4 Нефтепромысловое оборудование. Справочник / под ред. Бухаленко Е.И. – М.: Недра, 1990.

5 Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Оборудование для добычи нефти и газа: В 2 ч. – М: ГПУ Изд-во “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. – Ч. 1 – 768 с.

УДК 621

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ’ЯЗКУ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРОМАГНЕТИКІВ НА ОСНОВІ МАГНІТОПРУЖНИХ ДАТЧИКІВ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ

Л.С. Шлапак, В.В. Циганчук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15 м. Івано-Франківськ, Україна, 76019 cigan@i.ua

В статті приводиться інформація про застосування манітного методу контролю напружено-деформованоо стану стальних металоконструкцій.

Ключові слова: магнітопружні датчики механічних напружень, напружено-деформований стан, феромагнітні конструкції.

1. **Вступ** Однією з найважливіших науково-технічних проблем нафтогазової галузі є забезпечення надійного та безперебійного функціонування систем магістрального трубопровідного транспорту. Для цього необхідний періодичний контроль технічного стану трубопроводів, в тому числі контроль напружено-деформованого стану (НДС) металу трубопроводів.

Контроль НДС металу в промислових умовах проводиться технічними засобами, які засновані на різних фізичних методах (акустичні, електромагнітні, магнітні і т. д.) [1].

В останні роки великий інтерес проявляється до магнітних методів контролю працездатності сталевих виробів і елементів металлоконструкцій, які засновані на кореляції структурно-чутливих магнітних параметрів і механічної напруги металу [2].

У практиці технічної діагностики сталевих виробів і металоконструкцій магнітний контроль НДС металу проводиться із застосуванням технічних засобів, заснованих на реєстрації величини магнітних шумів, магнітної анізотропії металу, коерцитивної сили і використанні магнітної пам'яті металу [3,4,5].

Однак існуючим методам і технічним засобам магнітного контролю НДС металу властиві ряд недоліків: однозначність індикаторів механічної напруги металу по магнітним шумам і магнітній анізотропії металу лише в області пружної деформації і їх невизначеність в області пластичної деформації металу; значна похибка (в середньому близько 30%) оцінки величини механічного напруження металу при пружних деформаціях в умовах практичного застосування магнітної структуроскопії; необхідність заходів порівняння НДС металу; відсутність технологічних регламентів магнітного контролю працездатності сталевих виробів (крім підйомних пристроїв і посудин, що працюють під тиском) [6]. Все це знижує ефективність магнітного контролю НДС металу і оцінки працездатності сталевих виробів і металоконструкцій .

У зв'язку з цим дослідження і розробка методу локального магнітного контролю НДС металу елементів корпусного обладнання та металоконструкцій є актуальним завданням.

2. **Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій**

Вплив експлуатаційного навантаження на кінетику накопичення пошкоджень сталей магістральних трубопроводів досліджено у працях Є.І. Крижанівського, Л.С. Шлапака, О.М. Карпаша, М.О. Карпаша, Ю.В. Банахевича, Д.Ю. Петрини. та ін.

Істотний внесок в розвиток фізичних методів контролю НДС металу внесли російські і зарубіжні вчені: Клюєв В.В., Горкунов Е.С., Мужицький В.Ф., Новиков В.Ф., Дубов А. А., Сандомирський С.Г., Венгринович В.Л., Hauk V., Santish S., Withers PJ, і ін.

Зокрема, вивченню впливу анізотропії матеріалу трубних сталей на оцінювання величини напружень ультразвуковим методом присвячена робота [7], а магнітним методом – [8].

Розвитку теорії, створення методів та засобів визначення ресурсу безпечної експлуатації трубопроводів магнітними методами присвячена робота Кузнецова А.Н.[3]

Питанням дослідження впливу дефектів на НДС магістральних нафтопроводів займалися ряд авторів: А.Я. Недосека, С.К. Фомичев, С.Н. Минаков та інші [9].

Основою неруйнівного магнітоанізотропного методу контролю механічних напружень є залежність магнітної проникливості феромагнітних матеріалів вимірюваних об'єктів від їх пружного стану. Розробниками на сьогодні пропонується декілька видів виконання системи для вимірювання механічних напружень ділянок магістральних трубопроводів та металоконструкцій.

Дослідження залежності магнітних характеристик феромагнетиків від пружних зусиль і пластичних деформацій розглядалося в роботах Вонсовского С.В., Кондорского Е.И., Максимочкина В.И., Мехонцева Ю.Я., Ландмана Р., Керстсна М., Тікадзумі С [10].

3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Проблема зменшення впливу зазору на результати вимірювань, що є основною перешкодою при використанні всіх без винятку приставних магніто контактних перетворювачів.

Відомо, що зміна магнітного опору зазору в стільки разів підвищує похибку вимірювань, у скільки разів магнітна проникність досліджуваного металу більша за магнітну проникність середовища зазору.

Вплив зазору, форми і розмірів об'єктів на результати вимірювання магнітних властивостей речовини розглядались в роботі [5]

4. **Постановка задачі**

Практичне використання магнітних методів контролю неможливе без створення первинних перетворювачів, методик перетворення вимірюваного параметра в електричний сигнал і обробки корисного сигналу [11]. У цій частині, як і в інших методах неруйнівного контролю, важливе значення мають роботи по вдосконаленню способів отримання інформації, її накопичення, обробки, архівування та документування [12].

Мета даної роботи - дослідження вихідних характеристик накладних перетворювачів при їх взаємодії з поверхнею об'єкта контролю з урахуванням конструкції перетворювачів і параметрів, що впливають на реєстровані сигнали [13].

Дослідити вплив кута повороту осі датчика, локальних змін електромагнітних властивостей та інших факторів, що впливають на параметри перетворювача.

3. **Основний матеріал**

Принцип дії магнітопружних датчиків заснований на використанні магнітопружного ефекту - фізичного явища, що полягає у зміні магнітних властивостей феромагнітних матеріалів під дією механічних сил.

Переваги магнітопружних датчиків проявляються в найбільшій мірі при вимірюванні параметрів об'єктів, що працюють в важких умовах експлуатації (прокатні стани, шахтні підйоми, бурові установки і т. п.)

Конструктивними елементами датчика, здійснюючими механічне перетворення, є зовнішній механічний перетворювач і чутливий елемент. За допомогою зовнішнього механічного перетворювача вимірювальний параметр може змінюватися за величиною, знаком або видом.

Аналіз конструктивних схем відомих магнітопружних датчиків дозволяє виділити дві основні групи:

1. Магнітопружні датчики, в яких використовується зміна магнітних характеристик матеріалу чутливого елемента в якому-небудь одному або двох взаємно перпендикулярних напрямках. До них відносяться магнітопружні датчики:

- електричного опору;
- дросельного;
- мостового;
- диференційно-трансформаторного;
- шунтового типів.

2. Магнітопружні датчики, в яких використовується зміна ступеня магнітної анізотропії матеріалу чутливого елемента. До них відносяться :

- магнітоанізотропні;
- сельсині датчики трансформаторного типу.

Принцип дії МД дросельного типу (рисунок 1, а) заснований на зміні повного електричного опору котушки 1, що живиться змінним струмом і створюючий магнітний потік в чутливому елементі 3, до якого прикладено вимірюване зусилля.

У магнітопружному датчику електричного опору (рис.1, б) через електроди 1 до чутливого елементу підводиться змінний струм, а за допомогою електродів 2 вимірюється падіння напруги на ділянці чутливого елемента 3, яке при незмінному струмі пропорційно електричному опору цієї ділянки.

Принцип дії магнітопружного датчика мостового типу (рис.1, в) заснований на вимірюванні різниці повних електричних опорів котушок 1, магнітні осі яких взаємно перпендикулярні.

У магнітопружного датчика шунтового типу (рис.1, г) при відсутності вимірюваного зусилля магнітний потік, створений котушкою збудження 1, замикається в основному через магнітопровід, не охоплений вимірюваною котушкою.

Під дією вимірюваного зусилля магнітний опір магнітопровода 3, виготовленого із матеріалу з позитивною магнітострикцією, в осьовому напрямку зростає, і частина потоку,обумовлена величиною вимірюваного зусилля, відгалужується в шунтувальний магнітопровід, охоплений вимірювальною котушкою 2, з якої знімається вихідна напруга.

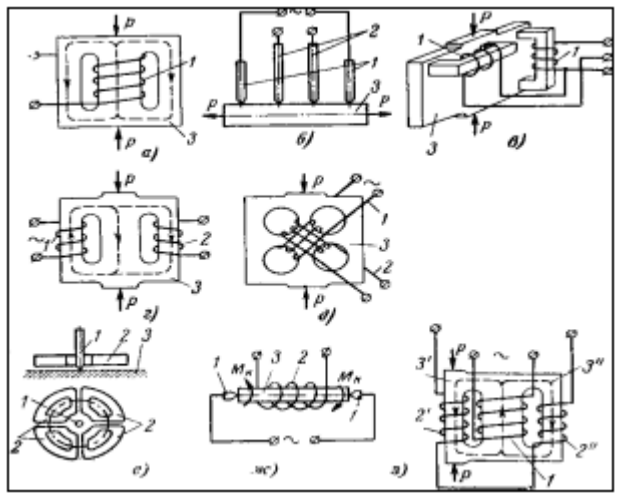

Рис. 1. Конструктивні схеми відомих магнітопружних датчиків

У котушечному магнітоанізотропному датчику (рис.1, д) сумарний вектор магнітного потоку, зчепленого з котушкою збудження 1, спрямований всередині чутливого елемента 3 під кутом 45 ° до векторів головних механічних напружень. Магнітна вісь вимірювальної котушки 2 розташована перпендикулярно до осі котушки збудження, завдяки чому при відсутності навантаження, яке вимірюють і повної магнітної ізотропності матеріалу чутливого елемента потокозчеплення з вимірювальною котушкою 2, а отже, і коефіцієнт взаємоіндукції дорівнюють нулю.

У електроднокотушечному анізотропному датчику (рис. 1, е) через електрод 1 підводиться змінний електричний струм до чутливого елементу 3; в останньому виникають магнітні потоки розсіювання, зчеплені з вимірювальними котушками 2. Котушки 2 з`єднанні зустрічно, тому при повній магнітної ізотропності матеріалу індуковані в цих котушках е.р.с. рівні між собою і вихідна напруга датчика дорівнює нулю.

Магнітна анізотропія, яка виникла наслідок механічних напружень, призводить до розбалансу схеми і до появи вихідної напруги.

У електродно-котушечному анізотропному датчику (рис. 1, ж) всередині чутливого елемента 3 при пропущенні через нього змінного струму створюються циркулярні магнітні потоки, які при повній магнітний ізотропності матеріалу не зчеплені з вимірювальною котушкою 2. При скручуванні чутливого елемента в цій котушці наводиться е. р. с, тобто, що є функцією вимірюваного крутного моменту.

У магнітопружних датчиках диференційно-трансформаторного типу (рис. 1, з) магнітний потік, зчеплений з котушкою збудження 1, розгалужується на два потоки, перший з яких пронизує магнітопровід 3" з одним, а інший потік – магнітопровід 3' з відмінним від нього характером зміни

магнітних характеристик під дією вимірювального навантаження. Один з цих магнітопроводів умовно названий чутливим, а інший – компенсаційним елементом.

Вибір типу та конструктивної схеми МД визначається вимогами, яким він повинен відповідати.

До числа цих вимог належать:

1. Велика потужність вихідного сигналу.
2. Перетворення механічної напруги, що виникають у рухомих деталях. У цих випадках з метою підвищення надійності зазвичай застосовуються безконтактні МД, а чутливий елемент виготовляється з суцільного матеріалу .
3. Технологічність виготовлення, а також малий розкид вихідних характеристик при серійному виготовленні МД. Цим вимогам більшою мірою відповідають МД з циліндричними чутливими елементами.
4. Лінійність перетворення. Оскільки магнітопружне перетворення має принципово нелінійний характер, то найбільш доцільним є застосування тієї схеми МД, яка забезпечить можливість лінеаризації вихідної характеристики. Кращі результати в цьому відношенні отримані для безконтактних МД трансформаторного та диференційно-трансформаторного типів. Метрологія та вимірювальна техніка

У МПП використовується магнітопружний ефект, який проявляється в тій чи іншій мірі у всіх феромагнітних матеріалів і полягає в зміні магнітних властивостей феромагнітних матеріалів під дією пружних механічних напруг. Спільне використання трансформаторного МПП і магнітоанізотропного перетворювача (МАП) з датчиком Хола дозволило розробити багатофункціональні датчики механічних величин.

Основний вимірювальний блок приладу - магнітопружний датчик (перетворювач), який являє собою перетворювач трансформаторного типу, первинна обмотка якого є обмоткою намагнічування, а вторинна – індикаторною. Прилад створює магнітний потік у контрольованому металі й реєструє величину його зміни. Величина зміни магнітного потоку пропорційна діючим у виробі значенням пружних механічних напруг.

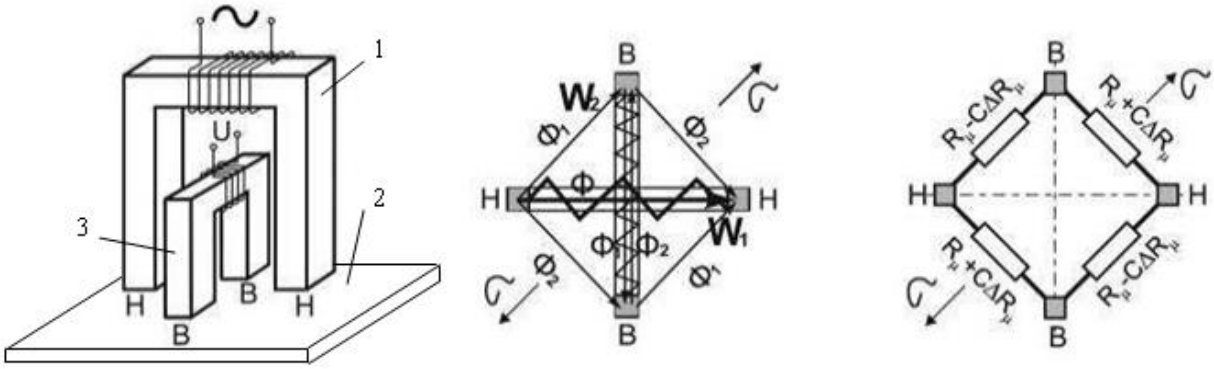

Рис.2. Первинний перетворювач Мехонцева

На рис. 2 наведена схема розповсюдженого перетворювача для вимірювання анізотропії магнітних властивостей, розробленого Ю.Я. Мехонцевим. Перетворювач складається з двох П-подібних сердечників - намагнічуючого 1 і індикаторного 3 з нанесеними на них обмотками (збудження і індикаторна) і розташованими один над іншим так, що сліди полюсів на випробуваному листі 2 утворюють квадрат. У разі вимірювання магнітоізотропного ненапруженого матеріалу полюси сердечника з індикаторної обмоткою знаходяться в еквіпотенційних точках і напруга на вимірювальній обмотці дорівнює нулю. При наявності механічної напруги в металі змінюються умови проходження магнітного потоку між полюсами і в вимірювальної обмотці виникає ЕРС, по якій можна судити про значення механічної напруги.

Основна мета застосування подібних пристроїв - вимір відносного значення магнітних характеристик поверхні металу для двох заздалегідь обраних напрямків, які визначаються при повороті навколо вертикальної осі встановлених на метал перетворювачів. При плоскому напруженому стані головні напруження розташовані під кутом 90 ° один до одного, і перетворювач

магнітної анізотропії повинен порівнювати магнітні властивості також в цих координатних напрямках.

Перетворювачами магнітної анізотропії можна вимірювати різницю нормальних напружень по двох взаємно перпендикулярним напрямам і відповідні їй дотичні напруження.

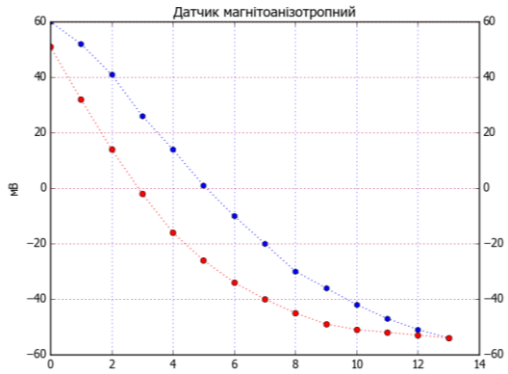

Рис.3. Тарувальна характеристика накладного магнітоанізотропного перетворювача

Методика вимірювань, як правило, передбачає калібрування приладів на зразках (рис.3), ідентичних за хімічним складом, термообробці і підготовці поверхні, з деталлю, на якій будуть проводитися вимірювання. Відхилення від цих вимог збільшують помилки, і без того чималі. Вимірювання обмежені пружними напруженнями приблизно до половини межі текучості. Далі помилки різко зростають. Застосування перетворювачів обмежена виміром різниці головних напружень. Роздільне вимірювання головних напружень в даний час дуже складно здійснити.

Удосконалення магнітопружного перетворювача в теперішній час йде в основному шляхом пошуку матеріалів, що поєднують високу тензочутливість, стабільність коефіцієнта перетворення і високу механічну міцність.

Застосування датчиків Холу в значній мірі зменшує вплив потоків розсіювання, створюваних обмоткою збудження, на вихідний сигнал трансформаторного магнітопружного перетворювача.

Магнітоанізотропні перетворювачі відрізняються високою стабільністю і невеликою похибкою.

6. **Висновки**

Встановлено взаємозв'язок між параметрами дефекту і реєстрованими сигналами магнітного датчика з урахуванням впливу параметрів, що впливають на реєстровані сигнали.

Отримано градуювальні характеристики з урахуванням впливу параметрів дефекту при різних режимах контролю, взаємного розташування датчика і об'єкта контролю (ОК), електромагнітних властивостей металу.

Отримано алгоритми розрахунку залежностей і діаграм для дефектометричної оцінки поверхневих дефектів.

Дано рекомендації по розміщенню обмоток на осерді і виборі їх параметрів.

7. **Література**

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: В 3 кн. Кн. 1: Магнитные методы контроля. /В.В. Клюев, В.Ф. Мужицкий, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. Кн. 2: Оптический контроль. /| В.Н. Филинов, А.А. Кеткович, М.В. Филинов. Кн. 3: Радиоволновой контроль. /В.И. Матвеев. - М.: Машиностроение, 2004. - 832 с.: ил.

2. Орехов Г.Т. Связь магнитоупругого эффекта с напряжением и деформациями при плоском напряженном состоянии ферромагнитных материалов // Дефектоскопия.- 1975.- №3.- С. 100 -105.

3. Кузнецов А.Н. Развитие теории, создание способов, средств и технологии определения ресурса безопасной эксплуатации трубопроводов магнитными методами неразрушающего контроля : диссертация доктора технических наук :- Москва, 2013.- 211 с.: ил.

4. Применение магнитных методов для оценки нагруженности и поврежденности стали Х70. Э.С. Горкунов, С.Ю. Митропольская, Д.И. Вичужанин, Е.А. Туева. Физическая механика 13 1(2010).

5. Василенко О.Н. Методы и средства многопараметровой магнитной структуроскопии изделий с использованием составных разомкнутых магнитных цепей. Автореферат. Екатеринбург, 2014.

6. Гуманюк М.Н. Магнитоупругие датчики в автоматике. Киев, «Техніка», 1965. – 154 с.

7. Вплив анізотропії трубних сталей на оцінювання напруженого стану ультразвуковим методом / Шлапак Л.С., Коваль В.М., Олійник А.П., Дніпренко В.М., Марчук Я.С. // Нафтова і газова промисловість, 2003. - №1.

8. Горкунов Э.С., Мушников А.Н., Задворкин С.М., Якушенко Е.И. Влияние упругой деформации растяжением (сжатием), кручением и гидростатическим давлением на магнитные характеристики трубной стали 09Г2С. ISSN 1310-3946. Научни известия на НТСМ, 2012.

9. А.Я. Недосека, С.К. Фомичев, С.Н. Минаков, А.И. Степаненко, М.Я. Яременко. Особенности измерения механических напряжений электромагнитным методом в трубопроводах и сосудах давления газового и нефтяного комплексов. Методические материалы. ISSN 0235-3474. ТД и НК, 1996, №1

10. Мехонцев Ю. Измеритель упругих напряжений. Радио №5, 1958.

11. Шевченко Г.И. Магнитоанизотропные датчики М.: Энергия, 1967. 72с.

12. К.Г. Радутна, А.М. Науменко. Дослідження принципів побудови манітопружних датчиків механічних напружень з використанням ефекту Хола. Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил, 2012, вип.4(33).

13. Шлапак Л.С., Циганчук В.В. Модернізація електромагнітного вимірювача механічних напружень. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання». 2014 р., м Івано-Франківськ

УДК 622.245.73

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАННЯ ПРОТИВИКИДНОГО ОБЛАДНАННЯ

І.В.Костриба[1], Ю.Р. Мосора[1], М.А. Дорохов [2]

[1]ІФНТУНГ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, no@nung.edu.ua

[2] ТОВ "ДТЕК Нафтогаз", вул. Льва Толстого, 57, м. Київ

Противикидне обладнання є важливою складовою частиною фонтанної безпеки при спорудженні, освоєнні та ремонті нафтових і газових свердловин.

Основна вимога до противикидного обладнання – забезпечення високої герметизаційної здатності, яка визначається рядом чинників: рівнем досконалості конструкції складових частин противикидного обладнання; дотриманням регламентованих норм і правил його монтажу та випробування; кваліфікованим технічним обслуговуванням; своєчасною перевіркою технічного стану.

Одним із найбільш достовірних способів перевірки якості і технічного стану противикидного обладнання є випробування, які зазвичай проводяться на всіх етапах життєвого циклу: в процесі виготовлення; до і після монтажу; під час експлуатації та ремонту. Однак, слід зазначити ряд технічних проблем, що мають місце в окремих бурових і нафтогазовидобувних підприємствах нафтогазової галузі, а також машинобудівних підприємствах при плануванні та проведенні тих чи інших випробувань противикидного обладнання. До таких слід віднести, перш за все, відсутність сучасних атестованих випробувальних установок та стендів (наявні випробувальні технічні засоби часто не відповідають чинним вимогам безпекових нормативних документів). На ремонтнопрокатних базах деяких бурових і нафтогазовидобувних підприємствах взагалі відсутні стенди для випробування противикидного обладнання, а випробування проводяться з допомогою пересувних насосних установок, призначених для нагнітання технологічних рідин в свердловину. Останні з причин невідповідності режимних параметрів взагалі не рекомендується використовувати для гідравлічних випробувань виробів з малим об’ємом випробувальних порожнин (превенторів, засувок, дроселів, хрестовин тощо).

Відсутня також нормативна база та технічні засоби для ресурсних випробувань вузлів ущільнення плашкових та універсальних превенторів, що необхідно для удосконалення їх конструкції, підвищення надійності роботи.