

**ІНФОРМАЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ МАГНІТОСТАТИЧНИХ МЕТОДІВ
ДІАГНОСТУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ (НДС)
ТРУБОПРОВОДІВ. ЧАСТИНА ІІ.**

© Білобородченко В.І., 2014

The questions of informative power of the magnetic-static diagnosing of tense-deformed state of pipe constructions are considered on size of a -coefficient of magnetic heterogeneity in relation to grounds of main tensions

Магістральні трубопроводи є енергонапруженими об'єктами, відмова яких супроводжується значними матеріальними та екологічними втратами. Таким чином, надійність безпечної експлуатації трубопровідного транспорту, який працює під тиском, повинна гарантуватися запасом міцності при заданих умовах роботи.

Розрахунок на міцність такої конструкції принципово не може врахувати всіх експлуатаційних чинників, що можуть виникнути в часі його роботи. Непроєктні навантаження геологічного, механічного, електро - хімічного ін. типів в поєднанні з утвореними експлуатаційними дефектами, що можуть доповнюватися не виявленими під час контролю монтажно – будівельних робіт ненормованими відхиленнями, стають причиною руйнування трубопроводів [1..,3].

Визнається, що найбільш впливовими чинниками різкого зменшення ресурсу таких об'єктів є стрес – корозія та зміна напружено – деформованого стану (НДС) матеріалу конструкції, що утворюють локальні зони критичних напружень (ЗКН). Найважливішою складовою, з рештою рівних умов, вважається НДС та його зміна під впливом експлуатаційних та природно – кліматичних факторів [1..,3].

Останнє вимагає постійного моніторингу робочого стану трубопроводів, що виконується за такими основними напрямками: 1. Моніторинг технічного стану; 2. Моніторинг напружено – деформованого стану; 3. Геодезичний моніторинг. Для цього застосовуються низка технічних засобів, серед яких чинне місце займають непрямі магнітні методи контролю, котрі базуються на встановленій кореляційній залежності між магнітними та механічними параметрами матеріалу [3]. Такі методи та їх технічне забезпечення мають низку переваг, особливо на ранніх стадіях оцінки НДС: 1. Можливість контролю без виведення трубопроводу з експлуатації (робочий рівень навантаження стінки труби); 2. Достатня продуктивність контролю в польових умовах; 3. Принципова можливість безперервного дистанційного спостереження.

Для оцінювання біжучого стану НДС використовуються такі магнітні ефекти: 1. Магнітні шуми; 2. Магнітна пам'ять; 3. Магнітна анізотропія; 4. Залишкова намагніченість; 5. Магнітна проникність; 6. Коерцитивна сила. Роботи проведені в області магнітоструктурної дефектоскопії [2] дозволили встановити закономірності між магнітними та фізико – механічними властивостями основних конструкційних матеріалів. Таким чином за зміною магнітних параметрів матеріалу можна відстежувати динаміку зростаючої ушкодженості трубопроводу в умовах експлуатації.

Одним з ефективних магнітних параметрів за відгуком на зміну НДС визнається коерцитивна сила H_c (А/см), оскільки є найбільш чутливою до зміни рівня інтенсивності та локалізації дислокаційних полів в металі і достатньо пропорційною від механічних властивостей матеріалів (ГОСТ 30415 - 96). Величина коерцитивної сили є інтегральною від всіх типів напружень, що діють у навантаженому об'єкті: 1. Напруження третього роду - обумовлені тонкою структурою матеріалу – склад та тип кристалічної ґратки, розподіл та інтенсивність зміни полів дислокацій і домішків; 2. Напруження другого роду - обумовлені термо – деформаційним циклом зварювання або інших термічних процесів; 3. Напруження першого роду пов'язані з експлуатаційним тиском робочого тіла в трубопроводі.

Відповідно суперпозиція таких напружень, в залежності від знаку полів залишкових механічних напружень спричинених попередніми процесами технологічного оброблення конструкції, може по різному впливати на вимірне значення коерцитивної сили навіть в області пружних деформацій.

Проте прикладні методики оцінювання НДС за магнітними параметрами матеріалу також володіють значними недоліками [2,3]: 1. Достатньо однозначна кореляція за рівнем механічних напружень та магнітними відгуками в області пружних напружень втрачається і результати стають не певними при переході навантаження в область пружно – пластичних та пластичних деформацій матеріалу; 2. Неоднозначність виявлених закономірностей зміни величини напруженості поля залишкового намагнічування при зростанні механічних деформацій в пружній області; 3. Відповідно значна похибка вимірювань (30%) та визначення дійсних напружень в матеріалі за вимірюванням коерцитивної сили; 3. Відсутність технологічних регламентів контролю за магнітними параметрами; 4. Відсутність строгої розрахункової оцінки надійності потенційно небезпечних ЗКН конструкції.

Вищезазначене утруднює використання програмних комплексів для прогнозування експлуатаційної надійності трубопроводів. Тим не менше, в практиці діагностування біжучого стану НДС та виникнення локальних ЗКН таких об'єктів використовуються методи, що базуються на визначенні коерцитивної сили H_C (А/см) нормально H_{\perp} та вздовж осі навантаження H_{\parallel} труби, співвідношення яких оцінюється розрахунковими коефіцієнтами a_1, a_2 [4]

$$a_2 = \Delta H_C = H_{\perp} - H_{\parallel}; \quad a_1 = \frac{H_{\perp} - H_{\parallel}}{H_{\perp} + H_{\parallel}} \quad (1)$$

У роботі [4,5] запропонований підхід, який дозволяє спрогнозувати НДС та розвиток ЗКН, а також оцінити інформаційну спроможність методу непрямих магнітних спостережень за розрахунковим коефіцієнтом a_1 . Проте не наведені: 1. Коректне обґрунтування статистичного підходу до модельного опису зв'язку між коефіцієнтними показниками коерцитивної сили та напруженим станом матеріалу; 2. Не розкриті умови перенормування вихідних даних для створення фізично – імовірнісної моделі загального виду $a_i = f(H_{j,k}; \sigma_n)$, де $a_i, i = 1,2$ – відповідні коефіцієнти; $H_{j,k}$ – відповідне значення коерцитивної сили нормально та вздовж осі труби виміряні при σ_n напруженні у стінці стендової труби; 3. Не вказані статистично надійні поля достовірності модельного опису.

Мега роботи полягає в обґрунтуванні можливості використання фізично - імовірнісних моделей, створених на базі розрахункового коефіцієнту a_2 , для прогнозування величини НДС трубної оболонки, що знаходиться під різним внутрішнім тиском, визначенні інформаційної спроможності таких моделей.

Виклад основного матеріалу. За основу прийняті результати вимірювань показників коерцитивної сили та розрахункового коефіцієнта a_2 (рис. 1.2) для трубних матеріалів на випробувальному стенді за методикою викладеною попередній роботі [4].

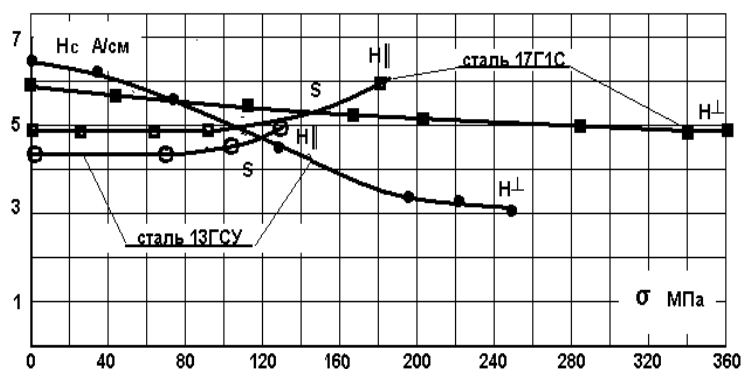


Рис.1. Залежність коерцитивної сили H_C при вимірюванні відносно головних площин напружень. (позначення у тексті).

Розраховані кореляційні моменти для даних матеріалів

$$\eta^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y}_{\text{int}} - \bar{y})^2}{(n-1)S^2}, \quad (2)$$

де \bar{y}_{int} - відповідно значення коефіцієнту a_2 для даного інтервалу задавання зусилля навантаження; \bar{y} - усереднене за масивом n - даних значення цього коефіцієнту; S^2 - дисперсія дослідних даних становлять: сталь 13ГСУ: $\eta_{H\perp} = 0,44$, $\eta_{H\parallel} = 0,40$; сталь 17Г1С: $\eta_{H\perp} = 0,194$, $\eta_{H\parallel} = 0,78$ і демонструють нелінійний характер зміни магнітних характеристик матеріалу при зростанні НДС, а ніж вказано у [2].

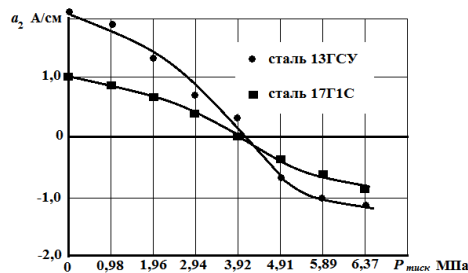


Рис.2. Залежність розрахункового коефіцієнта a_2 від внутрішнього тиску.

Подальший розрахунок модельних аналогів оцінювання НДС за коефіцієнтом a_2 базується на наступних положеннях: 1. Надійність будь – якої системи є величиною імовірнісною, а тому будь – яка модель її коректного опису, базована на вибірці рандомізованих вимірювань з певною статистичною надійністю, є стохастичною і може бути строго викладена за відомими й прийнятними для досліджуваної системи імовірнісними законами, зокрема щільністю розподілення. 2. Для експлуатованих технічних систем з незворотною зміною надійності процеси її втрати описуються класом експоненціальних розподілень; 3. Відповідно теорії Лапласа для тонких оболонок напруження в них є інваріантними до вектора прикладання навантаження, а еквівалентні напруження в таких оболонках, оскільки радіальна та меридіональна їх складові значно перевищують прикладене зусилля визначаються ІУ теорією міцності. 4. Результати вимірювань коерцитивної сили при навантаженні такої оболонки зовнішнім тиском є дуплетом з таким самим статистичним розкидом результатів. 5. Таким чином, стохастична функціональна залежність $a_2 = f(\sigma)$ є симетрична відносно осі a_2 і може бути приведена, шляхом перенормування, до стандартного центрально – симетрованого розподілення щільності ймовірності $p(x)$ зміни напруженого стану матеріалу оболонки, що характеризується його магнітними властивостями і описується класом експоненціальних моделей виду [*]

$$p(x) = \frac{\alpha}{2\lambda\sigma\Gamma(1/\alpha)} \exp\left(-\left|\frac{x-x_c}{\lambda\sigma}\right|^\alpha\right), \quad (3)$$

де $\lambda = \sqrt{\frac{\Gamma(1/\alpha)}{\Gamma(3/\alpha)}}$ - гама – функція; σ – середнє квадратичне відхилення (с.к.в.); x_c –

координата центру розподілення змінної x ; α – характерна для даного розподілення постійна.

Модель (3) спирається на основне розподілення математичної статистики – гама, що за фізичною моделлю, в даному випадку, визначає інтервал зміни навантаження на оболонку, необхідний для появи наступної α – події (зміна коерцитивної сили) з умови їх незалежності та постійній їх інтенсивності λ . При $\alpha \neq 1$ виконується умова розподілення Ерланга, фізична модель якого – розподіл (ширина інтервалу зміни зусилля навантаження на оболонку) між першою оцінкою стану оболонки за коерцитивною силою та наступною його оцінкою.

[*] – список джерел для статистичного аналізу даних надано у [4].



Рис.3. Руйнівні випробовування внутрішнім тиском труби (діаметр 300мм, товщина стінки 8мм, матеріал сталь 17Г1С): а – приладна база коерцитиметри КРМ-Ц-К2М; б – деформування труби при виході за зону пропорційних напружень; в – руйнування при досягненні межі міцності та вичерпання запасу пластичності матеріалу.

При перенормуванні масиву - вибір масштабу системи координат для модельного опису полігону розподілення дослідних даних прийняте до уваги наступне: 1. При досягненні матеріалом оболонки труби напружень відповідних області пластичного течіння значення коерцитивних сил від радіальної та твірної складових напружень інваріантні до зростання випробовувального тиску до повного руйнування оболонки (рис.1,3). 2. Відповідно, незмінними лишаються описові коефіцієнти a_i співвідношення величин коерцитивних сил. 3. Мінімізація можливості утворення полігону розподілення дослідних даних, що описується моделлю з «важкими хвостами». Останнє означає виникнення більших відхилень від середнього розподілення дослідних даних, яке, за суттю, є початковим базовим вимірюванням значень складових коерцитивної сили за векторами напружень в стінці труби при ненавантаженому внутрішнім тиском стані (дійсні напруження лише від власної ваги та такі, що забезпечені попереднім технологічним впливом на матеріал і такі, що приладно фіксуються як магнітна передісторія матеріалу). 4. Розподілення з «важкими хвостами» не виключає, що створена на її підставі фізично - ймовірнісна модель опису зміни магнітних характеристик матеріалу оболонки під дією навантаження буде практично моделлю забруднення (модель грубих помилок) – розподіл даних являє собою суміш основного (дійсного) розподілення $\phi(\sigma)$ з іншим забруднюючим розподіленням $h(\sigma)$ тобто $p_\varepsilon(\sigma) = (1 - \varepsilon)\phi(\sigma) + \varepsilon h(\sigma)$, де ε - похибка моделі. Невиконання цієї умови вимагає застосування робастних методів обробки даних або залучення процедури аналізу результатів за зрізаним середнім.

Аналіз набору дослідних даних та практика застосування запропонованого підходу зі створення фізично – ймовірнісних моделей демонструють, що для вибору системи координат достатньо використовувати такі умови: 1. Для кодування розрахункового коефіцієнту a_2^k - нульове його значення повинно бути максимально наближене до найменшої його дослідної величини в області експерименту, проте не менше максимального відхилення від максимального вимірюного значення з урахування систематичної похибки приладної бази. Для кодування напружень σ_i^k ширина Δ стовпців гістограми розподілення зміни напруженого стану стінки труби обирається з умови $m_{\min/\max} = (0.55, 1.15)n^{0.4}$, де n – число дослідних даних, m – кількість стовпців.

З урахуванням вищевикладеного проведена стандартна процедура статистичного оброблення даних результатів вимірювання коерцитивної сили для векторів напружень тіла труби та отримані модельні аналоги залежності розрахункового коефіцієнту a_2^k від зміни напруженого стану σ_i^k :

$$А) \text{ сталь 13ГСУ (рис.4)} \quad a_2^k = 3.6 \exp \left[- (0.25 \sigma_i^k)^2 \right], \quad (4)$$

де $\sigma_i^k = \sigma_{\text{дослід}} / \Delta$, $\Delta = 32 \text{ МПа}$ і відповідає ширині стовпців гістограми розподілення дослідних даних. Статистичні показники моделі: ентропійне відношення $\gamma = 0,05$; коефіцієнт кореляції $\theta = 0.996$; критерій Фішера $F_p = 0.0085 \leq F_T = 3.7$, $\alpha = 0.05$; ширина смуги невизначеності

$\Delta = \pm 0,231$.

Звертає увагу вихід характеристичної точки $\sigma_i^k=4$ (128МПА), яка належить області перевищення напружень в металі умови пропорційності та початку розвитку пружно – пластичного деформування [4].

Б) сталь 17Г1С (рис.5)
$$a_2^k = 2,0 \exp \left[- \left(0,214 \sigma_i^k \right)^{2,4} \right], \quad (5)$$

де $\sigma_i^k = \sigma_{дослід} / \Delta$, $\Delta = 49$ МПА і відповідає ширині стовпців гістограми розподілення дослідних даних. Статистичні показники моделі: ентропійне відношення $\gamma = 0,0645$; коефіцієнт кореляції $\theta = 0,994$; критерій Фішера $F_p = 0,015 \leq F_T = 3,7$, $\alpha = 0,05$; ширина смуги невизначеності $\Delta = \pm 0,163$.

Звертає увагу, що характеристична точка $\sigma_i^k=4$ (236МПА), яка належить області перевищення напружень в металі умови пропорційності та початку розвитку пружно – пластичного деформування знаходиться на границі області невизначеності.

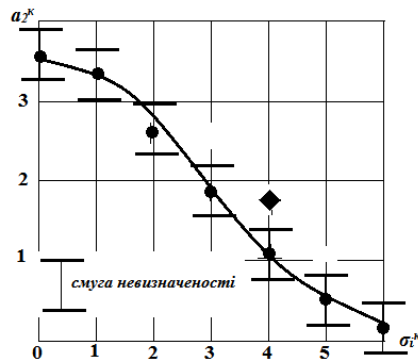


Рис. 4. Графічне уявлення моделей реакції a_2 - коефіцієнту на зміну НДС матеріалу конструкції- сталь 13ГСУ; \blacklozenge - критична точка відповідна виходу за межу пропорційності.

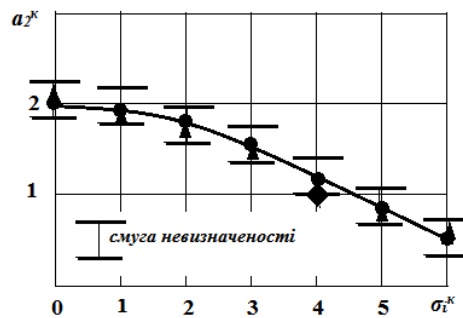


Рис. 5. Графічне уявлення моделей реакції a_2 - коефіцієнту на зміну НДС матеріалу конструкції- сталь 17Г1С; \blacklozenge - критична точка відповідна виходу за межу пропорційності.

На прикладі модельного опису для даної сталі проведена топографічна класифікація виду розподілення дослідних даних за характеристичними параметрами – контрекссес ζ та ентропійний коефіцієнт κ . Їх розрахунок, з урахування поправок Шепарда, демонструє $\zeta = 0,606 \pm 0,311$; $1,126 \leq \kappa \leq 1,99$, що за верхню границею для ентропійного коефіцієнта перевищує умову $\kappa_{крит.} = 1,87$, яка коректно описує верхню межу топографічної області існування правдивих експоненціальних розподілень. Таким чином, можна зробити висновок, область даних експерименту містить в собі рівномірно розподілену складову, тобто являє композиційне розподілення, що складається з експоненційного та рівномірного. Для оцінки внеску рівномірного розподілення використаний коефіцієнт співвідношення с.к.в. S_p рівномірної складової композиції та с.к.в. S_e її експоненційної складової, а саме $C_p = \frac{S_p}{S_e} = 1,1 \leq C_{pкрит.} = 5$ і демонструє незначний вплив постійних складових магнітної передісторії матеріалу на величину отриманих показників коерцитивної сили.

Інформаційна здатність фізично - ймовірнісних моделей розрахована за виведеною в [4,5] формулою (рис. 6)

$$I = -(1/C^\alpha \sigma_{ik}^{\alpha-1}) - P(a_k) - \ln P(a_{k_{\max}}), \quad (6)$$

де C – параметр масштабу моделі.

Для сталі 17Г1С він становить 4,673 та сталі 13ГСУ відповідно 4,0.

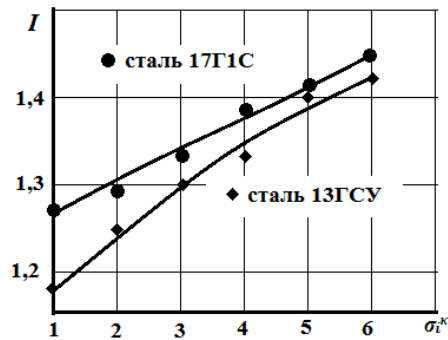


Рис.6. . Залежність інформації про НДС матеріалу від напружень у стінці труби.

Якщо визначити градієнти зміни інформаційної здатності $grad I/\sigma_i^k$ для встановленої критичної точки $\sigma_i^k = 4$ переходу матеріалу стінки у пружно - пластичну область деформування то для сталі 17Г1С - 0,345 1/МПа і для сталі 13ГСУ – 0,330 1/МПа та є співмірними з оцінним коефіцієнтом a_1 розглянутим у роботі [4,5].

Дослідження критичної точки $\sigma_i^k = 4$, виразної для будь – якого модельного опису $a_i = f(H_{j,k}; \sigma_n)$, а також з урахуванням смуг невизначеності та інформаційної здатності свідчить, що їй відповідає 80% квантиль всіх вимірювань центрально – симетризованого розподілення, де присутня найбільша чутливість методу вимірювання коерцитивної сили, описана модельними аналогами для відповідних розрахункових коефіцієнтів.

Висновки. 1. Числові значення розрахункового коефіцієнту a_2 , який відбиває реакцію магнітних характеристик матеріалу на зміну напруженого стану, можуть бути, шляхом перенормування вихідних даних, представлені полігоном щільності розподілення зміни НДС, представленого через реакцію магнітних властивостей матеріалу. 2. Статистично коректна аналітична фізично – ймовірнісна модель розподілення являє композиційне експоненціальне розподілення, рівномірна складова котрого, з рештою рівних умов, представляє магнітну передісторію матеріалу. 3. Модель дозволяє, через свої статистично надійні (рівень достовірності $Q = 0,95$) смуги невизначеності, передбачати область НДС матеріалу при переході у пружно – пластичне деформування (перевищення порогу напружень пропорційності) з формуванням ЗКН. 4. Інформаційна здатність моделі знаходиться, за порядком величин, співмірною з розрахунковим коефіцієнтом a_1 . 5. Запропоновані модельні уявлення можуть бути використані у розробленні стандартів та методик на повірку приладної бази та для діагностування НДС трубних конструкцій.

1. <http://www.digaz.ru/doklad>; 2. *Оценка напряженно-деформированного состояния линейной части магистральных трубопроводов* Родионов Н.В., Суховерхов Ю.Н. (ЗАО «Дигаз»); 3. *Наука и технологии // Транспортировка и хранение. Влияние усталостной повреждаемости на магнитные характеристики разнородных сварных соединений нефтегазовых трубопроводов.* Кузьо И. Р., Наумкин С. А., Пояркова Е. В. 4. Білобородченко В.І. Інформаційна здатність магнітостатичних методів діагностування напружено-деформованого стану (НДС) трубопроводів. Частина 1. // Збірник наукових праць “Вісник” НУ „Львівська політехніка” «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні». - Львів, 2010. - № 679 (2010) С. 7-12. 5. Білобородченко В.І. Фізично-ймовірнісні моделі напружено-деформованого стану магістральних трубопроводів за оцінкою магнітостатичними методами. / Білобородченко В.І. // Збірник тез 11-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові (МСУІМЛ-11) (Львів, 15-17 травня 2013р.). - Львів, 2013. - С. 176-177

INFORMATIVE ABILITY of MAGNETOSTATICS METHODS of DIAGNOSTICATING of
the TENSELY-DEFORMED STATE (NDS) of PIPELINES. PART of II.

© V. Biloborodchenko , 2014

The questions of informative power of the magnetic-static diagnosing of tense-deformed state of pipe constructions are considered on size of a - coefficient of magnetic heterogeneity in relation to grounds of main tensions

Main pipelines are power tense objects the malfunction of which is accompanied by considerable material and ecological losses. Thus, reliability of safe exploitation of pipeline transport that works under pressure must be guaranteed by the margin of safety at the set terms of work.

A calculation on durability of such construction fundamentally can not take into account all operating factors that can arise up in time of its work. Non-project loadings by geological, mechanical, electro- - chemical and other types in combination with formed operating defects which may be supplemented by not identified during control montage - construction-works by the irregular rejections , become reason of destruction of pipelines [1.,3].

Confesses that the most influential factors of sharp decline of the resource of such objects is stress - corrosion and change tensely - deformed state (TDS) of construction material that form the local zones of critical tensions (ZCT). A major constituent, with other equal terms, TDS and his changes is considered under act of operating and naturally - climatic factors [1.,3].

The last requires the permanent monitoring the working state of pipelines, that is executed on such basic directions, : 1. Monitoring of the technical state; 2. Monitoring tensely - deformed state; 3. Geodesic monitoring. For this purpose are used row of technical means, among which prominent place occupied methods of the indirect magnetic control, which based on the set cross-correlation dependence between the magnetic and mechanical parameters of material [3]. Such methods and their technical support have a row of advantages, especially on the early stages of estimation of TDS : 1. Ability to control pipelines without the leadingout of pipeline from exploitation(working level of loading on wall of pipe); 2. The sufficient control of productivity in the field terms; 3. Fundamental possibility of the continuous controlled from distance supervision.

For evaluation of the running state of TDS such magnetic effects are used: 1. Magnetic noises; 2. Magnetic memory; 3. Magnetic anisotropy; 4. Retentivity magnetization; 5 Permeability; 6. coercive force . Works made in area of magnetic structural fault detection [2] allowed to set conformities to law between magnetic and physical and mechanical properties of basic construction materials. Thus with the change of magnetic parameters of material it is possible to track the dynamics of growing damages of pipeline in the conditions of exploitation.

One of effective magnetic parameters for response to changing TDS recognized a coercive force H_c (A/cm) , which is most sensible to changes of level of intensity and localization of the dislocation fields in a metal and enough proportional from mechanical properties of materials (ГОСТ 30415 - 96). A value of coercive force is integral from all types of tensions that operates in the loaded object : 1.Tension of the third kind - conditioned by the thin structure of material - composition and type of crystalline grate, distribution and intensity of change of the fields of distributions and admixtures; 2. Tension of the second kind - conditioned by a thermal - deformation cycle of welding or other thermal processes; 3. Tensions of the first kind are related to operating pressure of working body in a pipeline.

Accordingly combination of such tensions, in depend of a sign of fields of residual mechanical tensions caused by a previous processes of technological treatment of construction, may differently affect

on the measured value of coercive force even in area of resilient deformations.

However the applied methodologies of evaluation of TDS by magnetic parameters of material also own considerable disadvantages [2,3]: 1. Enough one correlation after the level of mechanical tensions and magnetic reviews in area of resilient tensions is lost and results become not certain in transition loading in the area of resilient and plastic deformations of material; 2. ambiguity of detected patterns of change in the value of the field intensity. residual magnetization with increasing mechanical strain in the elastic area; 3. Accordingly a considerable error of measuring (30%) and determination of actual tensions in material after measuring of coercive force; 3. Absence of technological regulations of control a magnetic parameters; 4. Absence of strict calculation estimation of reliability potentially dangerous ZCT of construction.

The above-mentioned complicates using a programming complexes for prognostication a reliability of pipelines. Nevertheless in practice of diagnosing of a running status TDS and appearance of the local ZCT such objects methods which are based on determination of coercive force H_c (A/cm) normal H^\perp along tension axis of H^\parallel pipes which correlation is calculated by coefficients of a_1, a_2 [4]

$$a_1 = \frac{H_c - H_c^\perp}{H_c + H_c^\perp}; \quad a_2 = \frac{H_c - H_c^\parallel}{H_c + H_c^\parallel} \quad (1)$$

In-process [4,5] offered approach, that allows to give the prognosis of change of TDS and development of ZCT, and also estimate informative possibility of method of the indirect magnetic observations of calculation coefficient a_1 . However resulted: 1. A correct ground of the statistical going is near model description of connection between the coefficient indexes of coercive force and tense state of material; 2. Not exposed terms of renormalization the initial data for creation physically - probabilistic model of general view $a_i = f(H_{j,k})$, where $a_i, i = 1,2$ are corresponding coefficients; $H_{j,k}$ is a corresponding value of coercive force normally and along the axis of pipe measured at σ_n tension in the wall of stand pipe; 3. The reliable fields of authenticity of model description are not indicated statistically.

The aim of work consists in the ground of possibility of the use physically - the probabilistic models created on the base of calculation coefficient a_2 , for prognostication of size of TDS of pipe shell that is under different intrinsic pressure, determination of informative possibility of such models.

Exposition of basic material. For basis the accepted results of measuring of indexes of coercive force and calculation coefficient a_2 (fig. 1.2) are for pipe materials on aprobatinary stand on methodology expounded to previous work [4].

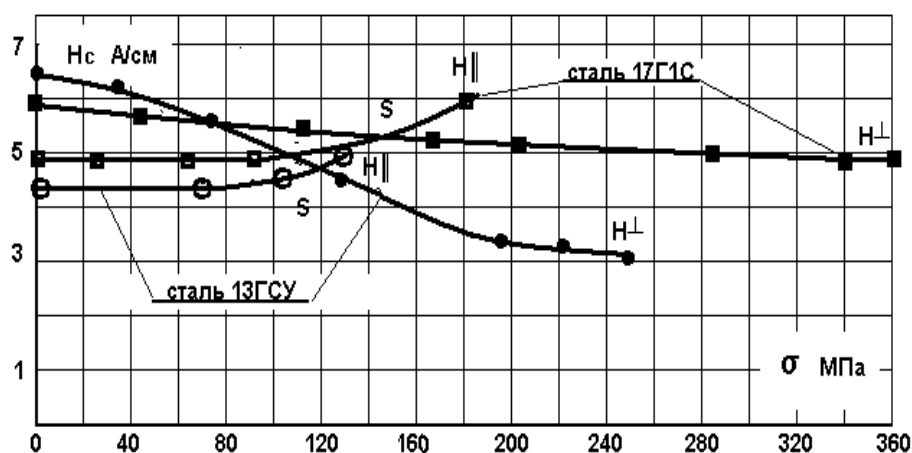


Fig.1. Dependence of coercive force H_c at measuring in relation to the main planes of tensions. (denotation is in text).

The expected cross-correlation moments are for these materials

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y}_{int} - \bar{y})^2}{(n-1)S^2}, \quad (2)$$

where \bar{y}_{int} - is a value to the coefficient of a_2 for this interval of effort of loading; \bar{y} -

averaged after the array of n - data of this coefficient value; S^2 is dispersion of experience data present: steel 13ГСУ: $\eta_{H\perp} = 0,44$, $\eta_{H\parallel} = 0,40$; steel 17Г1С : $\eta_{H\perp} = 0,194$, $\eta_{H\parallel} = 0,78$ and demonstrate nonlinear character in change of magnetic descriptions of material at the increase of TDS, and than it is indicated in [2].

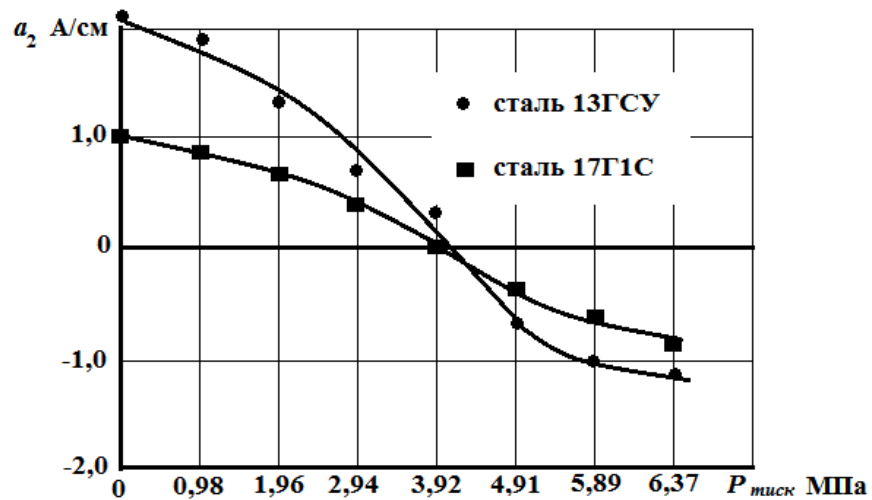


Fig..2. Dependence of calculation coefficient of a_2 is on intrinsic pressure.

The further calculation of model analogues of evaluation of TDS after the coefficient of a_2 is based on next positions: 1. Reliability of any system is a probabilistic size, and that is why any model of its correct description, based on the selection of casual at the loading measuring with certain statistical reliability, is stochastic and can be strictly contained after the probabilistic laws known and acceptable to the prospected system, in particular by the closeness of distribution. 2. For the technical systems with the irreversible changes of reliability the processes of her loss are described by the class of exponential distributions; 3. According to the theory of Laplace for the thin shells of tension in them is invariant to the vector of application of loading, and equivalent tensions are in such shells, as radial and meridional to their composition considerably exceed made effort IY is determined by the theory of durability. 4. Results of measuring of coercive force at loading of such shell external pressure is by a doublet with the same statistical variation of results. 5. Thus, stochastic functional dependence is symmetric in relation to the axis of a_2 and can be resulted, by renormalization, to standard central symmetric distribution of closeness of probability of change of the tense state of material of shell that is characterized it and described magnetic properties by the class of exponential models of kind [*]

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} \quad (3)$$

where $\lambda = \frac{I(\Delta\sigma)}{I(\sigma)}$ is a gamma - function; σ it is standard deviation(s.d.); x_c is a coordinate of center of distribution of variable x ; α - characteristic for this distribution permanent.

A model (3) leans against basic distribution of mathematical statistics -gamma, that after a physical model, in this case, determines the interval of change of loading on a shell, which is necessary for appearance following α - event (change of coercive force) from the condition of their independence and their permanent intensity λ .; At $\alpha \neq 1$ the condition of distribution of Erlang, a physical model of that is distribution (a width of interval of change of effort of loading is on a shell) between the first estimation of the state of a shell after coercive force and his next estimation.

[*] - the list of sources for the statistical analysis of data is given in [4].

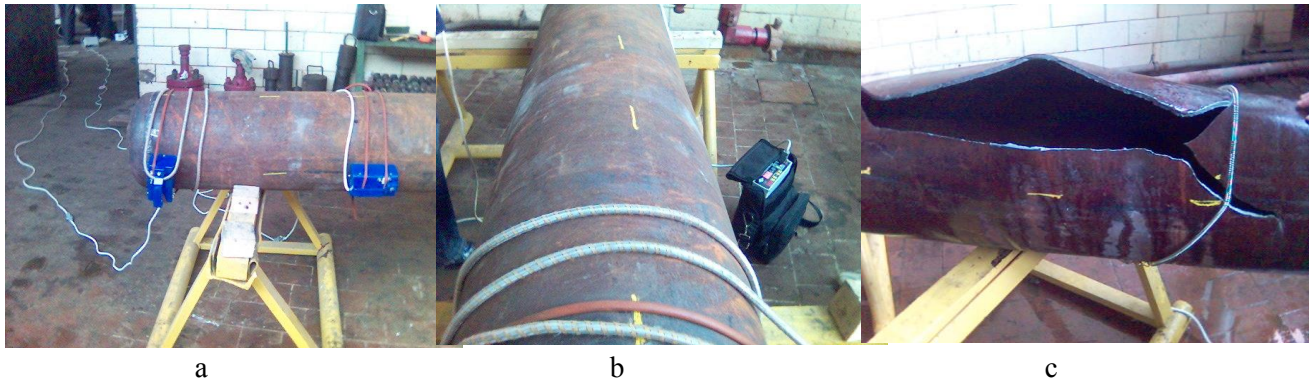


Fig.3. Destructive tests by intrinsic pressure of pipe (a diameter of 300mm, thickness of wall of 8mm, material, is steel of 17Г1С) : and is a - device base coercimeters of KPM-II-K2M; b- is deformation of pipe on leaving for the zone of proportional tensions; c - a destruction at the achievement of border of durability and exhausting of supply of plasticity of material.

At renormalization of array - a choice of scale of the system of coordinates for model description of ground of distribution of search data it is taken into account following: 1. At the achievement of shell of pipe of tensions corresponding of area of plastic flow value of coercive forces material from radial and formative component tensions invariant to the increase of probationary pressure to complete destruction of shell (fig.1,3). 2. Accordingly, unchanging is remained by descriptive coefficients and correlations of sizes of coercive forces. 3. Minimization of possibility of formation of ground of distribution of experience data, that is described by a model with "heavy tails". The last means the origin of greater deviations from middle distribution of experience data, that, after essence, is the initial base measuring of values component of coercive force after the vectors of tensions in the wall of pipe at unloaded with intrinsic pressure the state (actual tensions only from own weight and such that is provided with previous technological influence on material and such, that device fixed as magnetic prehistory of material). 4. Distribution does not eliminate with "heavy tails", that created on it founding physically - a probabilistic model of description of change of magnetic descriptions of material of shell under the action of loading will be practically the model of contamination (model of flagrant errors) - distribution of data shows a soba mixture of basic (actual) distribution $\phi(\sigma)$ with other contaminating distribution of $h(\sigma)$ id est $\phi(\sigma) + \epsilon h(\sigma)$, where ϵ is a model error. Non-fulfillment of this condition requires application of Robust methods of processing of data or bringing in a procedure of analysis of results after cut away middle.

Analysis of set of experience data and practical worker of application offered approach from creation physically - probabilistic models demonstrate, that for the choice of the system of coordinates it is enough to use such terms: 1. For a code a calculation to the coefficient of a_2^k - zero its value must be maximally close to the least it an experience size in area of experiment, however not less maximal deviation from the maximal measured value from taking into account of systematic error of device base. For the code of tensions σ_i^k width Δ columns of histogram of distribution of change of the tense state of wall of pipe elected from a condition $\min_{i=1, \dots, n} \left| \frac{\sigma_i^k - a_2^k}{\Delta} \right|$, where n is a number of experience data, m is an amount of columns.

Taking into account foregoing standard procedure of statistical processing of these results of measuring of coercitive force for vectors of tensions of body of pipe and got model analogues of dependence are conducted calculation to the coefficient of a_2^k from the change of the tense state σ_i^k .

A) steel of 13ГCY (fig.4) $\left[\frac{\sigma_i^k - a_2^k}{\Delta} \right]$, (4)

where $\sigma_i^k = \sigma_{доцнл} / \Delta$, $\Delta = 32\text{MPa}$ and answers the width of columns of histogram of distribution of experience data. Statistical indexes of model : entropy relation $\gamma = 0,05$; coefficient of correlation $\theta = 0,996$; criterion of Fisher $F_p = 0,0085 \leq F_T = 3,7$, $\alpha = 0,05$; B. of vagueness $\Delta = \pm 0,231$.

The exit of characteristic point $\sigma_i^k = 4$ (128МПа) pays attention, that belongs to the area of exceeding of tensions in a metal to the condition of proportion and beginning of development resiliently -

flowage [4].

Б) steel of 17Г1С (fig.5)  (5)

where $\sigma_i^k = \sigma_{доцнид} / \Delta$, $\Delta = 49\text{MPa}$ and answers the width of columns of histogram of distribution of experience data. Statistical indexes of model : entropy relation $\gamma = 0,0645$; coefficient of correlation $\theta = 0.994$; criterion of Fisher $F_p = 0.015 \leq F_T = 3.7$, $\alpha = 0.05$; B. of vagueness $\Delta = \pm 0,163$.

Pays attention, that characteristic point $\sigma_i^k = 4$ (236MPa), that belongs to the area of exceeding of tensions in the metal of condition of proportion and beginning of development resiliently - flowage is on the border of area of vagueness.

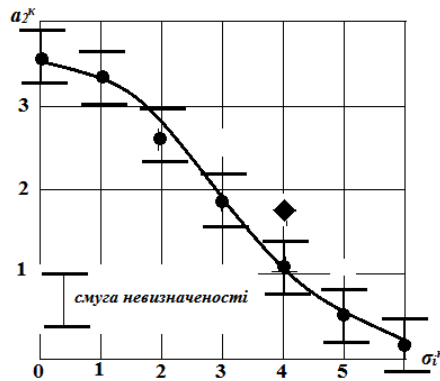



Fig.. 4. Graphic presentation of models of reaction of a_2 - to the coefficient on the change of TDS of material of construction - steel of 13ГСУ;  - a critical point corresponding to going beyond the limit of proportion.

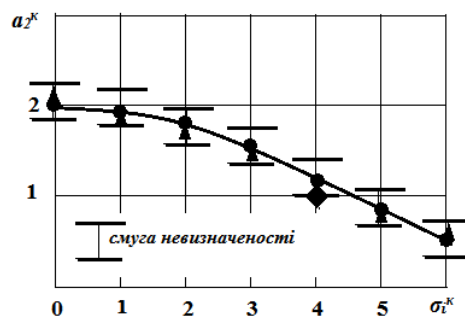



Fig. 5. Graphic presentation of models of reaction of a_2 - to the coefficient on the change of TDS of material of конструкції- steel of 17Г1С;  - a critical point corresponding to going beyond the limit of proportion.

On the example of model description for this steel topographical classification of type of distribution of experience data is conducted on characteristic parameters is a contrekcis ζ and entropy coefficient of κ . Their calculation, from taking into account of amendments of Shephard, demonstrates $\zeta = 0,606 \pm 0,311$; $1,126 \leq \kappa \leq 1,99$, that after a top border for a entropy coefficient exceeds the condition of $\kappa_{крит} = 1,87$, that describes the top limit of topographical area of existence of truthful exponential distributions correctly. Thus, it is possible to draw conclusion, the area of data of experiment contains an equipartition constituent, it presents composition distribution that consists of exponential and uniform. To assess the contribution of the uniform distribution coefficient value is used of s.d. S_p of even component composition and s.d. Se it exp - distribution of constituent, namely $C_p = \frac{S_p}{Se} = 1,1 \leq C_{pкрит.} = 5$ and demonstrates insignificant influence of permanent constituents of magnetic prehistory of material on the size of the got indexes of coercive force.

Informative ability physically - probabilistic models expected after shown out in [4,5] by a formula (fig. 6)

 (6)

where C is a parameter of model scale.

For steel of 17Г1С it presents 4,673 and to steel of 13ГСУ according to 4,0.

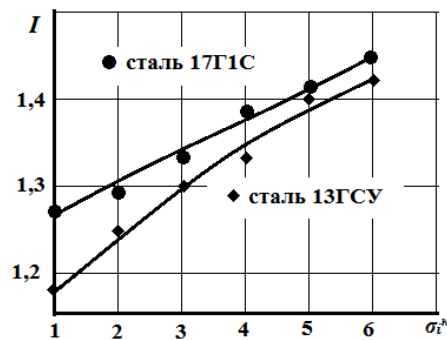


Fig.6. Dependence of information about TDS of material from tensions in the wall of pipe.

If to define the gradients of change of informative ability of $grad I/\sigma_i^k$ for the set critical point $\sigma_i^k = 4$ transitions of material of wall in resiliently - plastic area of deformation then for steel of 17Г1С - 0,345 1/MPa and for steel of 13ГСУ - 0,330 1/MPa and is commensurable with the evaluation coefficient of a_1 considered in-process [4,5].

Research of critical point $\sigma_i^k = 4$, expressive for be - what model description $\sigma_i^k = 4$, and also taking into account the stripes of vagueness and informative ability testifies that it is answered by a 80% quantile of all measuring centrally is symmetric distribution, where the most test-sensitivity of measuring of coercive force, described by model analogues for corresponding calculation coefficients, is present.

Conclusions. 1. Numerical values calculation to the coefficient of a_2 , that removes the reaction of magnetic descriptions of material on the change of the tense state, can be, by renormalization of output data, presented by the ground of closeness of distribution of change NDS, presented through the reaction of magnetic properties of material. 2. Statistically correct analytical physically - the probabilistic model of distribution presents composition exponential distribution, the even constituent of that, with other equal terms, presents magnetic prehistory of material. 3. A model allows, through the statistically reliable (level of authenticity of $Q = 0,95$) stripes of vagueness, to envisage the area of TDS of material in transition in resiliently is a flowage (exceeding of threshold of tensions of proportion) with forming of ZCT. 4. Informative ability of model is, after the order of sizes, commensurable with the calculation coefficient of a_1 . 5. The offered world-modeling can be used in development of standards and methodologies on the check of device base and for diagnosticating of TDS of pipe constructions.

1. <http://www.digaz.ru/doklad>; 2. *Оценка напряженно-деформированного состояния линейной части магистральных трубопроводов Родионов Н.В., Суховерхов Ю.Н. (ЗАО «Дигаз»);* 3. *Наука и технологии // Транспортировка и хранение. Влияние усталостной повреждаемости на магнитные характеристики разнородных сварных соединений нефтегазовых трубопроводов. Кузьо И. Р., Наумкин С. А., Пояркова Е. В.* 4. *Білобородченко В.І. Інформаційна здатність магніостатичних методів діагностування напружено-деформованого стану (НДС) трубопроводів. Частина 1. // Збірник наукових праць "Вісник" НУ „Львівська політехніка" «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні». - Львів, 2010. - № 679 (2010) С. 7-12.* 5. *Білобородченко В.І. Фізично-імовірнісні моделі напружено-деформованого стану магистральних трубопроводів за оцінкою магніостатичними методами. / Білобородченко В.І. // Збірник тез 11-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові (МСУІМЛ-11) (Львів, 15-17 травня 2013р.). - Львів, 2013. - С. 176-177*

Автор

Зав. кафедрою