

В.І. Слободян, П.М. Райтер, А.П. Джус, О.В. Івасів
ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ВТРАТ МЕТАЛУ ТРУБ З ВИКОРИСТАННЯМ
ВИСОКОЧАСТОТНОГО ІНДУКТИВНОГО ДАВАЧА

У статті проаналізовано проблему контролю корозійних втрат металу на поверхні трубопроводу з ізоляцією та застосування сучасних методів і засобів вихрострумowego контролю для її вирішення. Приведено результати розроблення автоматизованої системи контролю з наступним відтворенням ділянок втрат металу на базі просторових даних про товщину стінки труби, отриманих від динамічної системи переміщення, створеної на базі високочастотного індуктивного давача як сенсора втрат металу в кожній точці контролю. Експериментальне тестування запропонованого методу і системи контролю показали можливість проведення просторового вимірювання глибини корозійних втрат металу з точністю $0,2 \div 0,5$ мм за умови відсутності деформації труби.

Ключові слова: вихрострумовой індуктивний давач, трубопровід, поверхня металу, контроль, корозійні втрати.
Рис. 6. Табл. 1. Літ. 17.

В.И. Слободян, П.Н. Райтер, А.П. Джус, О.В. Ивасив
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОТЕРЬ МЕТАЛЛА ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА

В статье проанализирована проблема контроля коррозионных потерь металла на поверхности трубопровода с изоляцией и применение современных методов и средств вихретокового контроля для ее решения. Приведены результаты разработки автоматизированной системы контроля с последующим воспроизведением участков потерь металла на базе пространственных данных о толщине стенки трубы, полученных от динамической системы перемещения, созданной на базе высокочастотного индуктивного датчика как датчика потерь металла в каждой точке контроля. Экспериментальное тестирование предложенного метода и системы контроля показали возможность проведения пространственного измерения глубины коррозионных потерь металла с точностью $0,2 \div 0,5$ мм при отсутствии деформации трубы.

Ключевые слова: вихретоковий індуктивний датчик, трубопровід, поверхню металу, контроль, корозійні втрати.

V. Slobodyan, P. Raiter, A. Dzhus, O. Ivasiv
THE CORROSION LOSS METAL PIPE DETERMINATION WITH USE OF HIGH
FREQUENCY EDDY CURRENT SENSORS

The problem of the evaluation of corrosion metal loss on the surface of the pipe with insulation and the use of modern methods and means of eddy current testing for its decision was analyzed in the article. The results of automated control system with subsequent reproduction sections metal losses on the basis of spatial information on the thickness of the pipe wall, obtained from the dynamic displacement system, established on the basis of high-frequency inductive sensor as a sensor of metal losses in each inspection point. Experimental testing of the proposed method and control system has shown the possibility of measuring the spatial depth of corrosion of metal loss within the accuracy of $0,2 \div 0.5$ mm in the absence of pipe deformation.

Keywords: eddy current probes, pipeline, metal surface, monitoring, corrosion loss.

Постановка проблеми. Актуальність проблеми визначення залишкового ресурсу експлуатації газопроводів зумовлена тривалими термінами їх експлуатації. В значній мірі залишковий ресурс визначається міцнісними характеристиками, які напряму залежать від залишкової товщини стінок та величини втрат металу виробу, що знаходяться в експлуатації [1,2,3].

Враховуючи підземне розташування переважної більшості магістральних трубопроводів, захист їх лінійної частини від ґрунтової корозії є одним з головних завдань забезпечення їх надійного функціонування. При спорудженні основних фондів трубопровідних систем в 1960-1980 роках, траплялись серйозні прорахунки і вимушені технічні рішення щодо захисту трубопроводів від корозії, коли тривалий період часу використовувалися ненадійні ізоляційні покриття у вигляді полімерних стрічок. Тому, в умовах інтенсивного старіння, відмов і аварій на магістральних трубопроводах зумовлених ґрунтовою корозією, корозійне пошкодження залишаються однією із основних причин зниження надійності трубопровідних систем.

Оцінити фактичний стан газопроводу і оптимальним чином спланувати черговість проведення вибіркового ремонту та терміни подальшого діагностичного контролю стає можливим за результатами виконання двох важливих та взаємопов'язаних етапів [4]. Першим етапом є виявлення дефектних ділянок трубопроводів за результатами електрометричних обстежень або з використанням внутрішньо трубних дефектоскопічних пристроїв. Визначення характеру і лінійних розмірів дефектів, виявлених вказаними методами, здійснюється, як правило, традиційними методами неруйнівного контролю.

З метою діагностування стану діючих трубопроводів найчастіше використовуються один або поєднання кількох методів з наступного переліку:

- ультразвукова товщинометрія;
- вимірювання механічних властивостей матеріалів (зокрема, твердості);
- електромагнітна (магнітна) товщинометрія ізоляційного покриття;
- вимірювання глибини залягання трубопроводу;
- електроіскровий контроль суцільності ізоляційного покриття;
- ультразвукова дефектоскопія;
- радіографія.

Наступним етапом є аналіз дефектних ділянок на міцність і довговічність на основі достовірних розрахункових методик та формулювання висновків щодо стану газопроводу. Вхідними даними на цьому етапі є дані, отримані за результатами дефектоскопії, оскільки вони є основою для проведення аналітичних розрахунків з метою оцінки термінів безаварійної роботи трубопроводу [5, 10]. Сучасні прилади неруйнівного контролю в основному розроблені для виконання завдань пошуку та ідентифікації дефектів в тілі труби. Тому їх застосування для завдань визначення величини (площі, об'єму) та орієнтації корозійних поверхневих пошкоджень трубопроводів є досить трудомістким. Особливо це відчувається за умови контролю труб покритих ізоляцією, коли застосування частини вказаних вище методів контролю корозійних втрат металу в польових умовах є практично неможливим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вказані складності в реалізації контролю корозійних пошкоджень трубопроводів спонукали науковців та інженерів до пошуку та розробки таких методів контролю, які би поєднували систему сканування по поверхні труби та сенсори постійного визначення рівня корозійних пошкоджень металу [11, 12, 13]. На даний час проблема вирішується шляхом комп'ютеризації процесів контролю та автоматизації зберігання і обробки інформації. Сучасні товщиноміри і твердоміри мають пам'ять для запису результатів вимірювань та забезпечені можливістю зв'язку з комп'ютером для створення баз даних і паспортизації об'єктів. Ультразвуковий товщиномір «Скат-4000» [17] дозволяє також реєструвати рельєф виробу, що є важливим в процесі оцінки ступеня корозійного пошкодження внутрішньої стінки трубопроводу. Але використання ультразвукових сенсорів вимагає наявності постійного імерсійного середовища між давачем та поверхнею, що в польових умовах реалізується лише при точковому контролі товщини стінки трубопроводу та при ультразвуковій дефектоскопії тіла труби чи зварного шва.

Обґрунтованим є вирішення вказаної проблеми шляхом реалізації вихрострумowego контролю поверхні металу труби з використанням індуктивних електромагнітних давачів [14, 15]. Це зумовлено тим, що даний метод виключає безпосереднє контактування робочої поверхні давача з контрольованою поверхнею і дозволяє реалізувати контроль параметрів корозійних пошкоджень без зняття ізоляції з поверхні труби. Детальний аналіз реалізації вказаного методу на основі застосування індуктивних давачів в різному конструктивному виконанні наведено в роботі [6]. Проведений аналіз свідчить, що можливості добре відомого вихрострумowego контролю у вирішенні завдань оцінки втрат металу зумовлених різними причинами (корозія, ерозія, кавітація, тощо) є ще далеко не вичерпаними.

Зокрема RFEC - метод далекого вихрострумowego контролю на низьких частотах змінного струму, зараз відомий як RFT, вже більше 50 років застосовується для виявлення корозійних і ерозійних дефектів (втрат в перетині) в трубах малого діаметра, що використовуються в бойлерах і теплообмінниках [7]. RFT-перетворювачі містять, як мінімум, одну котушку збудження і одну приймальну котушку. Котушка збудження живиться змінним струмом низької частоти, який створює змінне магнітне поле близько біля котушки збудження. Це поле взаємодіє з феромагнітним матеріалом труби (як з якорем магніту) і поширюється вздовж труби на відстань декількох діаметрів. На відстані двох і більше діаметрів первинне (пряме) поле котушки збудження різко падає, тоді як вторинне поле, що виникає за взаємодії поля збудження з феромагнітним матеріалом стінки труби, поширюється далі і його можна використовувати для визначення втрати перерізу труби. Значення фази (часу проходження сигналу) і амплітуди (інтенсивності сигналу) можуть бути використані для визначення товщини стінки в області знаходження приймальної котушки (котушок). Для підвищення роздільної здатності методу при виявленні виразкової корозії на трубах великого діаметру використовується збірка приймальних котушок.

Новий метод, відомий як ELF (Extremely Low Frequency – наднизькі частоти) [7], є відносно недорогим методом контролю трубопроводів малого діаметра, змійовиків і бойлерних труб. Метод реалізується за допомогою приладу, що вимірює фазу і амплітуду сигналу, і портативного персонального комп'ютера. Метод дозволяє виявляти і визначати розміри виразкової корозії на внутрішній поверхні труби під час контролю із зовнішньої поверхні через захисне покриття або з внутрішньої поверхні труби. Метод ELF є розвитком методу RFT і також базується на вики ристанні поля змінного струму, індукованого в трубі за допомогою котушки збудження. Частота струму збудження зазвичай менше 1 кГц. Група приймальних котушок в перетворювачі, розташованому в середині труби, реєструє зміну індукованого сигналу, який пропорційний місцевій товщині стінки. Для ELF – перетворювача, що працює по зовнішній поверхні труби, загальна площа приймальних котушок досягає 1/3 довжини кола (рис. 1). На замовлення користувачів виготовляють перетворювачі, що дозволяють контролювати повне коло труби за один прохід, швидкість контролю - 10 м/хв [7].

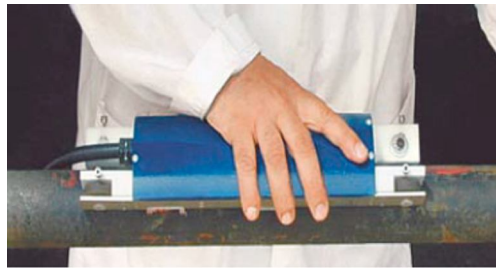


Рис. 1. ELF-перетворювач для контролю по зовнішній поверхні труби діаметром 50 мм [7]

В роботах [8, 9] запропоновано метод і пристрій контролю в основі яких лежить оригінальне вирішення конструкції сенсорних котушок для реалізації вихрострумовео контролю корозійних пошкоджень поверхні труби. В пропонованому методі замість однієї або кількох збуджуючих і приймальних котушок реалізовано їх матрицю на гнучкій плівці, що покриває поверхню контролю (рис. 2а). При цьому всі котушки є плоскими спіральними котушками та збуджуюча і приймальна котушки розташовані одна над одною (рис. 2б).

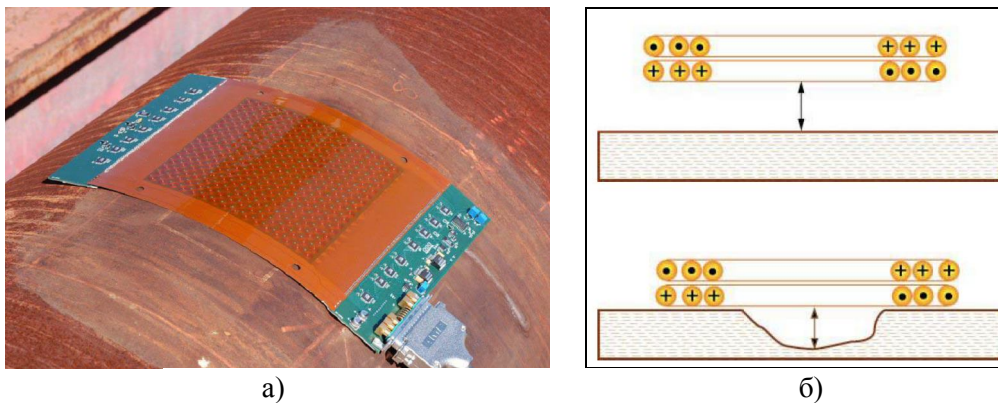


Рис. 2. Матриця сенсорних котушок на гнучкій основі: (а) - фотозображення та (б) еквівалентність сигналу індуктивного датчика (пари котушок вихрострумовео методу) за наявності повітряного зазору між котушками і поверхнею контролю (вверху) та за наявності корозійного пошкодження в тілі труби (внизу) [9]

Втрати металу зовнішньої поверхні тіла труби в результаті корозії спричиняють зміну сигналу у приймальній котушці аналогічну зміні сигналу, яка би відбувалась в цій котушці за умови збільшення повітряного зазору між некородованою поверхнею і цією котушкою. Враховуючи, що розмір котушки складає 8,74 мм, а відстань між ними 9,5 мм, дана конструкція сенсорного масиву індуктивних датчиків дозволяє ідентифікувати на поверхні навіть частково піттингову корозію. В результаті опрацювання сигналів від масиву 256 сенсорів матриці 16×16 загальної контрольованої квадратної ділянки 157×157 мм в пропонованій системі програмно реконструюється рельєф кородованої поверхні труби. Дослідження авторів роботи [9] показали,

що оптимальною є частота струму збуджуючої котушки 4,7 МГц. Це дозволило втричі в порівнянні з частотою 100 кГц збільшити чутливість контролю і використати лише один каскад підсилення сигналу приймаючої котушки перед подачею її на мультиплексор і далі в аналого-цифровий перетворювач системи контролю. Що особливо важливо, вища робоча частота суттєво зменшує вплив неоднорідності в провідності і основне – в магнітній проникності кородованої поверхні металу на результати вимірювання втрат металу. На вищій частоті глибина проникнення електромагнітного поля в метал зростає із-за скін-ефекту суттєво зменшується і складає за результатами досліджень авторів лише 6 мкм.

Невирішені частини проблеми. Існуючі системи, як правило, зорієнтовані на зняття шару ізоляційного покриття і на, в основному, ручний контроль визначених точок або ділянок поверхні труби. В будь-якому із випадків використання вказаних вище пристроїв в польових умовах, а саме при шурфуванні ділянок трубопроводів, є ускладненим через обмежений доступ до всієї поверхні труби. Доцільним є розроблення методології контролю корозійних втрат металу трубопроводів лінійної частини в польових умовах, яка би дозволила автоматизувати процес контролю без пошкодження ізоляційного покриття.

Метою виконаної роботи є розроблення методу та пристрою автоматизованого контролю з наступним відтворенням ділянок втрат металу на базі просторових даних про товщину стінки виробу, отриманих за допомогою динамічної системи переміщення, що містить індуктивний датчик як сенсор втрат металу в кожній точці контролю.

Основні результати дослідження. Аналізуючи можливі шляхи реалізації механічного приводу пристрою автоматизованого контролю, нами запропоновано скористатися машиною для різання труб типу "Орбіта" (рис. 3). За своїм призначенням вона покликана забезпечувати кисневе різання труб з використанням ацетилену або його замінників в польових умовах при будівництві магістральних трубопроводів і на промислових підприємствах. Машина складається з ходової частини, блоку різання, блоку живлення, приводного ланцюга, кабелів, рукавів.

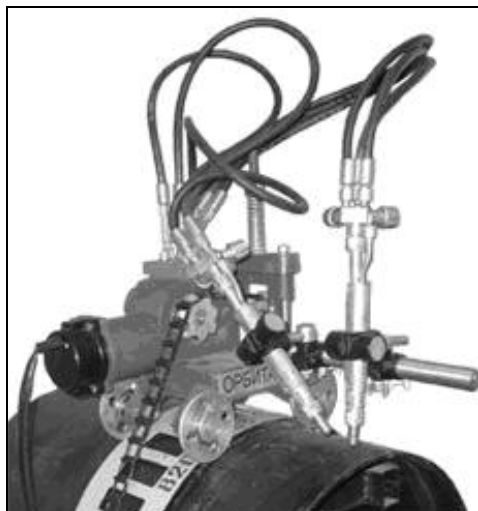


Рис. 3. Машина для різання труб типу "Орбіта"

Промисловістю на сьогоднішній день виготовляються машини для різання труб з ручним приводом та приводом від електричного двигуна. Прийнятним у нашому випадку є використання машини з приводом від електричного двигуна, так як при цьому забезпечується переміщення пальників в коловому напрямку з постійною швидкістю.

Характеристика такої машини передбачає можливість її використання для труб діаметром від 530 до 1420 мм. При цьому швидкість переміщення самохідної каретки змінюється в діапазоні від 100 до 1200 мм/хв. Неспівпадіння початку і кінця різки та відхилення його контура від площини становить не більше 1 мм. Шляхом монтажу на одній із напрямних переміщення пальника спеціального кронштейна для кріплення індуктивного датчика з пристроєм для забезпечення переміщення вздовж осі труби, реалізовано можливість безперервного контролю стану поверхні металу по колу із дискретним зміщенням вздовж осі труби (рис.4).

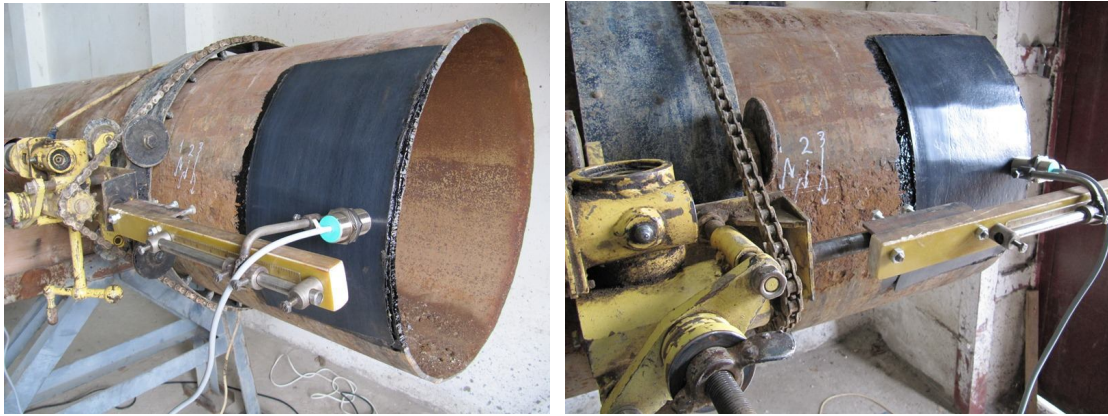


Рис. 4. Загальний вигляд переносної машини для різання труб типу "Орбіта" модифікованої пристроєм переміщення індуктивного давача вздовж осі труби, індуктивним давачем та мікропроцесорним інформаційно-керуючим блоком.

Як сенсор втрат металу в кожній точці контролю використано індуктивний давач з діапазоном вимірювань від 3 до 8 мм (рис. 5). Робоча напруга давача 15...30 В, вихідний аналоговий сигнал 0...20 мА є прямо пропорційним відстані відповідно 3...8 мм, відтворюваність результатів вимірювань 0...6 мкм.



Рис. 5. Індуктивний давач втрат металу в процесі контролю без ізоляції та контрольована частина кородованої ділянки труби

Змінний струм, що проходить через котушку з дроту, створює навколо неї магнітне поле. Якщо котушка підноситься близько до провідної поверхні, то вона індуктує вихрові струми в поверхні, які в свою чергу створюють магнітне поле, що протидіє первинному магнітному полю. Амплітуда і фаза цих "вторинних котушок" знаходяться під впливом геометрії розташування (яка містить простір між котушкою і провідним матеріалом), електропровідності і магнітної проникності матеріалу. Як правило вихроструміві системи містять пару котушок: одна є збуджуючою, а друга приймаючою, так як дві обмотки трансформатора. Взаємозв'язок між двома котушками залежить від способу, яким вихрострумівий давач взаємодіє із зразком металу. Сильним фактором у цьому зв'язку є відстань між котушками давача і поверхнею зразка. Коли котушки знаходяться близько до зразка, взаємозв'язок є сильний, якщо котушки переміщається далі від його поверхні, зв'язок зменшується. Таким чином, існує значний ефект впливу цієї відстані на імпеданс котушок і вихідний сигнал індуктивного давача. Коли вихрострумівий індуктивний давач використовується в пристроях, де основною метою є виявлення невеликих тріщин, цей ефект, як правило, небажаний, оскільки він створює "шум", зумовлений нестабільністю відстані між робочою поверхнею індуктивного давача і поверхнею металу. В інших застосуваннях цього ефекту зміна сигналу від нестабільності вказаної відстані є перевагою, оскільки це дозволяє застосувати індуктивний давач для її вимірювання між давачем і зразком. Вихроструміві індуктивні давачі, які працюють в цьому режимі, є основою давачів переміщення, що мають широке коло використання.

Для вимірювання глибини корозійних втрат металу на поверхні труби, саме ця зміна сигналу давача від зміщення його відносно поверхні або навпаки поверхні відносно давача (в англомовній

літературі liftoff), є визначальною. При вимірюванні корозії в області, яка, як правило, є великою в порівнянні з розміром котушок давача, корозійні втрати проявляються більше як зміна зміщення давача від поверхні металу, ніж локальна зміна в провідності чи проникності. Підхід до визначення корозійних втрат полягає у використанні як зондів вихрострумів індуктивних давачів для вимірювання глибини корозійних ямок шляхом фіксації значення «зсуву» між робочою поверхнею давача і дном ямки, як показано на рис. 2б. Нами досліджувався аналогічний підхід в умовах рухомого сканування індуктивним давачем з метою побудови карти рельєфу поверхні і знаходження місць з максимальною глибиною корозійних втрат металу.

Критично важливим в процесі такого контролю є питання визначення оптимальної частоти коливань котушки збудження індуктивного давача з кута зору мінімізації проникнення поля в метал поверхні трубопроводу, а отже і впливу зміни значень електропровідності та магнітної проникності на сигнал давача. Аналіз фізики методу, відомих залежностей та експериментальних довідкових даних літературних першоджерел (наприклад [16]) про залежність глибини проникнення електромагнітного поля в тіло металу свідчить, що для сталі найбільша глибина проникнення складає відповідно для частот: 1кГц – 0,019 мм, 4кГц – 0,095 мм, 16кГц – 0,0048 мм, 64 кГц – 0,0024 мм, 256 кГц – 0,0012 мм, 1МГц – 0,0006 мм. Власні експериментальні дослідження показали, що значне підвищення частоти призводить до зменшення чутливості методу через поглинання енергії електромагнітного поля в шарі ізоляції. Тому в процесі експериментальних досліджень оптимальною визначена частота роботи індуктивного давача 800 кГц. На ній експериментально досягнуто оптимуму між мінімізацією проникнення поля в метал труби та чутливістю методу.

З використанням вказано підходу та практичного його втілення в розроблену систему контролю на базі приводу системи «Орбіта», нами проведено тестові вимірювання корозійних втрат металу індуктивним давачем на ділянці труби магістрального трубопроводу (рис. 5) з відповідною реєстрацією результатів (частина яких наведена в табл. 1). Привід машини для різки металу «Орбіта» забезпечує рівномірне зміщення давача на контрольованій ділянці по колу труби (це названо терміном «прохід»). Після завершення одного проходу давач повертався у вихідне положення, зміщався в напрямку осі труби на 2 мм і здійснювалась реєстрація сигналу давача на наступному проході. Процес реєстрації повторювався до досягнення краю контрольованої ділянки. В результаті вимірювань отримано двовимірний масив значень сигналу індуктивного давача з дискретністю 1 с для контрольованої ділянки: один вимір – час реєстрації, другий вимір – номер проходу.

Таблиця 1. Фрагмент даних з результатами контролю корозійних втрат металу на контрольованій ділянці труби отриманих на автоматизованій установці

Прохід 1		Прохід 2		Прохід 3	
Час виміру, год:хв:сек	Відстань від поверхні давача до поверхні металу, мм	Час виміру, год:хв:сек	Відстань від поверхні давача до поверхні металу, мм	Час виміру, год:хв:сек	Відстань від поверхні давача до поверхні металу, мм
11:14:25	5	11:18:23	5.3	11:24:25	5.2
11:14:26	5	11:18:24	5.3	11:24:26	5.2
11:14:27	5	11:18:25	5.2	11:24:27	5.2
11:14:28	5.4	11:18:26	5	11:24:28	5.1
11:14:29	5.7	11:18:27	5	11:24:29	5
11:14:30	5.5	11:18:28	4.9	11:24:30	4.9
11:14:31	5.3	11:18:29	4.7	11:24:31	4.8
11:14:32	5.3	11:18:30	4.8	11:24:32	5

На рис. 6 наведено графіки зміни рельєфу поверхні труби по чотирьох сусідніх проходах давача, що знаходяться на відстані 2 мм між відповідними сусідніми проходами. Оскільки рух давача по колу задавався зі швидкістю 1 мм/с і відліки аналогового сигналу давача реєструвались через 1 с, то відстань між зареєстрованими точками в напрямку кола труби була 1 мм. В той час як в напрямку осі труби – 2 мм (відстань між проходами). Робоча зона чутливості індуктивного давача згідно паспорта починається на відстані 3 мм від його поверхні. Тому давач при проведенні експериментів встановлювали таким чином, щоб його робоча поверхня знаходилась на відстані 4 мм від непошкодженої по-

верхні труби (запас 1 мм на нерівність труби). Корозійні втрати металу призводили до «віддалення» поверхні труби від давача, який рухався на фіксованій відстані від непошкодженої поверхні. При проведенні експериментів складним завданням виявилось забезпечення паралельності поверхні давача і уявної дотичної поверхні в точці контролю, оскільки практично усі труби, що знаходяться тривалий час в експлуатації, є частково деформованими. Вирішення цієї задачі потребує детального дослідження.

З метою оцінки достовірності контролю нами вирізано контрольовану ділянку труби і проведено вимірювання її товщини в непошкодженій частині за допомогою мікрометра моделі 102 з точністю 0,01 мм, а на кородованій поверхні – за допомогою ультразвукового товщиноміра УТ-31 з точністю 0,05 мм (рис. 7). Для співставлення значень виміряних індуктивним давачем, мікрометром і УЗ товщиноміром використано поліетиленові прозирки із нанесеною сіткою з кроком 2 мм виготовлені за розмірами контрольованої ділянки. Закріплення прозірок з протилежних сторін зразка дало можливість точно відмітити місця встановлення давача УЗ товщиноміра при вимірюванні з внутрішнього (непошкодженого) боку труби товщини її стінки в різних місцях контрольованої ділянки металу.

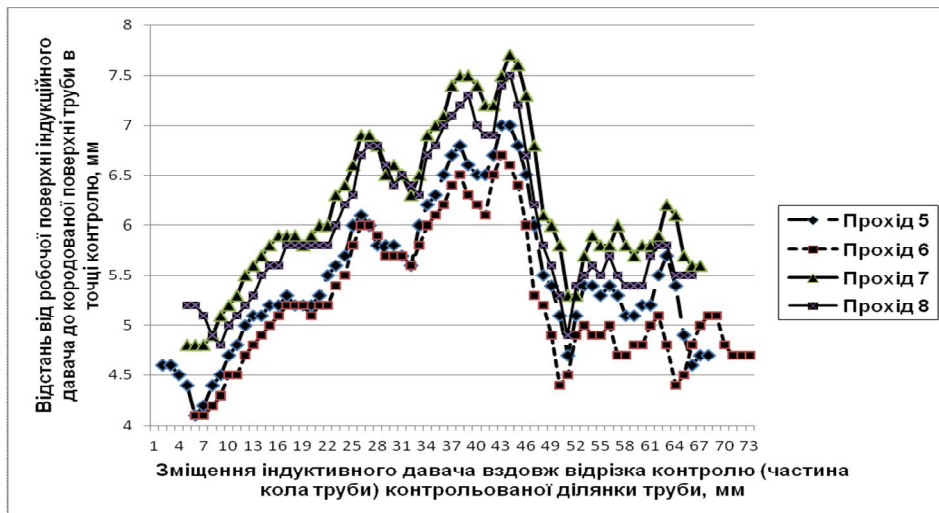


Рис. 6. Графіки зміни відстані між робочою поверхнею індуктивного давача та кородованою поверхнею металу труби на контрольованій ділянці при черговому виконанні проходів вздовж ділянки зі зміщенням між проходами 2 мм



Рис. 7. Визначення розмірів корозійних втрат металу труби контрольованої ділянки (по центру) за допомогою мікрометра моделі 102 (некородовані ділянки) та ультразвукового товщиноміра УТ-31 (кородовані ділянки)

Порівняння результатів товщинометрії зразка проведеної за допомогою індуктивного давача та вказаних взірцевих засобів вимірювань показали, що відхилення у вимірюваннях різними методами складають від 0,2 до 0,5 мм. Найбільші відхилення спостерігались в місцях для яких характерна значна «зрізаність» рельєфу кородованої поверхні труби. Як наслідок, на нашу думку, покази УЗ товщиноміра для такого місця не можна вважати взірцевими в повному розумінні (із-за часткових заломлень УЗ сигналу на нерівностях поверхні металу).

Після опрацювання в середовищі Excel отриманий масив значень глибини корозії перетворений в реконструйовану тривимірну поверхню. На рис. 6 наведено частину відтвореної на персональному комп'ютері поверхні в двовимірному форматі за допомогою ізоліній.

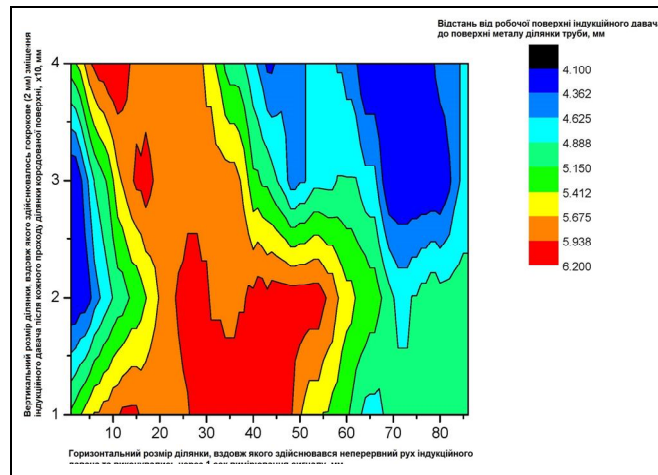


Рис. 6. Комп'ютерна реконструкція рельєфу ділянки кородованої поверхні труби після опрацювання сигналів індукційного давача

Висновки. Аналізуючи вище наведене можна зробити наступні висновки.

1. Аналіз сучасних досліджень в галузі застосування вихрострумового методу контролю для визначення корозійних втрат металу на поверхні трубопроводу свідчить про доцільність розроблення таких засобів за умови використання високочастотних індуктивних давачів як первинних перетворювачів засобів контролю.
2. Для автоматизованого контролю корозійних поверхневих втрат металу на лінійній частині магістральних трубопроводів з ізоляцією на поверхні доцільно використовувати розроблену систему контролю на основі доповнення приводу машини для різання труб типу "Орбіта" модулем індуктивного давача, блоком реєстрації та обробки інформації.
3. Експериментальні дослідження методу та системи контролю показали можливість досягнення просторового вимірювання глибини корозійних пошкоджень з точністю від 0,2 до 0,5 мм за умови відсутності деформації труби.
4. Доцільно продовжити дослідження з метою вдосконалення методу і системи шляхом доповнення останніх модулем реєстрації просторової орієнтації індуктивного давача, що виключить необхідність прив'язки його напрямку руху до місця zdeформованої поверхні труби.

1. ДСТУ-Н Б В.2.3 – 21- 2008. Настанова визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – [Діючий від 20.08.2008] – К.: МРР та БУ, 2008. – 91 с.
2. Положение об анализе результатов внутритрубной диагностики магистральных газопроводов ДК «Укртрансгаз» и организации выполнения ремонтных работ по устранению дефектов [Действующее от. 16.12.2009]. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2009. – 31 с.
3. Методика оценки технического состояния труб газопровода с длительным сроком эксплуатации и его остаточного ресурса [Действующая от 15.12.2003]. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2002. – 72 с.
4. В 31 G. Руководство по определению окончательного ресурса корродированного трубопровода: дополнение к стандартам ASME В 31 для напорных трубопроводов, опубл. ASME International. – American Society of Mechanical Engineers, 1991. – 55 p.
5. Кондратьев Д.В., Критерий определения необходимости проведения ремонта коррозионного дефекта / Д.В. Кондратьев // Газовая промышленность (Ремонт объектов газотранспортной системы: приложение к журналу), 2012.- Приложение – С. 34-35.
6. Javier Garcia-Martin, Jaime Gomez-Gil, Ernesto Vazquez-Sanchez, Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing / Javier Garcia-Martin, Jaime Gomez-Gil, Ernesto Vazquez-Sanchez // Sensors (Open Access), 2011. – 11. – P. 2525-2565.
7. Ваджпай Анкит, Новый метод выявления коррозионных труб / Анкит Ваджпай // В мире неразрушающего контроля, 2006. – № 1 (31) март. – С. 63-65.
8. Crouch A.E., Burkhardt G.L., Porter P.C., Conformable array for mapping corrosion profiles / Alfred E. Crouch, Gary L. Burkhardt, Patrick C. Porter // Final Report, August 21, 2001–November 21, 2002, Southwest Research Institute, San Antonio, Texas (DOE Contract No. DE-FC26-01NT41153.) - for U.S. Department of Energy, Morgantown, West Virginia, 2002. – 31 p.
9. Crouch A.E., Goyen T.H., Defect assessment using conformable array data / Alfred E. Crouch, Todd H. Goyen // Final Report, October 1, 2002–September 30, 2003, Southwest Research Institute, San Antonio, Texas (DOE Contract No. DE-FC26-02NT41644.) - for U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Morgantown, West Virginia, 2003. – 26 p.
10. Nessim M., Estimating the risk of pipeline failure due to corrosion/ M. Nessim/ Uhlig's Corrosion Handbook, Third Edition, Edited by R. Winston Revie. - John Wiley & Sons, Inc. – 2011– P. 75-82

11. *Heidersbach R.*, Inspection, monitoring, and testing / Robert Heidersbach // Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production, 2011- John Wiley & Sons, Inc. – P. 186-208.
12. *Roberge P.R.*, Corrosion Inspection and Monitoring / Pierre R. Roberge/ WILEY SERIES IN CORROSION.-2007. - John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 383 p.
13. *Yang L.*, Techniques for corrosion monitoring/ Lietai Yang / SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE, Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining, 2008 - Cambridge England. – 670 p.
14. *Y. Zhang, G. Yan*, Detection of Gas Pipe Wall Thickness Based on Electromagnetic Flux Leakage// Russian Journal of Nondestructive Testing, 2007 – № 43. – P. 123-132.
15. *Kikuchi H., Shimizu I., Ara K., Kamada Y, Kobayashi S.*, Applicability of Magnetic Flux Leakage Method for Wall Thinning Monitoring in Nuclear Power Plants/ Hiroaki Kikuchi, Isamu Shimizu, Katsuyuki Ara, Yasuhiro Kamada, Satoru Kobayashi / Electromagnetic Nondestructive Evaluation (XIV) T. Chady et al. (Eds.), 2011. - IOS Press BV, Amsterdam, Netherlands. – P. 275-281.
16. *Hellier C.J.* Handbook of Nondestructive Evaluation. / Charles J. Hellier. - The McGraw-Hill Companies, 2003. – 594 p.
17. *Мазур І.І., Іванцов О.М.*, Безопасность трубопроводных систем /И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ «Елима»б 2004. – 1004 с.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2013.