці прилади.

В основі електротензометрії лежить відоме положення про те, що електричний опір провідника прямопропорційний довжині і оберненопропорційний площі його поперечного перерізу. Якщо закріпити провідник на поверхні конструкції так, щоб він чи розтягувався, чи стискувався разом з матеріалом конструкції, то завдяки повздовжній деформації провідника його опір електричному струму буде змінюватися пропорційно деформації конструкції. Хоча ця зміна незначна, сучасна електроапаратура цілком дозволяє її виявити і судити про деформацію матеріалу конструкції, а отже, і про його напруження. Існуючі прилади дають можливість вимірити відносно

видовження порядку 10^{-5} , що відповідає напруженню 2,0 МПа.

Таким чином прилад, що служить для вимірювання деформацій (електричний тензометр), складається з провідників-датчиків, що деформуються разом з конструкцією й електровимірювальним пристроєм, що знаходиться на деякій відстані від конструкції, але з'єднаного з датчиками. Один вимірювальний пристрій може обслуговувати кілька датчиків.

Датчики звичайно складаються з декількох петель тонкого (0,015...0,03мм) константанового, ніхромового чи манганінового дроту, склеєних між двома шарами тонкого (0,02...0,05мм) паперу. Довжина петлі є базою датчика, а самі петлі - сіткою датчика. Петлі зроблені для того, щоб при меншій базі одержати велику довжину дроту і тим самим підвищити точність вимірів. Звичайні бази датчиків - 20, 10, 5мм. Застосовують і малобазні одониткові датчики з базою 0,5...3 мм. Датчики наклеювались на випробуваний зразок. Такі датчики (датчики омичного опору) мають незначні розміри і вагу, що дозволяє застосовувати їх у важкодоступних місцях конструкцій, а також при динамічних випробуваннях.

Для оцінки зміни омичного опору датчика використовувались прилади у вигляді моста (міст Уінстона), де робочий датчик є одним із плечей моста. При деформації датчика, наклеєного на випробовувану деталь, його опір змінюється і відбувається розбалансування моста. Значення зміни опору датчика вимірюють гальванометром, ввімкненим у вимірювальну діагональ моста.

Для підвищення чутливості і перешкодозахисності в міст Уінстона замість гальванометра вмикали тензометричний підсилювач 8АНЧ-26.

Напруження на балці в місці наклейки тензодатчика визначали за формулою:

$$\sigma = \frac{M_{zz}}{W} = \frac{6P \cdot L}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

де P - приріст сили, L - відстань від защемлення до тензодатчика, b - ширина балки в місці наклейки тензодатчика, h - товщина балки.

Деформації тарувальної балки визначали за законом Гука [3,4].

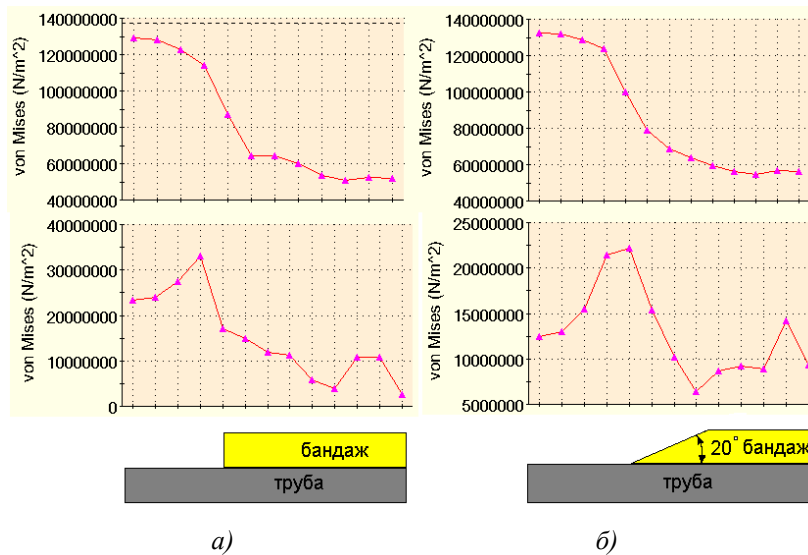
Відомо, що край бандажу може спричинити суттєву концентрацію напружень в трубі, тому пропонуються різні способи зменшення концентрації напружень. Найпростіший спосіб - створення фаски на бандажі, наприклад величиною 20° . За допомогою методу скінченних елементів виявлено, що простий бандаж (товщиною $t=10$ мм, та контактним тиском $q=10$ МПа) створює значну концентрацію напружень в трубі (рис.6,a), а бандаж

з фаскою дещо зменшує її (рис.6,б).

Навантаження проводили внутрішнім тиском дискретно до 4,0 МПа та фіксували положення променів осцилографа на фотострічці.

В табл. 1 показано відповідність номера кадру зміні тиску в металевій трубі.

При досягненні внутрішнього тиску величиною 2,475 МПа виникли перші сигнали акустичної емісії, активність яких збільшувалась із підвищенням внутрішнього тиску у досліджуваній трубі. Місця виникнення сигналів акустичної емісії знаходили за допомогою лінійної локації (рис.7).



а – без фаски; б – фаска на бандажі 20°

Рис. 6. Розподіл напружень за критерієм Мізеса (Па) на поверхні труби з бандажем (для верхніх графіків $p=7$ МПа, нижніх - $p=0$ МПа)

Таблиця 1 - Покадрова зміна тиску в трубі

№ кадру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зміна тиску, МПа.	0	0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,05	2,05-2,475	2,475-2,75	2,75-2,95	2,95-3,5	3,5-3,95	3,95-0

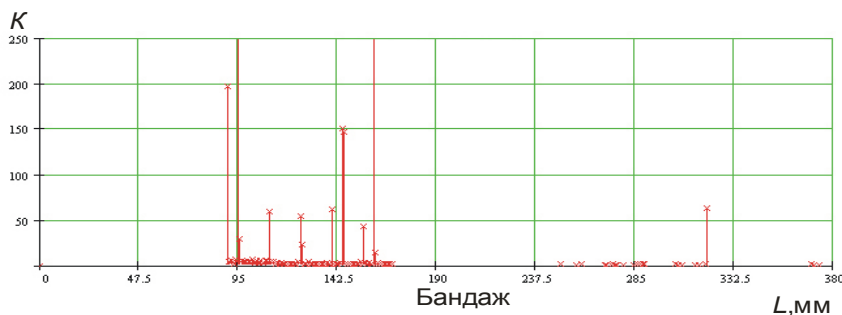


Рис.7. Розподіл сигналів акустичної емісії по довжині труби

З рис. 7 видно, що всі сигнали акустичної емісії знаходяться у зоні композитного бандажа, тобто сам бандаж є джерелом сигналів акустичної емісії. Встановлено, що максимальна кількість цих сигналів припадає на краї бандажу.

Кількість цих сигналів досить мала і тому не свідчить про небезпеку руйнування бандажа та

досліджуваної труби.

1. Копей Б.В., Розгонюк В.В., Максимук О.В., Щербина Н.В., Найда А.М. Зміцнення пошкодженої сталевий труби композитним бандажем: модель і розрахунок // Східно-європейський журнал передових технологій, №5(5),2003. – С.31-36.

2. Коней Б.В., Максимук О.В., Щербина Н.М., Коней В.Б., Стеліга І.І. Спосіб підвищення ресурсу, міцності і довговічності трубопроводу. Патент України №60506, 15.10.03. Бюл.№10, 2003.
3. Писаренко Г.С., Квітна О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів /за ред. Г.С. Писаренка. – К.: Вища

школа, 1993. – 655 с. 4. Безвербный А.Ф. Силовые и геометрические соотношения в многослойных трубах и сосудах давления. В кн.: Многослойные сварные конструкции и трубы. – К.: Наук. думка, 1984. – С. 296-302.

УДК 621.317

ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВІДДАЛІ МІЖ ПРИЙМАЛЬНИМИ КОТУШКАМИ В СКЛАДІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ В СТІНКАХ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

© Стрілецький Ю.Й., 2006

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Визначено оптимальну віддаль між котушками в складі системи для вимірювання змінного струму в стінках підземного металевого трубопроводу. Проведено імітаційне моделювання впливу білого шуму на результат визначення струму і встановлено віддаль між котушками, при якій цей вплив мінімальний

При дослідженні стану підземних металевих трубопроводів важливу роль відіграють методи інтегральної оцінки стану ізоляційного покриття за величиною втрат струму із стінок трубопроводів через оголені ділянки поверхні трубопроводу. Такі дослідження окрім визначення величини пошкодженої ділянки ізоляційного покриття дають можливість опосередковано контролювати роботу станцій катодного захисту.

Інтегральну оцінку проводять за результатами вимірювання струму, що протікає в стінках металевого підземного трубопроводу. Для визначення величини струму використовують системи котушок, які дають можливість визначити напруженість магнітного поля навколо трубопроводу і за певними алгоритмами встановлюють змінну складову струму, який створив це поле [1].

При збільшенні віддалі між котушками зростає діапазон досліджень системи, тобто можна досліджувати стан трубопроводів на більшій віддалі. Проте при більшій віддалі між котушками зростають вимоги до рівномірності поля завад, на фоні якого зможе працювати пристрій, а збільшення габаритів системи ускладнює роботу з нею. Тому важливо визначити оптимальну віддаль між котушками, яка буде задовольняти наведені вимоги для контролю стану ізоляції більшості трубопроводів.

Чутливість приймальної котушки характеризується кругизною залежності ЕРС, що наводиться в котушці при переміщенні котушки горизонтально, а також чутливістю самого

пристрою [2]. Для горизонтального переміщення чутливість G визначається наступним чином:

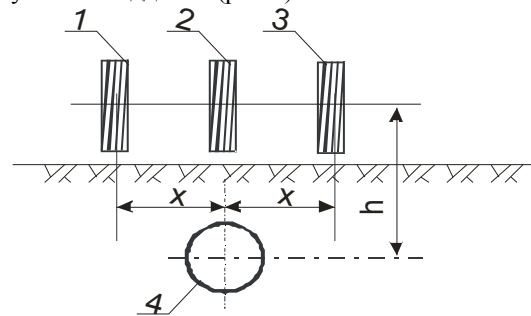
$$G = E(x) \cdot \frac{\partial E(x)}{\partial x}, \quad (1)$$

де $E(x)$ – напруга на вході підсилювача, x – віддаль між котушками.

При використанні декількох котушок

$$G = \sum E(x) \cdot \sum \frac{\partial E(x)}{\partial x}. \quad (2)$$

Якщо вважати, що котушки повинні бути закріплені на однаковій віддалі [1] одна від одної, то, вибравши початок координат посередині системи з трьох котушок, отримуємо, що 1-а і 3-я котушки знаходяться на віддалі x одна від одної, 2-а котушка на віддалі 0 (рис.1).



1-3 – вимірювальні котушки; 4 – контрольований трубопровід;

h – відстань по вертикалі від котушок до осі трубопроводу

Рис. 1. Положення вимірювальних котушок відносно підземного трубопроводу