

5. Розроблена методика забезпечення нормованого діаметрального натягу у різьбовому з'єднанні, зібраному з двох відбракованих елементів, шляхом:

- селективного підбору різьбових з'єднань, параметри яких відрізняються від нормованих;
- підрізання упорних виступів (торців) в зношених замкових різьбових з'єднаннях.

6. Розроблені методика і технічні засоби виявлення ультразвуковим методом дефектів різної орієнтації, які виключають вплив нестабільності акустичного контакту на результати контролю. Аналітично визначені параметри способу контролю.

7. Розроблена, виготовлена і впроваджена у виробництво установка "Ремонт-1", яка забезпечує проведення комплексу робіт (заміна з'єднувальних елементів, сортування труб, правка різьб і т.п.) для підтримки працездатності трубних колон безпосередньо в умовах бурової.

8. Дослідні зразки і серійні вироби на протязі 1986-1991 рр. впроваджені на бурових підприємствах ГТК "Газпром", ВО "Роснефтегаз", Мінгео СРСР, ВПО "Зарубежнефть".

Робота виконана в науково-виробничому об'єднанні „Надра” при Івано-Франківському інституті нафти і газу.

Захист відбувся 26 жовтня 1993 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 053.27.02 в Державній академії нафти і газу ім. І.М. Губкіна, м. Москва

Наукові керівники: канд. техн. наук Гінзбург Є.С.; канд. техн. наук Карпаш О.М.

Офіційні опоненти: докт. техн. наук, проф. Протасов В.Н., канд. техн. наук Тараєвський С.І.

Провідна установа: СКБ „Газприборавтоматика” (м. Москва).

УДК 620.179.621.565.92

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Кононенко М.А.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
доцент кафедри інформаційно-вимірювальної техніки
(на час захисту – завідувач випробувальної лабораторії НВФ “Зонд”)*

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 –
прилади та методи контролю*

Запропоновано метод розрахунку параметрів пружних гармонійних хвиль. Розповсюджених в неоднорідних структурах. Розроблені нові способи та технічні засоби контролю якості шаф побутових холодильників як багатопшарової структури, до складу якої входить неоднорідний матеріал - пінополіуретан. Розроблені методики дозволяють проводити суцільний контроль шаф холодильників акустичними методами безпосередньо в умовах виробництва.

Одним з основних недоліків вітчизняних холодильників є незабезпечення заданих температур у морозильному та холодильному відділеннях, яке призводить до збільшення енергоспоживання та передчасного виходу з ладу холодильного агрегату. Причинами цього є недостатня вивченість чинників, що призводять до порушення теплового балансу холодильників, та відсутність надійних методів і засобів контролю якості теплоізоляційної огорожі.

Встановлено, що 17% всіх відмов виникає через наявність дефектів у шафах холодильників, основними з яких є:

- незаповнення окремих ділянок пінополіуретановою ізоляцією, особливо у верхній частині шафи холодильника;

- наявність у затверділому пінополіуретані (ППУ) пор значних розмірів, які сполучаються, утворюючи газові порожнини;

- деформація шафи холодильника у процесі його експлуатації, обумовлена усадкою ППУ під час полімеризації через зниження товарної густини нижче свого критичного значення.

Причинами виникнення вищезазначених дефектів є недотримання технологічних режимів процесу заливки спіненого поліуретану в простінки шафи холодильника.

Першим кроком до вирішення поставленої задачі – розробки методів і технічних засобів контролю якості теплоізоляції побутової холодильної техніки у процесі її виробництва - є визначення впливу розмірів та місця розташування дефекту (повітряного прошарку) у шарі теплоізоляції холодильника на його загальні холодовтрати.

Відомо, що загальні холодовтрати оцінюють за розрахунковою величиною теплового потоку через одиницю площі конструкції. Вводячи у вираз теплового потоку (1) еквівалентний коефіцієнт теплопровідності повітряного прошарку $\lambda_{екв}$, обчислювали тепловий потік через стінку шафи холодильника для трьох випадків: збільшення товщини повітряного прошарку зі сторони металевої стінки, зі сторони полістиролової стінки і в шарі теплоізоляції:

$$q = \frac{t_0 - t_t}{\frac{1}{\alpha_H} + \frac{\delta_{ПОКР1}}{\lambda_{ПОКР1}} + \frac{\delta_{ІЗ} - \delta_{ПР}}{\lambda_{ІЗ}} + \frac{\delta_{ПОКР2}}{\lambda_{ПОКР2}} + \frac{\delta_{ПР}}{\lambda_{ЕКВ}} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (1)$$

де

$$\lambda_{ЕКВ} = \sqrt[4]{\frac{3}{\delta_{ПР} \Delta t} \frac{0.319}{4(t_{CP} + 273) \alpha_V} \lambda_{ПОВ} + C_1 \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_H}{100} \right)^4 \right]} \delta_{ПР}, \quad (2)$$

де t_0 - температура зовнішньої поверхні об'єкта; t_t - температура внутрішньої поверхні об'єкта; $\delta_{ПОКР1}$, $\delta_{ПОКР2}$ - відповідно товщина зовнішньої та внутрішньої обшивки об'єкта; $\delta_{ПР}$ - товщина повітряного прошарку; $\lambda_{ПОКР1}$, $\lambda_{ПОКР2}$ - відповідно коефіцієнти теплопровідності матеріалу зовнішньої обшивки та внутрішньої обшивки; $\lambda_{ПОВ}$ - коефіцієнт теплопровідності повітря; Δt - перепад температур в повітряному прошарку; t_{CP} - середня температура в повітряному прошарку; $t_0 - t_t$ - приведений параметр.

Одержані розрахункові дані і графічні залежності теплового потоку від товщини і місця розташування дефекту в матеріалі теплоізоляції довели, що тепловий потік через стінку шафи холодильника не залежить від місця розташування дефекту в пінополіуретановій ізоляції, а залежить тільки від його розмірів. Крім того, встановлено, що при ширині дефекту до 25 мм зміна теплового потоку, а отже, і загальні холодовтрати можуть бути компенсовані холодильним агрегатом при його максимальному

режимі і збільшенні енергоспоживання, а дефекти площею 2000 мм² при глибині 25 мм і більше призводять до порушення заданого теплового балансу холодильної машини. Отже, встановлення бракувальних критеріїв теплоізоляції шаф побутових холодильників і відсутність потреби визначати місце розташування дефекту в шарі теплоізоляції значно спростили вимоги до методик контролю і технічних засобів. Крупноструктурні матеріали в загальному випадку можна контролювати акустичним, радіохвильовим, оптичним, тепловим і електричним методами. Враховуючи фізичні властивості матеріалів, що входять до складу багатошарової конструкції шафи холодильника, його геометрію і стан поверхонь, їх контроль можна здійснювати тепловим і акустичним методами.

У зв'язку з високими темпами конвеєрного виробництва холодильників, тепловий метод контролю якості теплоізоляції доцільно використовувати при вибіркового контролю для лабораторних досліджень сировини, що постачається, та для коригування режимів заливки. Для проведення суцільного контролю шаф холодильників в умовах конвеєра необхідний більш продуктивний і економічний метод, тому перевага була надана акустичному методу.

Запропонований спосіб контролю базується на реєстрації сигналу, який пройшов через контрольований виріб в напрямку, перпендикулярному росту піни, для зменшення впливу анізотропних властивостей матеріалу ППУ. Інформаційними параметрами при цьому є амплітуда або час проходження сигналу крізь ділянку контрольованого виробу. Оскільки розкид характеристик в межах як партії виробів, так і одного виробу є незначним, була обрана методика контролю за абсолютним критерієм, бо це значно спрощує процес дефектоскопії і дозволяє використовувати серійну апаратуру без додаткових засобів обробки сигналів.

Проведений аналіз структури матеріалів, які входять до складу контрольованого виробу, дозволив обрати діапазон частот перетворення ультразвукових коливань (УЗК). При використанні низькочастотного діапазону (60-100 кГц) довжина хвилі УЗК менша або співрозмірна з розмірами випромінювача (приймача), і тоді випромінювач стає джерелом утворення сферичних хвиль, або хвиль із слабкою спрямованістю. Тому на підставі використання першого члена ряду Дебая запропоновано метод розрахунку проходження пружних хвиль крізь багатошарові структури з урахуванням радіусів кривизни хвильових фронтів і границь шарів, який є придатним для плоских хвиль і плоских багатошарових плит при кількості шарів не більше трьох, що повністю задовольняє умовам поставленої задачі.

Запропонований метод променевих рядів Дебая дозволяє визначити хвильові поля на променях, які спрямовані вздовж пучків розповсюджених, відбитих і заломлених пружних хвиль. Модифікація цього методу використовується при дослідженні проходження пружних хвиль крізь багатшарові структури.

Лінійне рівняння руху пружного середовища у випадку гармонійних, усталених в часі хвильових рухів, має вигляд

$$\mu \vec{\nabla}^2 \vec{U} + (\lambda + \mu) \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{U}) = \omega^2 \rho \vec{U}, \quad (3)$$

де λ , μ - сталі Ламе; ρ - густина; \vec{U} - вектор переміщення; ω - кругова частота.

Залежність від часу приймається у вигляді $e^{-j\omega t}$. Підставляючи в (3) вираз для вектора переміщення:

$$\vec{U} = \vec{\nabla} \Phi + \vec{\nabla} \vec{F}, \quad (4)$$

де Φ і \vec{F} - скалярний і векторний потенціали, які описують поздовжні (Р-хвилі) і поперечні (S-хвилі) відповідно, одержуємо систему рівнянь Гельмгольца:

$$\vec{\nabla}^2 \Phi + k_l^2 \Phi = 0 \quad \vec{\nabla}^2 \vec{F} + k_t^2 \vec{F} = 0, \quad (5)$$

де

$$k_l = \frac{\omega}{\alpha}; \quad k_t = \frac{\omega}{\beta}; \quad \omega = 2\pi\nu; \quad \alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; \quad \beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}.$$

Якщо використовувати розкладання хвильових потенціалів Φ і \vec{F} у променеві ряди, хвильова задача зводиться до розв'язання рівняння переносу в умовах плоскої деформації для довільної кількості амплітуд A_j , B_j :

$$\begin{aligned} 2\vec{\nabla} \varphi \vec{\nabla} A_j + \vec{\nabla}^2 \varphi A_j &= -\vec{\nabla}^2 A_{j-1}; \\ 2\vec{\nabla} \psi \vec{\nabla} B_j + \vec{\nabla}^2 \psi B_j &= -\vec{\nabla}^2 B_{j-1}, \quad (j = 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (6)$$

Рівняння переносу (6) вирішується в ортогональній криволінійній системі координат, яка створена фронтами і променями розповсюджених Р і S хвиль.

Після певних математичних перетворень одержані вирази для розкладу в променеві ряди переміщень

$$\vec{U} = e^{ik_l B \varphi} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\vec{U}_j}{(ik_l)^{j+1}} + e^{ik_t \psi} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\vec{U}_j}{(ik_t)^{j+1}} \quad (7)$$

та напружень

$$\hat{\sigma} = e^{ik_l \varphi} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\hat{\sigma}_j}{(ik_l)^j} + e^{ik_t \psi} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\hat{\sigma}_j}{(ik_t)^j} \quad (8)$$

(величини з рискою зверху відносяться до S-хвиль, без риски - до Р-хвиль). У випадку відбиття і заломлення Р- і S-хвиль на криволінійній границі розділу двох пружних середовищ при певних граничних

умовах опис напружень і переміщень у падаючій (i), відбитій (r) та заломленій (t) хвилях представляється в матричній формі:

$$\|E\| \|H_0\|_{js} = A_0^{(i)} \|e\| + B_0^{(i)} \|h\|. \quad (9)$$

Матричне рівняння (9) містить систему чотирьох рівнянь для визначення амплітуд відбитих та заломлених хвиль по заданих амплітудах падаючих Р- і S-хвиль. Одержані рівняння використовуються для послідовного визначення вихідного, падаючого на границю шарової структури променя і променів, які пройшли цю границю або відбилися й потрапили в область розташування приймача.

Далі було розглянуто проходження плоских звукових хвиль крізь одиночний плоский шар, занурений у воду, яка є найбільш поширеною акустичною рідиною. Кути θ_i і θ_t відповідають поздовжній і поперечній хвилям, при цьому:

$$\frac{\sin \theta_i}{C_l} = \frac{\sin \theta_t}{C_t} = \frac{\sin \theta}{C}, \quad (10)$$

де C_l , C_t і C - відповідно швидкості поздовжньої, поперечної пружних і звукової хвиль.

Звукові тиски у воді записуються у вигляді

$$\begin{aligned} P_0 &= e^{iK(x \sin \theta + z \cos \theta)}, \\ P_{\psi_0 \mu j B t} &= A e^{iK(x \sin \theta - z \cos \theta)}, \\ P_{p.p} &= e e^{iK(x \sin \theta + z \cos \theta)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Тут A і B - відповідно коефіцієнти відбиття і проходження. Коливальну швидкість у шарі можна представити у вигляді:

$$\vec{v} = \vec{\nabla} \Phi + \vec{\nabla} \times \vec{n} \quad (12)$$

де Φ і \vec{n} - відповідно скалярний і векторний потенціали швидкостей. Їх значення одержали із звичайних потенціалів переміщень диференціюванням у часі.

Напруження в шарі можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} -i\omega \sigma_{zz} &= \lambda \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z}, \\ -i\omega \sigma_{xx} &= \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Визначивши граничні умови задачі, можна визначити всі незалежні коефіцієнти A , B , Φ' , Φ'' , Π' , Π'' .

Розглянутий метод можна використати для дослідження взаємодії звукової хвилі з системою пружних шарів. Для цього використовуються матриці переходу, які пов'язують значення коливальних швидкостей і напружень на границі кожного шару з величинами швидкостей і напружень на іншій границі.

Припустимо, що на нижній границі системи з N шарів задали значення складових вектора коливальної швидкості $V_X^{(0)}$ і $V_Z^{(0)}$, а також нормальні й дотичні складові тензора напружень $\sigma_{ZZ}^{(0)}$ і $\sigma_{ZX}^{(0)}$. Тоді значення цих величин на верхній границі рівні $V_X^{(N)}$, $V_Z^{(N)}$, $\sigma_{ZZ}^{(N)}$ і $\sigma_{ZX}^{(N)}$, тобто на вході і виході системи шарів задали по чотири значення параметрів, і кожний з вихідних параметрів залежить від усіх вхідних. Отже, система шарів, еквівалентна восьмиполоснику з чотирма виходами. Параметри цього восьмиполосника можна описати матрицею $\|A_{jk}\|$, $j,k=1,2,3,4$.

Значення елементів A_{jk} залежать від пружних параметрів шарів. Елементи матриці A_{jk} можна знайти шляхом перемноження матриць кожного окремого шару.

Таким чином, знаючи параметри шарів плоскої багатошарової структури, визначали вирази для розрахунку коефіцієнтів проходження і відбиття. За розрахунковими величинами коефіцієнтів проходження і відбиття, враховуючи поглинання звуку в шарах, можна визначити максимальну товщину конструкції і її окремих шарів, яка доступна контролю за обраним способом.

Для одержання достовірних результатів усі експериментальні дослідження проводились на серії натурних зразків, які являють собою елементи шаф холодильників серії "Норд", вилучені з різних його ділянок (зон), а також на спеціально виготовлених в умовах виробництва зразках з дотриманням рецептури і технології виготовлення теплоізоляції холодильників.

На першому етапі досліджень була встановлена залежність амплітуди першої півхвилі пройденого сигналу від густини вільноспіненого ППУ, яка має лінійний характер. Подальші дослідження тінювого методу довели, що для визначення товарної густини доцільно використовувати як інформативний параметр час проходження ультразвукового сигналу.

Прозвучування готових шаф холодильників дозволило:

- визначити зміну значень товарної густини ППУ по всій висоті виробу;
- встановити допустимі діапазони значень часу проходження ультразвукового сигналу крізь різні зони шафи холодильника залежно від структури й густини затверділого ППУ;
- встановити залежність зміни часу проходження УЗК крізь контрольовану зону від розмірів дефекту заповнення (товщини повітряного прошарку δ у шарі теплоізоляції).

Одержані залежності стали основою для створення технічних засобів - установки контролю густини вільноспіненого ППУ і установки комплексного контролю якості шаф побутових холодильників - які дозволяють контролювати якість заповнення простінок теплоізоляційним матеріалом та густину вільноспіненого ППУ (уявної) і товарної в готовому виробі

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. Встановлено, що місце розташування дефекту не впливає на загальні холодовтрати ізолюваного об'єкту, які залежать тільки від розмірів наявних дефектів (повітряних прошарків).

2. Досліджено особливості проходження пружних гармонічних хвиль у багатошарових неоднорідних структурах, у результаті чого запропоновано новий метод визначення параметрів розповсюджених хвиль, за допомогою якого можна визначити максимальну товщину конструкції і окремих шарів, доступних акустичному контролю.

3. Розроблено нові способи акустичного (тінювого) методу контролю густини теплоізоляційного матеріалу і виявлення дефектів в багатошарових неоднорідних структурах.

4. Встановлено залежності між параметрами акустичного контролю і показниками якості теплоізоляції побутових холодильників: густиною теплоізоляційного матеріалу і розмірами дефектів заповнення (повітряних прошарків).

Основні результати та висновки

1. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблені методи та засоби контролю якості теплоізоляції шаф побутових холодильників, що дозволяє підтримувати необхідний тепловий режим в камерах холодильника при нормованій витраті електроенергії.

2. Розрахунок теплового потоку показав, що місцерозташування дефекту в шарі теплоізоляції не впливає на холодовтрати, а одержаний аналітичний вираз дозволяє визначити тепловий потік через стінку шафи холодильника в залежності від розмірів дефекту (товщини повітряного прошарку $\delta_{пр}$).

Одержані результати дозволили сформулювати основну задачу контролю якості холодильних шаф, яка полягає у визначенні акустичним методом розмірів дефектів незалежно від їх місця розташування в шарі теплоізоляції.

3. У результаті теоретичних досліджень особливостей поширення пружних гармонічних хвиль у плоских багатошарових неоднорідних структурах запропонований матричний метод визначення коефіцієнтів відбиття й проходження, при якому елементи матриці визначаються шляхом перемноження матриць переходу для кожного окремого шару.

Даний метод дозволяє за даними акустичних властивостей шарів визначати коефіцієнти відбиття і проходження при поширенні пружних гармонійних хвиль через багатошарову структуру.

4. Розроблено новий спосіб контролю багатошарових неоднорідних структур і розраховано оптимальні параметри контролю. Вибрана методика оцінки контрольованого параметра за його абсолютним розкидом дала можливість використовувати серійну ультразвукову апаратуру в розроблених технічних засобах.

5. У результаті експериментальних досліджень встановлені залежності між параметрами акустичного тінювого методу контролю та основними показниками якості (густиною ППУ та розмірами дефектів заповнення), які описуються рівняннями регресії. Одержані залежності між параметрами акустичного контролю та показниками якості шаф холодильників покладені в основу розроблених методик і технічних засобів контролю.

6. Розроблені та виготовлені дослідні зразки установок для визначення густини пінополіуретану і

для контролю якості заповнення пінополіуретановою ізоляцією шаф холодильників впроваджені на підприємстві АТ "Норд" (м. Донецьк).

7. Запропоновані методи та одержані результати можуть бути використані при розробці засобів неруйнівного контролю багатошарових неоднорідних структур, композиційних матеріалів та виробів з них.

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу.

Захист відбувся 30 червня 1998 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу

Науковий керівник: докт. техн. наук, проф. Карпаш О.М

Офіційні опоненти: докт. техн. наук, проф. Замиховський Л.М., канд. техн. наук Радько В.Г.

Провідна установа: Інститут електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, м. Київ.

УДК 620.179

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТУ

© Молодецький І.А

*НВФ „Зонд”, заст. директора НВФ „Зонд” з науково-технічного розвитку
(на час захисту – завідувач лабораторії перспективних досліджень НВФ “Зонд”)*

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин*

Розроблені нові способи та технічні засоби неруйнівного контролю фізико-механічних характеристик нафтогазового обладнання та інструменту, які дозволяють проводити контроль в умовах бурових та баз виробничого обслуговування електромагнітним і магнітним методами контролю. Розроблені методики дозволяють забезпечити можливість відпрацювання повного ресурсу нафтогазового обладнання та інструменту. Запропоновано метод розрахунку впливу асиметрії основних та паразитних параметрів на вихідний сигнал накладного диференційного трансформаторного вихрострумовеого перетворювача.

Аналіз сучасного стану українського ринку нафтогазового обладнання та інструменту (далі – обладнання) показав, що для нього характерні: відставання технічного рівня від закордонних аналогів; зниження технічного рівня та якості через порушення технології виробництва або недостатній досвід виробників; продовження строків експлуатації обладнання понад ті, що обумовлені експлуатаційною

документацією. Щоб забезпечити експлуатаційну надійність обладнання, необхідно мати можливість оцінювати його фактичний технічний стан у різні періоди експлуатації. При цьому важливою є інформація про наявність дефектів у виробках та відповідність їх фізико-механічних характеристик (ФМХ) нормованим значенням.