

ІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ НЕРУЙНІВНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВАРІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ТРУБОПРОВОДУ

О.П. Гопкало¹, П.С. Юхимець², Г.Я. Безлюдько³, Р.М. Соломаха³, В.О. Нехотящий¹

¹Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України. 01014, м. Київ, вул. Тимірязєвська, 2.

E-mail: ips@ipp.kiev.ua

²ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

³ТОВ «Спеціальні наукові розробки». 61184, м. Харків, а/с 12036

Приведено приклад діагностування неруйнівними методами контролю технічного стану аварійної ділянки трубопроводу нафтохосовища. За результатами обстеження аварійної ділянки трубопроводу (вимірювання твердості, овальності труб та коерцитивної сили H_c) були визначені характеристики статичної міцності металу труб та дана оцінка відносної навантаженості, структурного стану металу та рівня отриманих пошкоджень. Коерцитиметричним контролем встановлено, що рівень сумарних максимальних напружень, отриманих спочатку при монтажу конструкції, а потім після аварії та відновлення вихідного положення окремих елементів трубопроводу відносно опор, складав менше 30 % від умовної межі плинності металу. Дана оцінка відповідає даним розрахунків напружено-деформованого стану та узгоджується з результатами вимірювання овальності труб і відсутності локальних пластичних деформацій у найбільш навантажених зонах. Коерцитиметричним діагностуванням виявлені відмінності використаних марок сталей на окремих ділянках трубопроводу. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 9.

Ключові слова: напруження, деформація, навантаження, пошкодження, структуроскоп, коерцитивна сила

Складні умови експлуатації сучасних об'єктів енергетики, нафтохімії, транспорту потребують залучення сучасних неруйнівних методів контролю для забезпечення їх безаварійної роботи [1, 2]. Основним завданням технічного діагностування є забезпечення безпеки, функціональної надійності та ефективності роботи технічного об'єкта, а також скорочення витрат на його обслуговування і зменшення втрат від простоїв в результаті відмов та передчасних ремонтів. У аварійних ситуаціях для оцінки технічного стану металоконструкцій залучення сучасних неруйнівних методів контролю є першочерговою задачею.

У даній роботі наведено приклад використання неруйнівних методів контролю для оцінки технічного стану аварійної ділянки трубопроводів нафтохосовища.

Об'єкт обстеження. Об'єктом обстеження є аварійна ділянка трубопроводу нафтохосовища. В межах даного прикладу розглянуто всмоктуючі ділянки технологічних трубопроводів І (діаметром 108×4 мм ГОСТ 8732–78 [3]) та ІІ–ІV (діаметром 219×6 мм К-42 [4]) від вузла № 2 до відповідного насоса (рис. 1). Трубопроводи є надповерхневими, за винятком автомобільного переїзду між опорами ОП11–1 та ОП11–2, де вони прокладені в металевих трубних футлярах діаметром 273×6 мм (трубопровід І) та діаметром 426×6 мм (трубопроводи ІІ–ІV) на глибині ~ 2 м.

В результаті розкопки переїзду – трубопроводів ІІ–ІV до рівня їх обпирання, а трубопроводу І до більшої глибини з утворенням під ним порожнини, відбулося їх зміщення. Так на ковзаючих опорах ОП11–1, А та Б трубопроводів ІІ–ІV (діаметром 219×6 мм) були зафіксовані зазори до 20 мм (рис. 2). Найбільшого ушкодження зазнав трубопровід І – (діаметром 108×4 мм) внаслідок просадки та відокремлення від опори С, яке складало ~100 мм, а зміщення в горизонтальній площині до 30 мм.

Рішення про можливість подальшої експлуатації трубопроводів пов'язувалося з оцінкою технічного стану найбільш ушкоджених зон основного металу і зварних з'єднань трубопроводів.

Результати обстеження аварійної ділянки трубопроводу. За допомогою комплексу програм Астра-Нова [5] було виконано розрахунки напружено-деформованого стану спорожненого, за винятком підземної частини, трубопроводу І (діаметром 108×4 мм). Згідно до розрахункової схеми по кінцях трубопроводу – на вузлі № 2 та насосі, переміщення обмежувалися нерухомими опорами. Тертя трубопроводу по ковзаючих опорах не враховувалося.

Розрахунок проводився за умов відсутності ґрунту для 2-х варіантів:

1) просадка підземної частини трубопроводу під дією власної ваги;

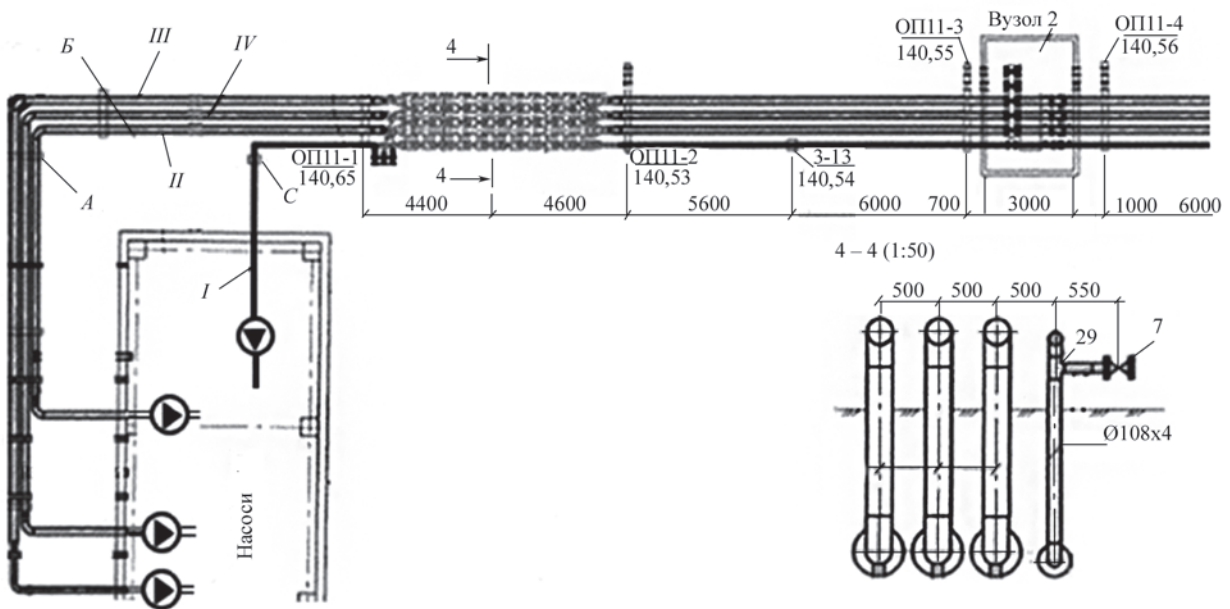


Рис. 1. Схема трубопроводів на основі проектної документації



Рис. 2. Трубопроводи I-IV після розкопування (а); зазор між трубопроводом II та опорою А (б)

2) зазор на опорах А та Б ~ 100 мм під дією власної ваги та рівномірно розповсюдженого зусилля на розкопаній ділянці.

Результати розрахунків НДС, наведені на рис. 3, засвідчили, що найбільший відрив трубопроводу за варіантом 1 спостерігається на опорі С (рис. 1) і становить ~ 1 мм. Така різниця між фактичним (~ 100 мм) і обчисленим значенням може бути наслідком використання натягу під час монтажу трубопроводу, а також відмінності температур металу при монтажі та проведеному розкопуванні.

Співставлення максимальних за обома варіантами розрахунків напружень $\sigma_{\max} = 167,9$ МПа з механічними властивостями металу трубопроводів, визначеними за даними вимірювання твердості (та-

блиця) дозволило зробити висновок про пружний характер деформування основного металу трубопроводу I. Оскільки виникнення максимальних деформацій обумовлено згином трубопроводу, що відбувався переважно в вертикальній площині, зона їх локалізації обмежувалась невеликими поверхневими ділянками кругового перерізу трубопроводу. Враховуючи, що концентрація напружень в зоні зварного кільцевого з'єднання, виконаного ручним дуговим зварюванням, становить $\alpha_s \approx 2,5$ [6], цілком очікувано, що при вертикальному переміщенні трубопроводу ~ 100 мм в локальних ділянках найбільш навантажених кільцевих зварних стиків відбувалися пластичні деформації. При цьому, в наслідок їх обмеженості, переріз в цілому деформувався пружно.

Візуальний огляд, вибіркові виміри твердості, товщини та овальності труб, а також коерцитиметричний контроль проводилися після часткового відновлення проектного положення трубопроводу I (діаметром 108×4 мм) за рахунок піддомкращування. За цих обставин трубопровід після повернення із положення, що відповідало розрахунковому варіанту 2, знаходився в деякому проміжному стані поміж повністю розвантаженим (проектним) та положенням, що відповідало розрахунковому варіанту 1.

Для встановлення ознак пластичного деформування окремих ділянок трубопроводів було проведено вимірювання їх овальності. Овальність труб визначали як відношення діаметрів у горизонтальній та вертикальній площинах. Вимірювання діаметрів труб в найбільш напружених перерізах трубопроводів проводили на відстані 20 мм від зварних швів у двох взаємно перпендикулярних напрямках їх поперечного перерізу. Розкид даних овальності був в межах $0,46 \dots 1,87$ %. Максимальні відхилення вимірюваних діаметрів труб від номінальних був мен-

Результати вимірювання твердості та визначення характеристик міцності металу

Діаметр трубопроводу, мм	Механічні властивості матеріалу			Матеріал, згідно до ТД
	Твердість HB, МПа	¹ Межа міцності сталі, σ_b , МПа	¹ Межа плинності сталі, $\sigma_{0,2}$, МПа	
219	1250...1300	$\frac{416...432}{\geq 412}$	$\frac{250...260}{\geq 245}$	Труба 219×6-K42 ТУ 14-3-377-99
108	820...910	$\frac{273...303}{\geq 412}$	$\frac{164...182}{\geq 245}$	Труба 108×4ГОСТ 8732-78В20 ГОСТ 8731-74

Примітка. ¹В чисельнику наведені дані, обраховані згідно до вимірів твердості, в знаменнику – вимоги нормативної документації. ще 1,37 %. Візуальний огляд труб не виявив ознак локального деформування. Отримані результати вимірювання овальності труб практично відповідають вимогам нормативної документації на виготовлення. На рис. 4 приведені схеми ділянки та зони для вимірювання діаметрів труб у горизонтальній та вертикальних площинах.

Для визначення рівня навантаженості та ознак пластичного деформування в результаті вилучення ґрунту з під труби діаметром 108×4 мм (трубопроводу I) та над трубами діаметром 219×6 мм (трубопроводу II), було проведено вимірюванні значень коерцитивної сили. Вимірювання значень коерцитивної сили проводили структуроскопом КРМ-Ц-К2М, оснащеного датчиками з базами вимірювання 65 (D65) та 27 мм (D27).

Слід зазначити, що зміни структурного стану металу при навантаженні викликають суттєві зміни значень коерцитивної сили, які залежать від орієнтації полюсів магнітів датчика відносно досліджуваної поверхні труби, що дозволяє визначати наявність ознак пластичного деформування окремих ділянок виробів [7].

На рис. 5 приведено розподіл коерцитивної сили на ділянці трубопроводу I (діаметром 108×4 мм) від насосної станції до переходу у підземну частину. Поворот на 90° напрямку трубопроводу у горизонтальній площині умовно не показано для спрощення відображення на графіках розподілу значень коерцитивної сили по довжині наземної частини трубопроводу. Саму конструкцію обстеженої ділянки трубопроводу розглядали як нерозрізну балку. Зняття ґрунту на підземній частині та повернення до вихідного стану даної труби шляхом підйому домкратами її підземної частини і можлива наявність залишкових монтажних напружень викликає складний характер розподілу значень коерцитивної сили по довжині трубопроводу.

Суттєві розбіжності розподілу розрахункових напружень (див. рис. 3, а) та коерцитивної сили по довжині обстеженої ділянки трубопроводу I (рис. 5) можуть бути наслідком піддомкрачування підземної частини трубопроводу. Зміна співвідношень значень коерцитивної сили у повздовжньому та поперечному напрямках труби, у зоні прикладання зусилля домкрату, де $H_{\perp} > H_{\parallel}$, та решти зон, де $H_{\perp} < H_{\parallel}$, вказує на їх вплив на характер розподілу коерцитивної сили. Спільним для розподі-

лів напружень та коерцитивної сили поблизу зони піддомкрачування є наявність ділянок зменшення та збільшення їх абсолютних величин, тобто відсутність монотонності змін досліджуваних характеристик. По мірі віддалення від розкопаної частини трубопроводу – на ділянці трубопроводу від насосу до опори С розподіл значень коерцитивної сили набуває монотонного характеру.

Оскільки трубопровід виконано шляхом зварювання прямолінійних труб з використанням для зміни його напрямку кутових гинів, то коерцитивним діагностуванням було встановлено, що прямолінійні труби від насосів до першого кутового гину (опора С, поз. 0 – поз. 3,0 м) і після нього (поз. 3,5 – поз. 8,9 м) суттєво відрізнялись абсолютними значеннями коерцитивної сили. Суттєва різниця абсолютних значень коерцитивної сили металу труби на цій ділянці вказує на відмінності марок сталей використаних труб. Дана обставина викликає «стрибок» значень коерцитивної сили на графіках (рис. 5).

Окремо слід звернути увагу на розрахункові значення напружень, які виникли внаслідок вилучення ґрунту під трубою діаметром 108×4 мм трубопроводу I, які згідно даних на рис. 3, а у зоні поз. 8,9 м складають 2,34 МПа (1,35 % від $\sigma_{0,2}$), а у зоні опори (поз. 7,5 м) – 32,6 МПа (19 % від $\sigma_{0,2}$). За даними вимірів значень коерцитивної сили напруження у зоні поз. 8,9 м від вилучення ґрунту під підземною частиною трубопроводу I та повернення у вихідне положення шляхом піддомкрачування складають 27 % від умовної межі плинності металу, а відповідні напруження на опорі ОП11–1 (поз. 7,5 м) складають 22 % від умовної межі плинності металу.

Раніше проведеними експериментальними дослідженнями [7] було встановлено, що при пружному та пластичному деформуванні характер розподілу значень коерцитивної сили у двох взаємно перпендикулярних напрямках труби (епюри) має суттєві відмінності. Так при пружному деформуванні у навантаженому стані максимальні значення коерцитивної сили орієнтовані перпендикулярно напрямку навантаження (рис. 6, а, б [7]). А після пластичного деформування у розвантаженому стані максимальні значення коерцитивної сили орієнтовані у напрямку навантаження (рис. 6, в, г). Слід зазначити, що при переході від пружного до пластичного деформування при напруженнях, які перевищують умовну межу плинності, відбувається характерне різке підвищення

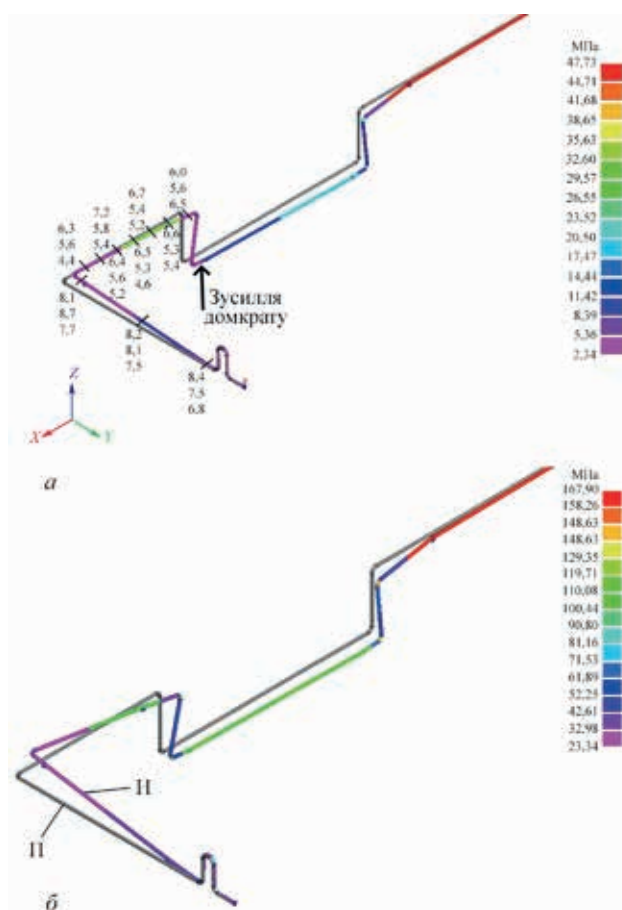


Рис. 3. Розрахункові еквівалентні напруження та значення коерцитивної сили (стовпчики значень H_c , виміряних датчиками D65, та D27 у повздовжньому та поперечному напрямках відповідно, в А/см): а – варіант 1; б – варіант 2. Положення трубопроводу: П – проектне; Н – під навантаженням

(«стрибок») приблизно у 2 рази максимальних значень коерцитивної сили та зміна їх напрямку на 90° .

На рис. 7, а приведені епюри коерцитивної сили в різних по довжині зонах наземної частини трубопроводу I (труба діаметром 108×4 мм) від насосної станції (поз. 0,0 м) до першого кутового гину (опора С, поз. 3,0 м) та в різних по довжині зонах від опори С (рис. 7, б, позиція 3,5 м) до переходу у підземну частину (поз. 8,9 м). Дані отримані при використанні датчика D27.

Відсутність суттєвих відмінностей значень коерцитивної сили у повздовжньому напрямку обстеженої ділянки трубопроводу I від насосної станції до переходу до підземної частини (особливо відсутність характерного «стрибка» при переході від пружного до пластичного деформування) вказує на відсутність ознак пластичного деформування. А не симетричність епюр у двох взаємно перпендикулярних напрямках трубопроводу I на ділянці від насосної станції до першого кутового гину, де розкид значень коерцитивної сили складає 13 %, та ділянці від опори С до переходу у підземну частину, де розкид значень коерцитивної сили складає 26 %, вказує на неоднорідність структури металу, пов'язану з пружним деформуванням труби. Відмінності абсолютних значень коерцитивної сили та їх розкид у напрямку трубопроводу (напрямку навантаження) ділянок від насосної станції до опори С та після



Рис. 4. Схеми ділянок та зони для вимірювання в перерізах I (а) та перерізах II (б) діаметрів труб у горизонтальній та вертикальних площинах

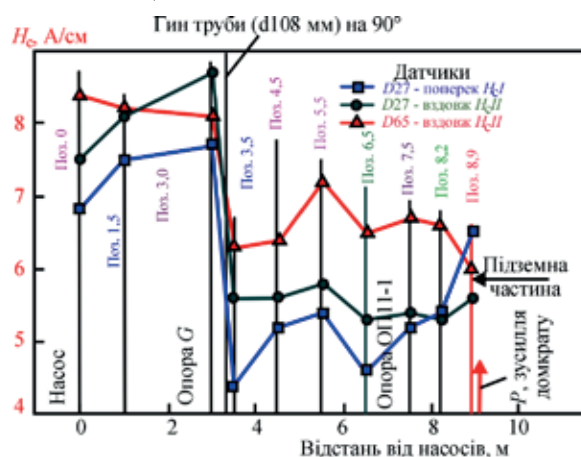


Рис. 5. Розподіл коерцитивної сили, виміряної датчиками D65 та D27 у повздовжньому (H_{\parallel}) та поперечному (H_{\perp}) напрямках на ділянці трубопроводу від насосної станції до переходу у підземну частину

ної з пружним деформуванням труби. Відмінності абсолютних значень коерцитивної сили та їх розкид у напрямку трубопроводу (напрямку навантаження) ділянок від насосної станції до опори С та після

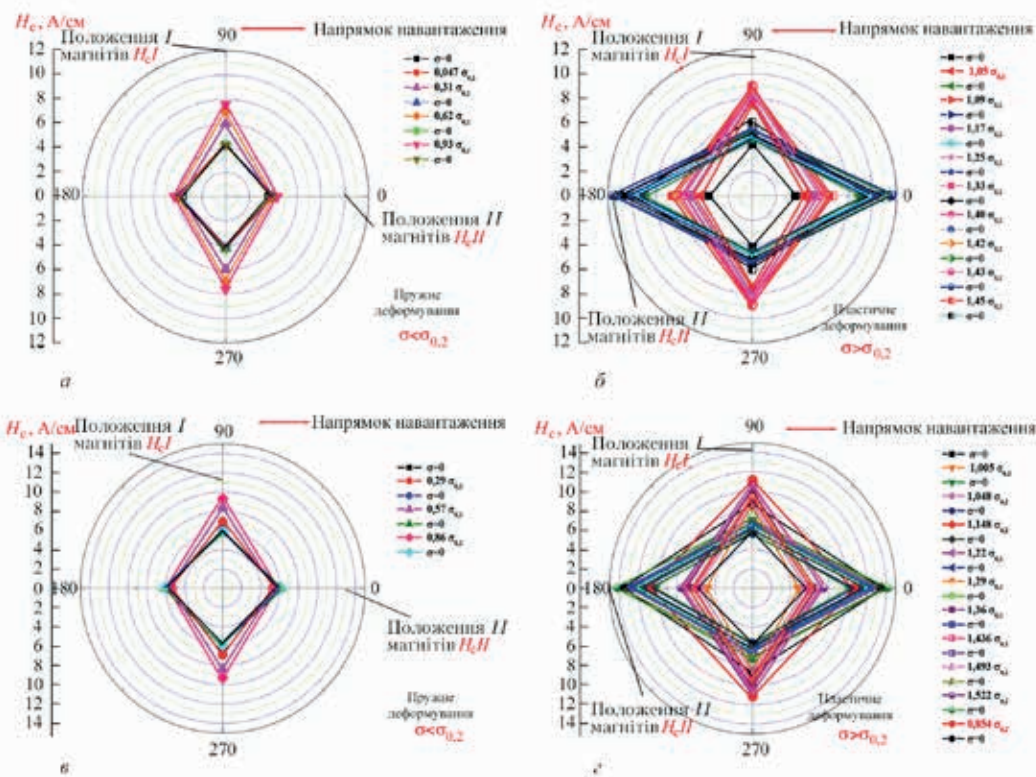


Рис. 6. Епюри коерцитивної сили по поверхні лабораторного зразка при ступінчатому пружному (а, б) та пластичному (в, з) деформуванні розтягом з розвантаженням на кожній ступені зразків із сталей Ст3 (а, в) та трубної сталі Х52 (б, з), де епюри H_c по поверхні зразка у двох взаємно-перпендикулярних напрямках при дії напружень (у навантаженому стані, $\sigma \neq 0$) відображені у червоних тонах, а у розвантаженому стані ($\sigma = 0$) – у темних тонах

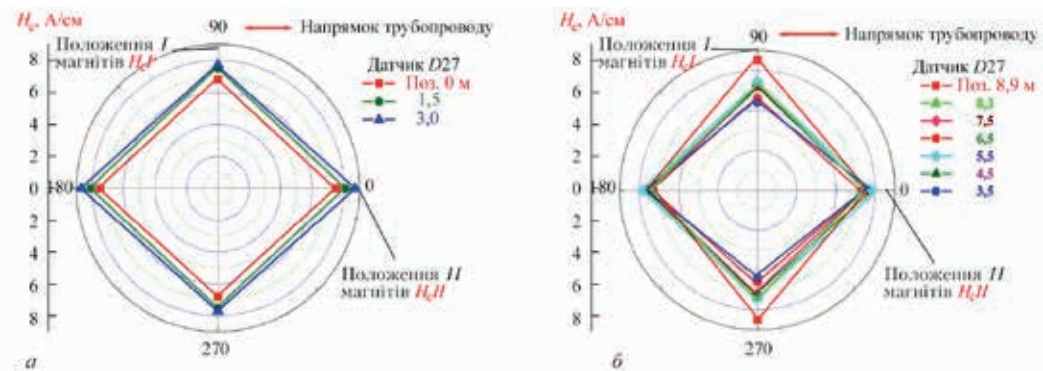


Рис. 7. Епюри коерцитивної сили в різних по довжині зонах наземної частини трубопроводу I від насосної станції до першого кутового гину (а) та в зонах від першого кутового гину до переходу у підземну частину (б)

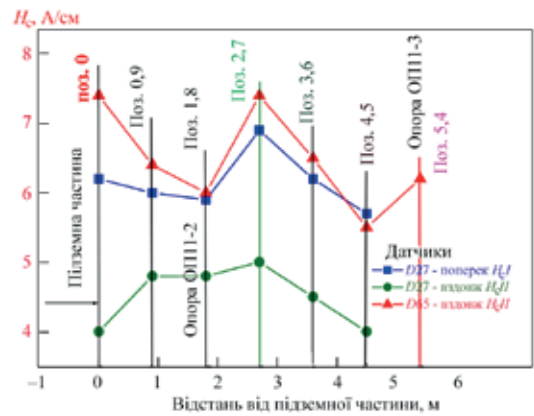


Рис. 8. Дані розподілу значень коерцитивної сили по довжині наземної частини трубопроводу II поміж опорами ОП11–2 та ОП11–3

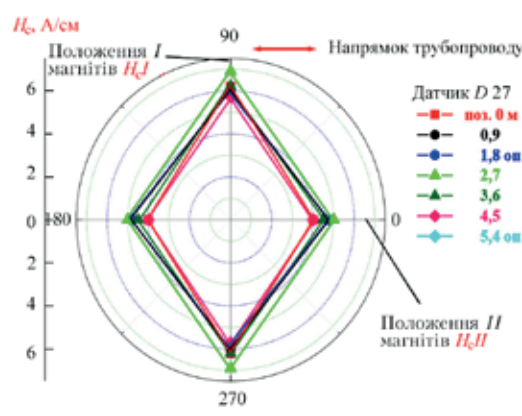


Рис. 9. Епюри коерцитивної сили в різних по довжині зонах наземної частини ділянки трубопроводу II від підземної частини до опори ОП11–3

неї пов'язані з використанням різних марок сталей, які мають свої особливості розподілу структурного стану металу по довжині трубопроводу.

На ділянці трубопроводу I від опори C до переходу у підземну частину зростання максимальних значень коерцитивної сили у напрямку, перпендикулярному повздовжньому напрямку труби, у зоні піддомкращування трубопроводу (рис. 7, б, позиція 8,9 м), вказує на наявність пружних напружень, які виникли при піддомкращуванні і складають приблизно 27 % від умовної межі плинності. Дана оцінка базується на даних рис. 6, б для трубної сталі X52, оскільки увесь діапазон змін значень коерцитивної сили від вихідного стану до моменту руйнування для феромагнітних вуглецевих сталей складає від 3,0 А/см (у вихідному стані) до 15 А/см (при руйнуванні). По мірі віддалення від місця дії прикладених зусиль від домкрату значення коерцитивної сили зменшуються (див. поз. 3,5 м, рис. 7, б).

В якості наступного об'єкта обстеження була обрана труба діаметром 219×6 мм наземної частини трубопроводу II, яка мала часткове відокремлення від опор після розкопки, але не підлягала примусовому поверненню у вихідне положення.

На рис. 8 приведені дані розподілу значень коерцитивної сили по довжині наземної частини трубопроводу II поміж опорами ОП11–2 та ОП11–3.

Зняття ґрунту із підземної частини до рівня її обпирання на ґрунт та можлива наявність залишкових монтажних напружень викликає складний характер розподілу значень коерцитивної сили по довжині трубопроводу. Слід зазначити на суттєві відмінності характеру розподілу значень коерцитивної сили по довжині трубопроводу I (діаметром 108×4 мм), де в основному $H_{\text{сп}} > H_{\text{с.л}}$ та трубопроводу II (діаметром 218×6 мм), де $H_{\text{сп}} < H_{\text{с.л}}$, які ймовірно пов'язані з жорсткістю труб різного діаметру, яка впливає на НДС.

На рис. 9 приведені епюри коерцитивної сили в різних по довжині зонах (позиції 0; 0,9; 1,8; 2,7; 3,6; 4,5 та 5,4 м) наземної частини ділянки трубопроводу II (труба діаметром 2196 мм) від підземної частини до опори ОП11–3. Дані отримані при використанні датчика D27.

Зростання максимальних значень коерцитивної сили в зоні наземної частини ділянки трубопроводу II (труба діаметром 219×6 мм, рис. 9) у напрямку, перпендикулярному повздовжньому напрямку труби, вказує на наявність пружних напружень, які складають приблизно 30 % від умовної межі плинності металу і приблизно відповідають аналогічним напруженням наземної частини трубопроводу I (труба діаметром 108×4 мм, рис. 7, б). Розкид значень коерцитивної сили на обстеженій ділянці трубопроводу II (діаметром 219×6 мм) у повздовжньому напрямку складає 25 %, який залежить від структурного стану

металу, вказує на неоднорідність структури металу в наслідок пружного деформування.

Висновки

Приведено приклад діагностування неруйнівними методами контролю технічного стану металу елементів трубопроводу нафтоосховища. Проведена оцінка навантаженості та пошкоджень обстежених ділянок трубопроводів, отриманих в результаті розкопки підземної частини трубопроводу нафтоосховища.

Встановлено, що рівень сумарних максимальних напружень металу труб найбільш навантажених (згідно розрахунків МСЕ) ділянок трубопроводів, отриманих спочатку при монтажу конструкції, а потім після розкопки та відновлення вихідного положення окремих елементів трубопроводу відносно опор складав менше 30 % від умовної межі плинності. Дана оцінка відповідає даним розрахунків НДС та узгоджується з результатами вимірювання овальності труб і відсутності локальних пластичних деформацій у найбільш навантажених зонах.

Таким чином, неруйнівними методами діагностування була підтверджена можливість подальшої експлуатації металу трубопроводів нафтоосховища після аварії, оскільки робочий тиск перекачуваного продукту не перевищує 0,3 МПа.

Сумісно з іншими експертами дана рекомендація провести діагностування зварних швів, особливо фланцевих з'єднань, де діяв максимальний згинаючий момент.

Коерцитиметричним діагностуванням встановлені відмінності використаних марок сталей окремих ділянок трубопроводів та дана оцінка їх структурного стану.

Представлені результати обстеження аварійної ділянки трубопроводів розширюють уявлення про можливість застосування неруйнівних методів контролю для оцінки накопичених пошкоджень в металах в умовах статичного та циклічного навантаження і можуть стати основою для розробки нових підходів до експресної оцінки залишкового ресурсу металу конструкцій простими неруйнівними методами.

Список літератури

1. Лепеш Г. В. (2015) Современные методы и средства диагностики оборудования инженерных систем зданий и сооружений. *Технико-технологические проблемы сервиса*, 4(34), 3–8.
2. Лепеш Г. В. (2015) Диагностика и комплексное обслуживание инженерно-технических систем и оборудования зданий и сооружений. *Там же*, 5(35), 6–16.
3. (1978) ГОСТ 8732–78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент.
4. ТУ 14–3–377 Трубы стальные сварные прямошовные для магистральных газо-нефтепроводов. Технические условия.
5. Комплекс программ АСТРА–МАГИСТР-2011. (версия 201010). Автоматизированный расчет магистральных трубопроводов на статическую и циклическую проч-

ность, на сейсмические воздействия, на вибропрочность и неустановившиеся динамические процессы в соответствии с требованиями Норм СНиП 2.05.06–85.

6. (1990) Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. АН УССР. ИЭС им. Е.О. Патона. Труфяков В.И. (ред.). Киев, Наукова думка.
7. Гопкало О.П., Безлюдько Г.Я., Котляренко А.А. та ін. (2020) Діагностування пошкодженості феромагнітних сталей при механічному навантаженні по результатам вимірювання коерцитивної сили. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 2, 13–21.

References

1. Lepesh, G.V. (2015) Modern methods and means for diagnostics of equipment of engineering systems of buildings and facilities. *Tekhniko-Tekhnologicheskie Problemy Servisa*, 4(34), 3–8 [in Russian].
2. Lepesh, G.V. (2015) Diagnostics and comprehensive servicing of engineering technical systems and equipment of buildings and facilities. *Ibid.*, 5(35), 6–16 [in Russian].
3. GOST 8732-78: Seamless hot-deformed steel pipes. Range of sizes [in Russian].
4. TU 14-3-377: Steel pipes welded straight-seam for the main gas and oil pipelines. Specifications [in Russian].
5. Software package ASTRA-MAGISTR - 2011 (version 201010). Automated computation of the main pipelines for static and cyclic strength, seismic impact, vibration strength and unsteady dynamic processes in keeping with the requirements of SNiP 2.05.06-85 norms [in Russian].
6. (1990) Strength of welded joints under alternating loads. Ed. by V.I. Trufiyakov. PWI. Kiev, Naukova Dumka.
7. Gopkalo, O.P., Bezlyudko, G.Ya., Kotliarenko, A.A. et al. (2020) Diagnosis of damage to ferromagnetic steels during mechanical loading by results of measurements of coercive force. *Tekh. Diahnost. ta Neruiniv. Kontrol*, 2, 13-21 [in Ukrainian].

FROM THE EXPERIENCE OF USING NON-DESTRUCTIVE CONTROL METHODS TO ASSESS THE TECHNICAL CONDITION OF THE PIPELINE EMERGENCY SECTION

O.P. Gopkalo¹, P.S. Yukhymets², G.Ya. Bezlyudko³, R.M. Solomacha³, V.O. Nekhotiashchiiy¹

¹G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of NAS of Ukraine. 2 Timiryazevska Str., 01014, Kyiv, Ukraine.

E-mail: ips@ipp.kiev.ua

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

³LLC «Special Scientific Developments». PO box 12036, 61184, Kharkiv, Ukraine

An example of diagnosing the technical condition of the emergency section of oil storage pipeline by non-destructive methods of control is given. Proceeding from the results of inspection of an emergency section of the pipeline (measurement of hardness, ovality of pipes and coercive force H_c) the characteristics of static strength of metal pipes were determined, and the relative load, structural condition of metal and level of damages were evaluated. Coercytimetric control showed that the level of total maximum stresses obtained first during the installation of the structure, and then after the accident and restoration of the initial position of the individual elements of the pipeline relative to the supports, was less than 30% of the conditional yield strength of metal. This estimate corresponds to the data of calculations of the stress-strain state (SSS) and is consistent with the results of measuring the ovality of the pipes and the absence of local plastic deformations in the most stressed areas. Coercimetric diagnostics revealed differences in the steel grades used in some sections of the pipeline. 7 Ref., 1 Tabl., 9 Fig.

Keywords: stress, strain, load, damage, structuroscope, coercive force

Надійшла до редакції 05.08.2020

ХІХ МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2020

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ

24 - 27
листопада























ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

Генеральний інформаційний партнер:



Ексклюзивний медіа партнер:

ЖУРНАЛ
ГОЛОВНОГО
ІНЖЕНЕРА

Технічний партнер:





Міжнародний виставковий центр
Україна, 02002, Київ
Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"

☎ (044) 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.mvc.ukr
www.tech-expo.com.ua