

620.179.1

M23

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Мандра Андрій Анатолійович



620.179.1 + 052/043  
УДК 622.691.4. ~~052~~

M23

АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ОБВ'ЯЗКИ АГРЕГАТІВ ГАЗОКОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

05.11.13 – Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИСЕРТАЦІЇ НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ  
КАНДИДАТА ТЕХНІЧНИХ НАУК

Івано-Франківськ – 2006

УДК

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент

**Лютак Зіновій Петрович,**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор

**Заміховський Леонід Михайлович,**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри комп'ютерних технологій в системах управління автоматичної

кандидат технічних наук

**Берник Зіновій Андрійович,**

Стрийське відділення будівельно-монтажних робіт Управління будівельно-монтажних робіт "Укргазспецбудмонтаж", завідувач лабораторії контролю якості

**Провідна установа:** Відкрите акціонерне товариство "Український нафтогазовий інститут" Міністерства палива і енергетики України, м. Київ

Захист відбувся 22 лютого 2006 р. о 14 год на засіданні спеціалізованого науково-методичного комітету Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ)

З дисертацією та її матеріалами можна ознайомитися в бібліотеці спеціалізованого науково-методичного комітету Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ

Автореферат розповсюджено

Вчений секретар спеціалізованого науково-методичного комітету Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, кандидат технічних наук М. М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Трубопровідний транспорт є однією з основних складових енергетичної галузі країни. Поряд із магістральними газопроводами, що переносять основну масу пального, в галузі експлуатуються трубопроводи різних діаметрів, які відіграють не менш важливу роль. Це трубопроводи обов'язки перекачуючих компресорних станцій, газосховищ тощо. Зважаючи на велику різноманітність трубопроводів та область застосування, вони піддаються внутрішнім і зовнішнім деструктивним чинникам впливу різного характеру та інтенсивності. Різноманітність деструктивного впливу призводить до зміни властивостей металу трубопроводів, що лімітує термін їх експлуатації до нормативних значень і не забезпечує використання їх повного ресурсу. В окремих випадках навіть протягом нормативного терміну експлуатації трубопроводів не забезпечується їх надійна робота, наприклад, при зсуві ґрунту, підвищених темпах корозій. Об'єктами газотранспортної мережі, які найбільше піддаються різного роду деструктивним чинникам впливу, є компресорні станції.

Компресорні станції газотранспортної мережі є складним комплексом інженерних споруд, основною ланкою якого є газопроводи, що конструктивно складаються з прямолінійних, пружно-викривлених ділянок, а також зварних колін і трійникових з'єднань труб. Тому, не дивлячись на зовнішню конструктивну простоту газопроводів, вони працюють в умовах складного напруженого стану під дією навантажень з випадковим характером, зміною цих навантажень по довжині. Статистичні дані з надійності вітчизняних і зарубіжних магістральних трубопроводів показують, що на компресорних станціях (КС), несучими елементами яких є труби великого діаметру, з'єднані в окремі вузли - відводи, трійникові з'єднання, кранові переходи, мають місце відмови й аварійні ситуації, які можуть завдати величезних матеріальних збитків і непоправної шкоди довкіллю. Враховуючи факт, що переважна частина газопроводів компресорних станцій експлуатується понад встановлений термін, проблема забезпечення надійної експлуатації газопроводів у повному об'ємі не вирішена, тому розробка методу контролю властивостей трубних сталей в експлуатаційних умовах є актуальним завданням.

Як показують дослідження ряду науково-виробничих організацій, провідних дослідних інститутів і вищих технічних навчальних закладів, в тому числі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, визначення напружено-деформованого стану газопроводів в експлуатаційних умовах є досить складною задачею. Використання існуючих методів для забезпечення якісного контролю міцнісних параметрів технологічних трубопроводів компресорних станцій є недостатнім. Оцінка міцнісних характеристик металу газопроводів на основі експериментальних досліджень напружено-деформовано

НТБ  
ФНТУНГ

х концентрації напружень із  
укцій є основою для розробки



нових методів і засобів контролю. Вищесказане робить актуальним проведення досліджень, які пов'язані з вдосконаленням і розробкою більш ефективних методів неруйнівного контролю міцнісних характеристик металу труб великого діаметру компресорних станцій, найбільш раціональним з яких є ультразвуковий метод.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Вибраний напрямок досліджень є складовою частиною тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та базується на результатах науково-дослідної теми № 286/04 згідно договору з Управлінням магістральних газопроводів "Черкаситрансгаз" "Контроль напружено-деформованого стану об'язки технологічних трубопроводів компресорних станцій "КС-37Б, м. Бар", КС "Тальне", КС "Кременчук", номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ 0104U0050000 та наукової тематики 267/05 "Контроль напружено-деформованого стану магістральних газопроводів на підприємствах ДК "Укртрансгаз", номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ 0105U004995. Автор брав участь у виконанні даних тем при розробці методу і технічного засобу контролю технічного стану магістральних газопроводів.

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає в обґрунтуванні та розробці методу та засобу контролю технічного стану технологічних трубопроводів компресорних станцій в експлуатаційних умовах шляхом підвищення достовірності результатів і ефективності контролю.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- провести теоретичний аналіз методів і засобів неруйнівного контролю технічного стану трубопроводів та проаналізувати деструктивні фактори, що впливають на зміну технічних характеристик газопроводів компресорних станцій в експлуатаційних умовах;

- розробити математичну модель поширення та загасання пластинчатих ультразвукових хвиль у пружному середовищі, яка дозволяє визначати умови генерування та поширення цих хвиль залежно від фізико-механічних параметрів газопроводів КС;

- розробити програмне забезпечення обчислення математичної моделі поширення пластинчатих хвиль;

- розробити метод контролю НДС складних ділянок газопроводів із врахуванням фактичних навантажень і фізико-механічних характеристик металу труб та отримати залежність, яка пов'язує величину напружень у середовищі поширення ультразвукових пластинчатих хвиль зі зміною величини їх групової швидкості;

- розробити технічний пристрій контролю НДС для визначення групової та фазової швидкості поширення пластинчатих хвиль, зменшити температурну залежність чутливого елемента первинного перетворювача, проаналізувати загальну похибку контролю;

– провести за допомогою розробленого методу та пристрою лабораторні та натурні дослідження НДС трубопроводів КС для визначення їх залишкового ресурсу.

*Об'єктом дослідження є газопроводи компресорних станцій .*

*Предметом дослідження є методи та засоби акустичного неруйнівного контролю.*

*Методи дослідження.* Вирішення поставлених задач досягнуто шляхом аналізу літературних джерел, проведення теоретичних і експериментальних досліджень, аналізу фактичного матеріалу, отриманого в результаті виробничих випробувань, методи дослідження якого базуються на положеннях математичного моделювання та теорії статистичних вимірювань, раціонального планування експериментів, теорії ймовірності та прикладної статистики. Розробка технічних засобів здійснювалась з використанням методів схемотехніки. Для моделювання роботи п'єзоелектричних перетворювачів використовувався метод кінцевих елементів.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

– вперше розроблено математичну модель, яка описує хвильові параметри пластинчатих хвиль у багатопаровому середовищі, що дозволяє визначити умови їх генерування та поширення відповідно до значень геометричних і фізико-механічних характеристик досліджуваного середовища, групові та фазові швидкості симетричних та асиметричних мод цих хвиль та величину загасання їх амплітуди;

– вперше розроблено метод інтегральної оцінки НДС газопроводів на складних та труднодоступних ділянках з врахуванням фактичних навантажень і фізико-механічних характеристик металу труб, отримано аналітичну залежність, яка пов'язує величину напруження у середовищі поширення ультразвукових пластинчатих хвиль зі зміною величини їх групової швидкості, що є основою для визначення існуючих напружень трубопроводів компресорних станцій і оцінки їх залишкового ресурсу;

– дістав подальшого розвитку метод виключення впливу температури на амплітудно-частотну характеристику первинного перетворювача, що дало можливість підвищити точність контролю.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що розроблений пристрій контролю напружень у технологічних трубопроводах компресорної станції, який реалізує запропонований метод з використанням розробленого програмного забезпечення мовою C++, дає можливість визначити міцнісні характеристики металу газопроводів на основі теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану (НДС) в зонах їх концентрації з врахуванням умов та режимів навантаження конструкцій для попередження аварійних ситуацій.

Проведено контроль напружено-деформованого стану газопроводів на компресорних станціях м. Кременчука, м. Тальне, м. Бара. Результати оцінки НДС і розроблені рекомендації представлені в Управління магістральних газопроводів "Черкаситрансгаз".

Теоретичні та практичні результати роботи використовуються у навчальному процесі при курсовому та дипломному проектуванні для студентів спеціальності 7.090903 – "Прилади та системи неруйнівного контролю" з дисципліни "Акустичний контроль".

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані автором самостійно.

Автором проведений теоретичний аналіз методів і засобів неруйнівного контролю технічного стану трубопроводів, проаналізовані деструктивні фактори, що впливають на зміну технічних характеристик газопроводів компресорних станцій в експлуатаційних умовах, досліджені найбільш інформативні параметри, які визначають зміну цих технічних характеристик, вибраний перспективний акустичний метод контролю. Автором проаналізовано початкові та граничні умови утворення акустичного поля пластинчатою хвилею у пружному середовищі, розроблено алгоритм знаходження параметрів цього поля. У роботах, написаних у співавторстві, здобувачу належить: [2] – розробка конструкції ультразвукового первинного перетворювача для генерування та приймання пластинчатих хвиль, отримання залежності групової швидкості ультразвукових пластинчатих хвиль від величини НДС; [3] – отримання рівняння, що описує хвильове поле, створене пластинчатою хвилею у пластині, розробка алгоритму, побудова графіків групової та фазової швидкостей для чотирьох мод у стінці газопроводу; [6] – розробка структури пристрою для вимірювання швидкості ультразвуку; [7] – розробка функціональної схеми термочутливості первинного перетворювача; [8] – удосконалення методу термокомпенсації роботи кварцового чутливого елемента; [9] – виведення залежності між величиною напруження та швидкістю поширення пластинчатої ультразвукової хвилі; [10] - метод визначення напружень у стінках газопроводів; [12] – аналіз та удосконалення ультразвукового методу проведення натурних досліджень НДС металу газопроводів.

#### **Апробація результатів дисертації**

Основні теоретичні та експериментальні результати обговорювались на науково – технічних конференціях: 4-й Міжнародній конференції "Неруйнівний контроль - 2003" (ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ), "Приладобудування 2006: стан і перспективи" (м. Київ, 2006 р.); "Приладобудування 2004: стан і перспективи" (м. Київ, 2004 р.); 8-й Міжнародній науково-практичній конференції "Нафта і газ України - 2004" (м. Судак, АР Крим, 2004 р.), X Міжнародній конференції "Леотест - 2005"(м. Славськ, Львівської області); XXII Міжнародній міжвузівській школі-семінарі "Методи і засоби технічної діагностики" (м. Івано-Франківськ 2005 р.); 4-й науково-технічній конференції і виставці "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 2005 р.); 5-й національній науково-технічній конференції і виставці "Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (Київ, 2006 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертації викладені в 12 публікаціях, в тому числі в 7 статтях фахових наукових виданнях (1 одноосібно), та у 4 матеріалах і тезах науково-технічних конференцій, одному патенті України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, основних висновків і рекомендацій, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 232 сторінки і включає 72 рисунка на 63 сторінках, 23 таблиці на 40 сторінках, список використаних літературних джерел із 96 найменувань і 16 додатків на 75 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** показано актуальність теми дисертації, її зв'язок з дослідними програмами, сформульовано мету та визначено задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

**Перший розділ** охоплює питання аналізу технічного стану діючих газопроводів, критеріїв оцінки працездатності трубопровідних конструкцій. Проаналізовано існуючі математичні моделі обчислення напружено-деформованого стану в трубопроводах, дано типи напружень, які можуть бути в діючих газопроводах. Представлено методи теоретичного розрахунку напружено-деформованого стану газопроводів у присутності різного роду концентраторів напружень, приділено увагу методу кінцевих елементів. Наведено основні механічні та хімічні характеристики сталі Х 60, які використовуються при спорудженні магістральних трубопроводів. Значну увагу приділено аналізу існуючих методів неруйнівного контролю технічного стану трубопроводів і доказано, що найбільш оптимальними є акустичні методи.

Показано, що з існуючих ультразвукових методів найбільшого поширення набув луно-імпульсний, який можна використати для контролю пластинчастими хвилями напружено-деформованого стану (НДС) газопроводів. Наведено історію розвитку використання пластинчатих ультразвукових хвиль у неруйнівному контролі. Показано, що використання пластинчатих хвиль є перспективним напрямком дослідження напружено-деформованого стану газопроводів, оскільки хвилі поширюються на великі відстані по стінці труби і з їх допомогою можна отримати інтегральну оцінку досліджуваного параметру. Поставлено задачі досліджень.

**Другий розділ** роботи присвячено розробці математичної моделі, що описує хвильове поле у стінці газопроводу, створене пластинчатою хвилею, яка складається з суперпозиції поздовжньої та поперечної хвиль при певних значеннях товщини та густини матеріалу хвилеводу, величини хвильового числа та частоти.

Для дослідження параметрів трубних сталей використано симетричну та асиметричну моди пластинчатих хвиль.

Моди пластинчатої хвилі позначаються порядковими номерами. Мода, що утворюється при мінімальному значенні частоти, позначається нульовим



індексом, наступна за частотною шкалою мода пластинчатої хвилі позначається одиничним індексом і т. д.

Одним із найважливіших критеріїв характеристики моди пластинчатої хвилі є величина дисперсії. Явище дисперсії мод ультразвукових хвиль полягає в залежності їх частоти від швидкості їх поширення. Фізично дисперсія хвилі виникає внаслідок того, що збуджуючий імпульс є відмінний за формою від дельта функції, а триває певний період часу (рис. 1а), тому сигнал поширення має вигляд хвильового пакета (рис. 1б).

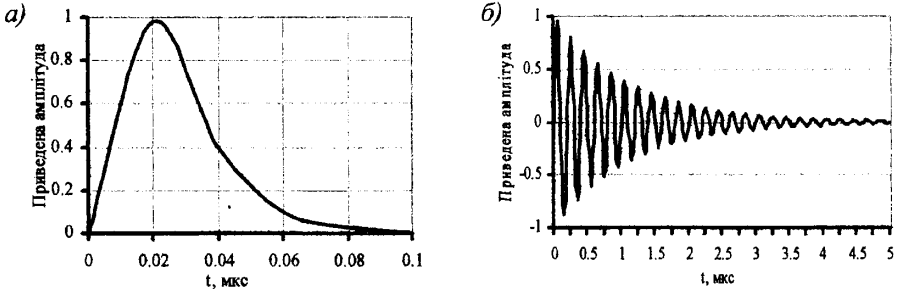


Рис. 1. Приклад дисперсії моди ультразвукової хвилі частотою 1 МГц.

Швидкість, з якою поширюється хвильовий пакет, згідно визначення Релея, називається груповою швидкістю. Водночас швидкість поширення однієї хвилі в хвильовому пакеті називається фазовою швидкістю. Фазова  $c_\phi$  і групова  $c_{gp}$  швидкості не є однаковими, їх співвідношення рівне:

$$c_{gp} = c_\phi + k \frac{\partial c_\phi}{\partial k}, \quad (1)$$

де  $k$  – хвильове число.

Математичний опис акустичного хвильового поля в пружному середовищі, яке створене пластинчатою хвилею, базується на відомих диференціальних рівняннях другого порядку технічної механіки, де зміщення елементарних частинок пружного середовища в часі виражене через елементарні напруження за трьома координатами в Декартовій системі координат. Вказані рівняння не піддаються простому інтегруванню. Проте для опису пластинчатої хвилі дані рівняння можна вирішити в окремому випадку, підставляючи в них відповідні граничні умови.

Для рішення було визначено закон коливань елементарного об'єму пружного середовища, збуреного акустичним гармонійним коливанням. При цьому було зроблено припущення, що хвильовий фронт пластинчатої хвилі є нескінченною площиною, яка є нормально розташована до напрямку поширення хвилі. Дана хвиля є однорідною (всі зміщення є однаковими в будь-який момент часу), середовище поширення є ізотропним, тому можна обмежитися розглядом поширення ультразвукової хвилі в площині тільки вздовж осі  $x_1$ , використовуючи відомі залежності теорії коливань:



$$u = Ae^{(2\pi \cdot x_1 / L_\lambda - \omega \cdot t)}, \quad (2)$$

де  $A$  – амплітуда хвилі;  $L_\lambda$  – довжина хвилі;  $\omega$  – кутова швидкість;  $u$  – зміщення елементарного об'єму пружного середовища, викликане акустичною хвилею;  $x_1, x_2, x_3$  відповідно координатні осі;  $t$  – час.

Для того, щоб можна було застосувати (2) для опису ультразвукового поля пластинчастої хвилі в пружному середовищі, було використано принцип суперпозиції й розділено його на два хвильових поля: поле поздовжньої хвилі та поперечної. В якості методу було вибрано загальноновизнаний підхід для розділення полів - метод Хельмгольца, згідно якого було визначено два хвильові потенціали, скалярну функцію  $\phi$  та векторну функцію  $\psi$ , що описують відповідно поздовжні  $U_L$  та поперечні  $U_S$  хвилі:

$$U_L = \nabla \phi, \quad U_S = \nabla \times \psi, \quad (3)$$

де  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3}$  - оператор Набла.

Враховуючи (3) та диференційні рівняння другого порядку технічної механіки, було побудовано рівняння для хвильових потенціалів у пружному середовищі, що дають змогу описати зміщення елементарних частинок пружного середовища від поздовжньої та поперечної хвилі:

$$\rho \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \phi, \quad \rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \times \psi, \quad (4)$$

де  $\lambda, \mu$  - константи Ляме.

У розділі доказано, що коливання частинок елементарного об'єму пружного середовища при поширенні пластинчастої хвилі відбуваються у площині, паралельній границям розділу, тому:

$$\frac{\partial \sigma_{nm}}{\partial x_3} = 0, \quad u_3 = 0. \quad (5)$$

де  $\sigma_{nm}$  – тензор напружень на гранях елементарної ділянки.

Виходячи з теорії технічної механіки, в ізотропному тілі можуть бути такі компоненти незалежних напружень:

$$\sigma_{nm} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ -\sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ -\sigma_{13} & -\sigma_{23} & \sigma_{33} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Враховуючи (5), отримано такі компоненти напружень для аналізу створеного пластинчастими хвилями акустичного поля в пружному середовищі:

$$\sigma_{nm} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ -\sigma_{12} & \sigma_{22} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

З врахуванням (2) - (7) було виведено рівняння для опису поширення поперечних хвиль, що створюють пластинчасту хвилю у напівнескінченному пружному середовищі:

$$\begin{aligned} u_1 &= \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \cdot A_t e^{\omega(C_n x_1 + \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \cdot x_2 / c_t - t)}, \\ u_2 &= -c_t \cdot C_n \cdot A_t e^{\omega(C_n x_1 + \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \cdot x_2 / c_t - t)}, \\ \sigma_{11} &= 2c_t^2 \cdot C_n^2 \cdot \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \omega \rho \cdot A_t e^{\omega(C_n x_1 + \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \cdot x_2 / c_t - t)}, \\ \sigma_{22} &= -\sigma_{11}, \\ \sigma_{12} &= c_t^2 \cdot \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \omega \rho \cdot A_t e^{\omega(C_n x_1 + \sqrt{1 - c_t^2 C_n^2} \cdot x_2 / c_t - t)}. \end{aligned} \quad (8)$$

де  $C_n$  – константа Снеліуса;  $c_t$ ,  $c_l$  – швидкості поширення поздовжньої та поперечної хвиль;  $A_t$  – амплітуда поперечної хвилі;  $\rho$  – густина матеріалу;  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  – зміщення у напрямках  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  відповідно.

Аналогічно до (8) в роботі виведені рівняння для поширення поздовжніх хвиль у випадку, коли створюється пластинчаста хвиля.

Для математичного опису поширення пластинчастої хвилі в пластині було враховано границі розділу пружного середовища та визначено чотири об'ємні хвилі, рис. 2 (падаючі поперечна  $S_+$  та поздовжня  $L_+$  та відбиті від другої границі розділу середовищ поперечна  $S_-$  та поздовжня  $L_-$  хвилі), які внаслідок резонансу утворюють пластинчасту хвилю. При цьому взято до уваги, що на границі розділу середовищ, згідно теореми Фур'є, частоти всіх хвиль будуть

однаковими, згідно закону Снеліуса, їх хвильові числа будуть однаковими. Таким чином, на основі (8) та аналогічних рівнянь для поздовжніх хвиль було виведено рівняння зміщень елементарного об'єму пружного середовища  $u_1$ ,  $u_2$  та відповідних їм напружень  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$  від усіх чотирьох вказаних хвиль.

Границі розділу

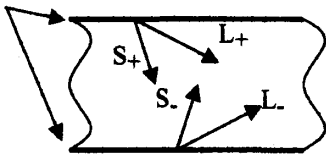


Рис. 2. Утворення пластинчастої хвилі

З метою визначення зв'язку хвильових складових згаданих чотирьох рівнянь, що описують величини зміщень елементарного об'єму та відповідних їм напружень ультразвукових поперечних та поздовжніх хвиль та побудови алгоритму їх розв'язку, було записано ці рівняння у матричній формі:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = [DF] \times \begin{bmatrix} A_{L+} \\ A_{L-} \\ A_{S+} \\ A_{S-} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де  $A_L$ ,  $A_S$  – амплітуди поздовжньої і поперечної хвиль; індекс плюс і мінус відповідно вказують на величини амплітуд на верхній та нижній границях розділу середовищ;

$$DF = \begin{bmatrix} c_1 C_H \cdot g_\beta & \frac{c_1 C_H}{g_\alpha} & C_\beta g_\beta & \frac{-C_\beta}{g_\beta} \\ C_\alpha g_\alpha & \frac{-C_\alpha}{g_\alpha} & -c_1 C_H \cdot g_\beta & \frac{-c_1 C_H}{g_\beta} \\ c_1 C_1 C_{2\beta} g_\alpha & \frac{c_1 C_1 C_{2\beta}}{g_\alpha} & -2C_H \cdot c_1 C_1 C_\beta g_\beta & \frac{2C_H \cdot c_1^2 C_1 C_\beta}{g_\beta} \\ 2C_H \cdot c_1^2 C_1 C_\alpha g_\alpha & \frac{-2C_H \cdot c_1^2 C_1 C_\alpha}{g_\alpha} & c_1 C_1 C_{2\beta} g_\beta & \frac{c_1 C_1 C_{2\beta}}{g_\beta} \end{bmatrix},$$

$$C_\alpha = \sqrt{1 - c_1^2 C_H^2}, \quad C_\beta = \sqrt{1 - c_1^2 C_H^2}, \quad C_{2\beta} = 1 - 2c_1^2 C_H^2,$$

$$g_\alpha = e^{\omega \sqrt{1 - c_1^2 C_H^2} \cdot x_2 / c_1}, \quad g_\beta = e^{-\omega \sqrt{1 - c_1^2 C_H^2} \cdot x_2 / c_1}, \quad C_1 = \omega \rho.$$

Враховуючи (9), виведено залежність, що описує хвильовий простір пружного середовища через значення компонентів зміщень та напружень елементарного об'єму на верхній і нижній границях розділу середовища, що дозволяє знайти розв'язок для багатшарової системи (наприклад, протектор, контактна рідина, об'єкт контролю):

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}_{\text{верх.гр.}} = [DF]_{\text{верх.гр.}} \times [DF]_{\text{нижн.гр.}}^{-1} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}_{\text{нижн.гр.}}. \quad (10)$$

У системі (10) невідомими величинами є значення хвильового числа, що описує як фазову, так і групову швидкості поширення пластинчатої хвилі, кут нахилу вектора поширення об'ємної падаючої хвилі для створення пластинчатої хвилі в об'єкті контролю. Систему (10) розв'язується ітераційним методом за допомогою розробленої програми.

Розроблено теорію і виведено рівняння загасання пластинчатої хвилі, яка враховує в'язкопружні властивості матеріалу та розширює розроблену модель (10) шляхом введення комплексного хвильового числа, де дійсна частина дорівнює хвильовому числу, а уявна визначає ступінь загасання амплітуди і обчислюється з рівнянь:

$$A_{\text{заг}}(l) = 1 - e^{\text{Re}(ik)} = 1 - e^{-\omega \text{Im}(C_H)}, \quad (11)$$

$$A_{\text{заг}}(\lambda) = 1 - e^k = 1 - e^{-2\pi \text{Im}(k_1) / \text{Re}(k_1)} = 1 - e^{-2\pi \text{Im}(C_H) / \text{Re}(C_H)},$$

де  $A_{заг(t)}$  – зменшення амплітуди на одиницю пройденної відстані,  $A_{заг(\lambda)}$  – зменшення амплітуди на довжину хвилі,  $k_1$  – комплексне хвильове число, де дійсна частина дорівнює хвильовому числу, а уявна визначає ступінь загасання амплітуди.

Згідно розроблених математичної моделі хвильового поля в пружному середовищі та програмного забезпечення, що обчислює модель, побудовано залежності групової (рис. 3) та фазової (рис. 4) швидкостей пластинчастої хвилі від частоти, що дають змогу отримати інформацію про конкретні номінальні значення швидкостей, які будуть мати місце в досліджуваному об'єкті для чотирьох мод: двох симетричних і двох асиметричних. Це дозволило вибрати вхідні параметри для розробки первинного перетворювача. Побудовано залежності кута нахилу первинного перетворювача (рис. 5) від частоти, що дало змогу вибірково збуджувати окремі моди та приймати їх для конкретно вибраного об'єкту дослідження як в лабораторних, так і в натурних умовах. Побудована залежність загасання амплітуди пластинчастої хвилі (рис. 6) від частоти дала змогу оцінити максимальні відстані між генеруючим та приймальним перетворювачами, на яких можна проводити неруйнівний контроль.

У розділі виведено залежності групової швидкості поширення пластинчатих хвиль від прикладених напружень:

$$\sigma = k_a \cdot \rho \cdot (c_0^2 - c_e^2), \quad (12)$$

де  $c_0$  – групова швидкість поширення ультразвукової хвилі в ненапруженому середовищі;  $c_e$  – групова швидкість поширення ультразвукової хвилі в напруженому середовищі;  $k_a$  – коефіцієнт, що залежить від акустопружних властивостей ультразвукової пластинчастої хвилі;  $\rho$  – густина пружного середовища.

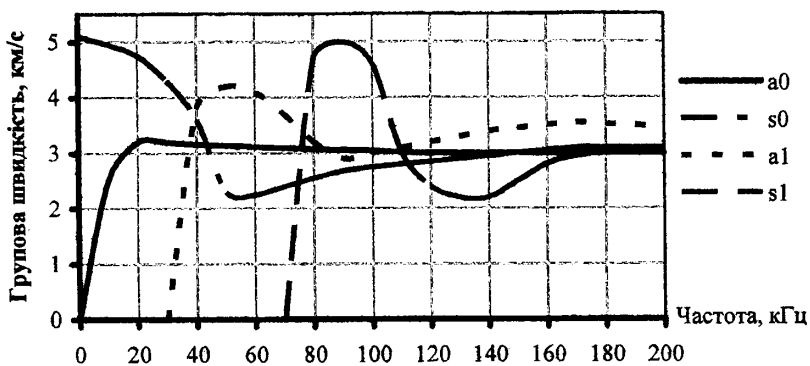


Рис. 3. Дисперсія групової швидкості пластинчатих хвиль

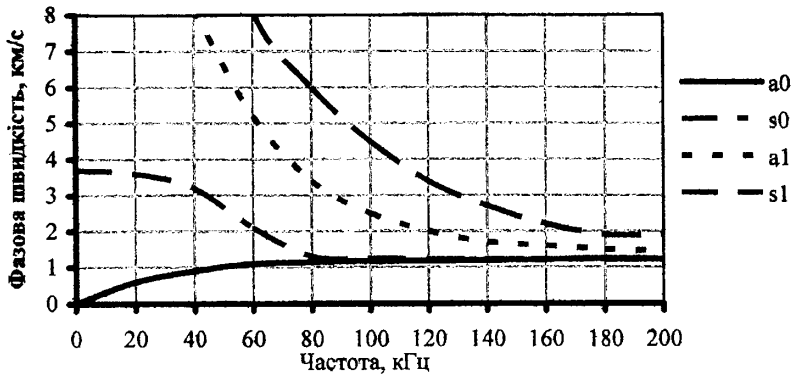


Рис. 4. Дисперсія фазової швидкості пластинчатих хвиль

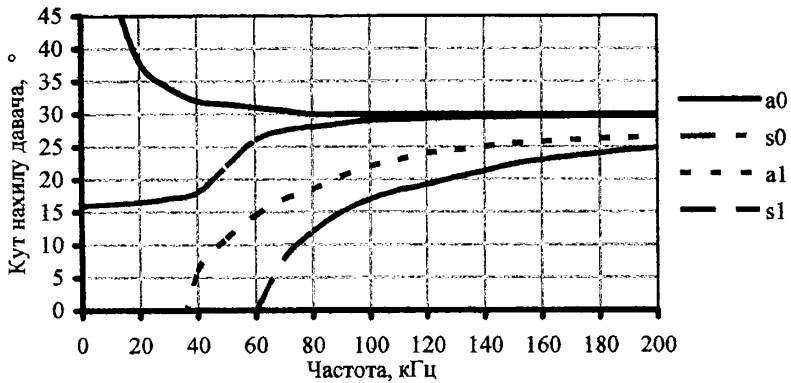


Рис. 5. Кут нахилу давача для збудження пластинчатих хвиль

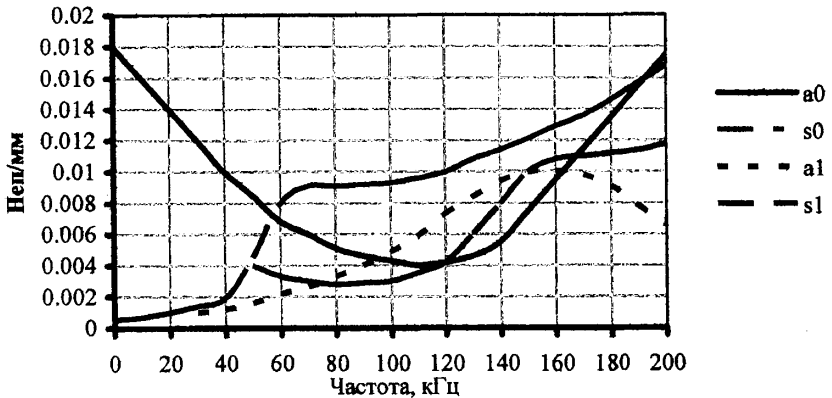


Рис. 6. Загасання амплітуди пластинчатих хвиль

Третій розділ роботи присвячено розробці ультразвукового пристрою для контролю групової швидкості поширення пластинчатих хвиль у газопроводі компресорної станції. Пристрій дозволяє високоточно визначати час поширення сигналу між передаючим і приймаючим перетворювачами. Робота пристрою полягає в наступному: схема вимірювання порівнює два імпульси з синусоїдальними коливаннями визначеної стабільної частоти. У випадку випередження імпульсом періоду синусоїдальних коливань у часі він затримується схемою затримки виділеного сигналу в межах півперіоду, де проходить співпадання фронтів, і те саме має місце у випадку його відставання. Таким чином, отримується співпадання фронтів імпульсів сигналу і синусоїдальних коливань. Схемою вимірювання часу визначається тривалість синусоїдальних коливань. Такий метод обробки сигналу дає можливість визначити швидкість поширення ультразвукових коливань, в яких зміна амплітуди та форма наростання фронтів не впливає на результат вимірювань.

Як чутливий елемент (ЧЕ) ультразвукового первинного перетворювача вибрано SC зріз кристалу кварцу, обґрунтовано його переваги перед іншими зрізами та матеріалами.

Для ЧЕ побудовано функціональну схему термочутливості, з допомогою якої можна визначити вплив температури конструктивних елементів первинного перетворювача на його роботу.

Побудовано залежність зміни частоти від температури експериментальним шляхом та апроксимовано за експериментальними даними такі аналітичні залежності:

$$\begin{aligned} \Delta f_{\theta_1} &= 0.387(T-25) - 0.119(T-25)^2 + 1.688 \cdot 10^{-4}(T-25)^3, \\ \Delta f_{\theta_2} &= 1.038(T-25) - 0.041(T-25)^2 + 3.55 \cdot 10^{-4}(T-25)^3, \\ \Delta f_{\theta_3} &= 2.011(T-25) - 0.072(T-25)^2 + 5.579 \cdot 10^{-4}(T-25)^3. \end{aligned} \quad (13)$$

де  $\Delta f_{\theta}$  - зміна частоти;  $\theta_i$  - кут зрізу ( $\theta_1 = 33^\circ 5'$ ,  $\theta_2 = 34^\circ 0'$ ,  $\theta_3 = 34^\circ 5'$ );  $T$  - температура.

На основі схеми термочутливості та (13) було розроблено модель регулювання частоти від зміни температури  $\Delta T$  чутливого елемента:

$$\Delta f_Q / f_Q \sim a \cdot \Delta T_Q + a \cdot \nabla \cdot \Delta T_Q, \quad (14)$$

де  $f_Q$  - частота роботи чутливого елемента,  $\Delta f_Q$  - зміна частоти чутливого елемента,  $a \approx 2 \cdot 10^{-7} K^{-1}$  - константа SC зрізу,  $\nabla$  - оператор Лапласа,  $\Delta T_Q$  - зміна температури.

На основі (14) було удосконалено методи компенсації впливу температури на частотні характеристики ЧЕ. Для розробленого пристрою було використано метод термокомпенсації, який полягає у врахуванні зміни зовнішньої температури. Для цієї мети використано цифровий термометр, який контролює зміну температури, відповідно до якої регулюється величина напруги електродів чутливого елемента первинного перетворювача.

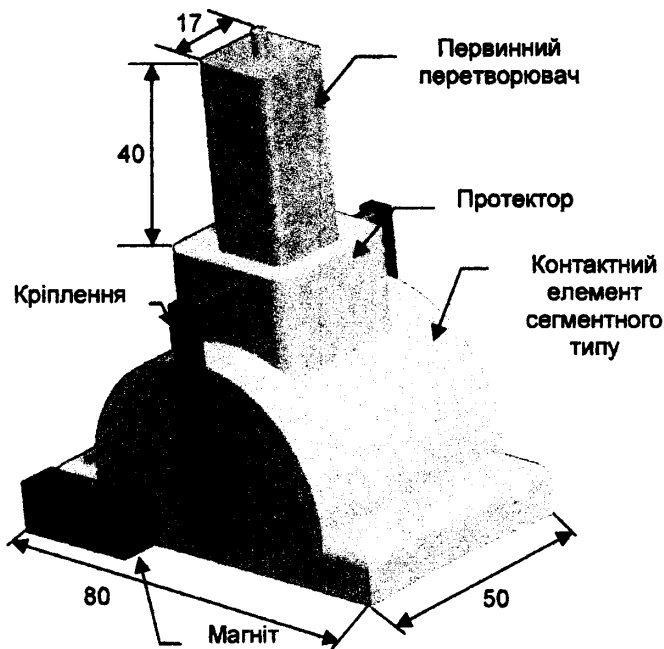


Рис. 7. Конструкція ультразвукового первинного перетворювача

Для генерування та приймання чотирьох мод пластинчатих хвиль було розроблено конструкцію первинного перетворювача (рис. 7). За допомогою регулювання кута нахилу ЧЕ можна генерувати та приймати моди пластинчатих хвиль.

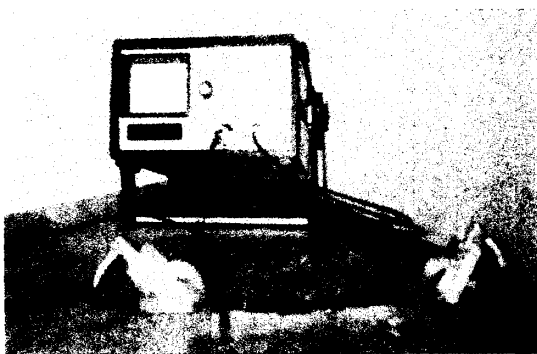


Рис. 8. Лабораторні дослідження групової швидкості поширення пластинчатих ультразвукових хвиль

Проведено метрологічний аналіз розробленого пристрою вимірювання групової швидкості поширення пластинчатих хвиль. Методична похибка дорівнює 3.96 %, інструментальна 1.27 %, сумарна похибка 5.23 %.

**Четвертий розділ** присвячений лабораторним



дослідженням величини НДС розробленим пристроєм (рис. 8) та порівнянням результатів із теоретичним методом та тензометричними вимірюваннями.

Розраховано траєкторію поширення нульових та перших симетричних та асиметричних мод коливань пластинчастої хвилі у стінці досліджуваного газопроводу компресорної станції, обчислено кути відхилення  $\alpha_k$  траєкторії від твірної труби:

$$\alpha_{ka0} = 71,69^\circ, \alpha_{ks0} = 75,78^\circ, \alpha_{ka1} = 58,14^\circ, \alpha_{ks1} = 41,71^\circ. \quad (15)$$

де індекси відповідно означають  $a_0$  – нульова асиметрична,  $s_0$  – нульова симетрична,  $a_1$  – перша асиметрична,  $s_1$  – перша симетрична моди коливань.

Проведено аналіз ультразвукового поля первинного перетворювача, представлено діаграму поля та графік залежності інтенсивності випромінювання від частоти. Представлено апроксимаційні рівняння розробленої математичної моделі групової та фазової швидкостей пластинчастої хвилі, розраховані для використання в мікропроцесорному блоці пристрою.

Рівняння залежності групової швидкості чотирьох мод пластинчатих ультразвукових хвиль із частотою 100 кГц від значення НДС сталі визначили на основі рівняння (12). Значення коефіцієнта встановили експериментально, за отриманими кривими рис. 9 – рис. 12. Рівняння залежності швидкості поширення ультразвукових хвиль від прикладеного напруження є такими:

$$\begin{aligned} \sigma_{a0} &= 1.35 \cdot 10^{-8} \cdot 7845 \cdot (9278116 - c_{a0}^2), \quad \sigma_{s0} = 1.30 \cdot 10^{-8} \cdot 7845 \cdot (7601049 - c_{s0}^2), \quad (16) \\ \sigma_{a1} &= 1.21 \cdot 10^{-8} \cdot 7845 \cdot (9162729 - c_{a1}^2), \quad \sigma_{s1} = 6.50 \cdot 10^{-9} \cdot 7845 \cdot (21418384 - c_{s1}^2), \end{aligned}$$

де  $c_{a0}$ ,  $c_{s0}$ ,  $c_{a1}$ ,  $c_{s1}$  – відповідно виміряні швидкості поширення мод ультразвукових пластинчатих хвиль нульової асиметричної, нульової симетричної, першої асиметричної, першої симетричної.

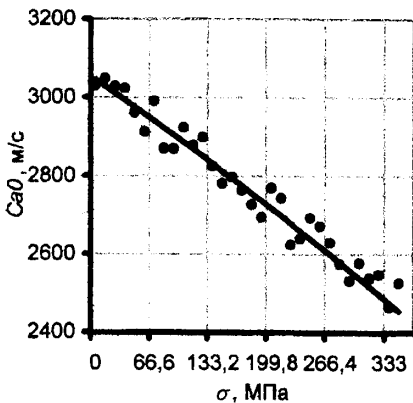


Рис. 9. Залежність групової швидкості поширення нульової асиметричної моди від значення напруження в зразку

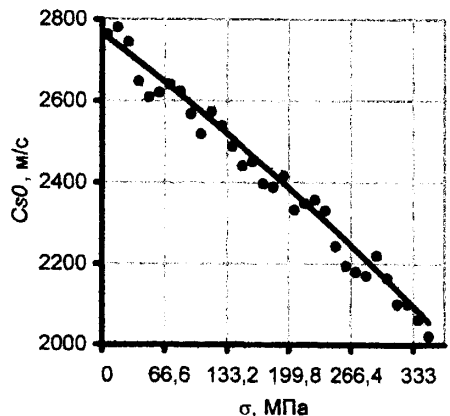


Рис. 10. Залежність групової швидкості поширення нульової симетричної моди від значення напруження в зразку

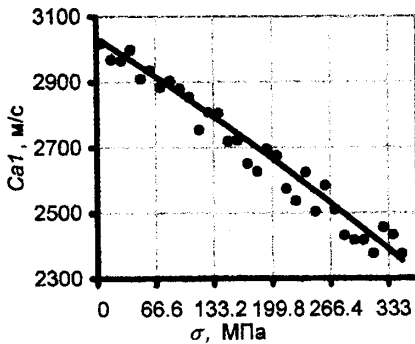


Рис. 11. Залежність групової швидкості поширення першої асиметричної моди від значення напруження в зразку

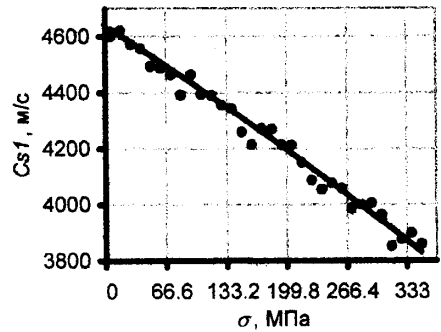


Рис. 12. Залежність групової швидкості поширення першої симетричної моди від значення напруження в зразку

Як видно з представлених графіків, діапазон зміни групової швидкості при зміні напружень від нуля до границі плинності від прикладених зовнішніх зусиль є значним, що дозволяє використовувати цей метод для контролю діючих газопроводів газокompресорних станцій.

П'ятий розділ присвячено натурним дослідженням напружено-деформованого стану діючих газопроводів компресорних станцій. Представлено порядок підготовки газопроводів до контролю розробленим методом. Розроблено послідовність кроків, що визначають технологію проведення контролю газопроводів пластинчастими хвилями. Наведено результати дослідження напружено-деформованого стану виштовхувального газопроводу газокompресорного агрегату №1 Кременчуцького лінійно-виробничого управління, отримані результати представлені у вигляді таблиці. При цьому для контролю кожної ділянки досліджуваного газопроводу використано чотири моди пластинчатих хвиль: нульові симетричну та асиметричну, перші симетричну та асиметричну. Результати контролю НДС, отримані від використаних чотирьох мод, збігаються. Проведений аналіз отриманих результатів контролю, зроблені висновки і дано рекомендації.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації на основі проведених теоретичних, лабораторних та натурних досліджень розв'язано актуальну науково-практичну задачу, яка полягає у математичному описі хвильового поля, створеного пластинчатою хвилею у пружному середовищі, встановленні закономірностей зміни групової швидкості поширення цієї хвилі від величини напруженого стану металу трубопроводу, зменшенні температурної похибки чутливого елемента ультразвукового первинного перетворювача, що дало змогу розробити

ефективний метод контролю величини напружено-деформованого стану діючих газопроводів компресорної станції. Метод дає змогу контролювати величину напружено-деформованого стану на труднодоступних ділянках газопроводу (місця защемлень, під хомутами, під опорами, на ділянках зі складною конфігурацією тощо), що неможливо виконати при точкових ультразвукових вимірюваннях, які використовуються на даний час. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. На основі проведеного теоретичного аналізу методів і засобів неруйнівного контролю для визначення технічного стану газопроводів встановлено відсутність ефективних методів і низьку точність та чутливість засобів визначення їх напружено-деформованого стану, сформульовані невирішені задачі. Доказано, що використання запропонованого акустичного методу неруйнівного контролю, який базується на поширенні пластинчатих хвиль у стінці трубопроводу, дає можливість визначити інтегральні значення напружень на певній ділянці газопроводу.

2. Розроблено математичну модель, яка описує хвильові параметри пластинчатих хвиль у багатошаровому середовищі, що дозволяє визначити умови їх генерування та поширення відповідно до значень геометричних та фізико-механічних характеристик досліджуваного середовища, групові та фазові швидкості симетричних та асиметричних мод цих хвиль та величину загасання їх амплітуди. Розроблено програмне забезпечення мовою C++, що дозволяє проводити обчислення хвильових параметрів пластинчатої хвилі запропонованої математичної моделі.

3. Розроблено метод контролю НДС складних та труднодоступних ділянок газопроводів з врахуванням фактичних навантажень і фізико-механічних характеристик металу труб, який дозволяє отримувати інтегральну оцінку значень НДС, що неможливо виконати з допомогою існуючих методів. Виведено аналітичну залежність значення НДС у стінці газопроводу від групової швидкості поширення пластинчатих хвиль, що дозволило використовувати симетричні та асиметричні моди цих хвиль для проведення контролю.

4. Удосконалено метод стабілізації частоти чутливого елемента ультразвукового первинного перетворювача від температури, дано критерії, за якими можна ефективно його використовувати. Розроблена схема термочутливості первинного перетворювача, яка дозволяє визначати температурний вплив на чутливий елемент залежно від типів матеріалів конструктивних вузлів. Цей метод дозволяє зменшити похибку визначення параметрів ультразвукової хвилі при проведенні контролю технічного стану газопроводів.

5. Розроблено пристрій, за допомогою якого можна вимірювати групову та фазову швидкості поширення мод ультразвукових пластинчатих хвиль. Вказаний пристрій є предметом патенту, на видачу якого отримано рішення ДП "Українського інституту промислової власності". Проведений метрологічний аналіз розробленого пристрою контролю НДС "Сігма" технологічних

трубопроводів КС та здійснено аналіз схеми нагромадження похибок, визначено величину кожної з складових інструментальної та методичної похибок. Сумарна похибка визначення напружень складає 5,23 %.

6. Проведено лабораторні дослідження залежності групової швидкості поширення симетричної та асиметричної мод пластинчастої хвилі від величини напружень у зразку. В результаті встановлено, що зміна величини групової швидкості відповідає зміні значення НДС зразку, визначеного теоретичним та тензOMETРИЧНИМ методами. Проведено натурні дослідження газопроводу КС, де встановлено значення максимального напруження на контрольованій ділянці 130 МПа.

Розроблений метод і пристрій можна рекомендувати для неруйнівного контролю напружено-деформованого стану трубопроводів в нафтогазовій і хімічній промисловостях, що значно розширює можливості практичного застосування результатів роботи.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мандра А. А. Удосконалення математичної моделі поширення ультразвукових пластинчатих хвиль у стінці газопроводу // Методи та прилади контролю якості. – 2006. - № 16. – С. 19-25.
2. Лютак З. П., Мандра А. А. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану технологічних трубопроводів // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (серія), вип. 11: Електромагнітний, ультразвуковий та оптичний неруйнівний контроль матеріалів: 36. наук. праць.- Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2006.- С. 48-55.
3. Мандра А. А., Лютак З. П. Розробка математичної моделі поширення ультразвукових хвиль у хвилеводах // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2006.- С. 125-134.
4. Мандра А. А., Лютак З. П. Метод попереднього визначення розподілу напружень газопроводу компресорної станції // Матеріали 5-ї національної науково-технічної конференції і виставки "Неруйнівний контроль та технічна діагностика". - Київ, 2006. - С. 366-367.
5. Мандра А. А. Акустичний контроль технологічних трубопроводів компресорних станцій // Матеріали П'ятої науково-технічної конференції "Приладобудування 2006: стан і перспективи". – Київ, 2006.- С. 251-252.
6. Мандра А. А., Лютак З. П. Пристрій для вимірювання швидкості ультразвуку. № 14093. G01N 29/28 Деклараційний патент на корисну модель 15.05.2006. Бюл. № 5.
7. Лютак З. П., Мандра А. А. Визначення впливу температури на зміну частотних характеристик ультразвукового первинного перетворювача // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (серія), вип. 10: Акустичні та електромагнітні методи неруйнівного

- контролю матеріалів та виробів: Зб. наук. праць. - Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2005.- С. 78-85.
8. Лютак З. П., Мандра А. А. Розробка моделі стабілізації частотних характеристик ультразвукових первинних перетворювачів // *Методи та прилади контролю якості.* – 2005. - № 14. – С. 37-42.
  9. Лютак З. П., Мандра А. А. Визначення напружено-деформованого стану газопроводів за допомогою ультразвукових хвиль Лемба // *Методи та прилади контролю якості.* – 2004. - № 12. – С. 24-29.
  10. Лютак З. П., Мандра А. А. Обґрунтування параметрів контролю напружено-деформованого стану магістральних трубопроводів // *Тези доп. на наук.-техн. конф. "Приладобудування 2004: стан і перспективи".* – Київ, 2004.- С. 213-214.
  11. Лютак З. П., Мандра А. А. Розробка автоматизованої системи контролю, збору і обробки інформації про технічний стан небезпечних ділянок магістральних газопроводів // *Матеріали Міжнародного промислового форуму "Виробництво і захист - 2004".* – Київ, 2004. 1 с.
  12. Лютак І. З., Кісіль І. С., Мандра А. А. Модель поширення ультразвукових хвиль у металах трубопроводів при навантаженнях // *Методи та прилади контролю якості.* – 2003. - № 11. – С. 27-31.

## АНОТАЦІЯ

**Мандра А. А. Акустичний контроль напружено-деформованого стану обв'язки агрегатів газокомпресорних станцій. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2006.

Дисертація присвячена контролю напружено-деформованого стану газопроводів компресорних станцій. З цією метою розроблені методика, пристрій контролю, що реалізує ультразвуковий метод (пластинчатими хвилями) та первинний перетворювач. Запропонована методика дає можливість контролювати напружено-деформований стан металу стінки труби в експлуатаційних умовах без використання зразків. Проведено метрологічний аналіз розробленої методики та пристрою. Результати роботи перевірялись у лабораторних та натурних дослідженнях.

Розроблено математичну модель поширення пластинчатих хвиль у стінці газопроводу. В розробленій моделі враховано явище загасання амплітуди хвилі, проведено відповідні розрахунки розробленим програмним забезпеченням.

*Ключові слова:* ультразвук, пластинчата хвиля, напружено-деформований стан, газопровід.

**Мандра А. А. Акустический контроль напряженно-деформированного состояния обвязки агрегатов газокompрессорных станций. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определение состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, 2006.

Диссертация посвящена контролю напряженно-деформированного состояния газопроводов компрессорных станций. С этой целью разработана методика, устройство контроля, которые реализуют ультразвуковой метод с использованием пластинчатых волн и первичный преобразователь. Методика базируется на разработанной математической модели распространения ультразвуковых пластинчатых волн в стенке газопровода.

Математическая модель учитывает явление затухания амплитуды ультразвуковой волны. В результате вывода математической модели получена система уравнений с комплексной переменной, для решения которой разработано программное обеспечение, основанное на итерационном методе. В результате проведенных исчислений построены графики зависимости групповой, фазовой скоростей распространения, затухания амплитуды пластинчатой волны, угла наклона чувствительного элемента первичного преобразователя от частоты.

В работе выведено зависимость изменения групповой скорости распространения ультразвуковых колебаний пластинчатой волны от приложенных напряжений к упругой среде, которая является волноводом.

Разработан ультразвуковой прибор измерения групповой скорости распространения ультразвуковой пластинчатой волны, который с высокой точностью в независимости от формы ультразвукового сигнала измеряет время между двумя импульсами. На прибор выдан патент Украины.

При конструировании первичного преобразователя в качестве чувствительного элемента выбран SC срез кристалла кварца. В работе приведено преимущества этого среза по сравнению с другими срезами и пьезоматериалами. Для чувствительного элемента построено функциональную схему термочувствительности, с помощью которой можно определить влияние температуры различных конструктивных узлов преобразователя на его работу. Построено зависимости изменения частоты чувствительного элемента от температуры. На основе схемы термочувствительности разработано модель регулирования частоты от изменения температуры.

Проведен метрологический анализ разработанного прибора и первичного преобразователя. Проведен сравнительный анализ разработанного прибора и известных методов контроля напряженно-деформированного состояния металла в лабораторных условиях. Показано, что ультразвуковой метод, который реализован в разработанном приборе, наиболее точно измеряет напряжения.

Приведено графики зависимости изменения групповой скорости пластинчатой волны от приложенных напряжений для нулевых и первых симметричной и асимметричной мод колебаний. Определено траекторию движения для всех четырех мод пластинчатой волны по газопроводу компрессорной станции.

Проведены натурные испытания разработанного прибора на газоконпрессорной станции. Приведено результаты контроля для всех четырех мод колебаний пластинчатой волны. Разработано последовательность действий для подготовки газопровода к контролю и технология неразрушающего контроля.

*Ключевые слова:* ультразвук, пластинчатая волна, напряженно-деформированное состояние, газопровод.

## ABSTRACT

**Mandra A. A. Acoustic testing of mode of deformation of gas compressors pressure-pipeline system. - Manuscript.**

The thesis is made to obtain the scientific degree of Candidate of Engineering Sciences by speciality 05.11.13 – Methods and Devices of Testing and Defining Matter Composition. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2006.

The dissertation is dedicated to approach of testing mode of deformation of gas compressors pressure-pipeline system. To achieve a goal a mathematical derivation was made and a device with a transducer was fabricated. The device implements the ultrasonic non-destructive testing method based on guided waves. Proposed method allows testing the mode of deformation of pipe metal wall in operation condition without samples. Metrological analysis of both derived method and fabricated device was preformed. Results of work were checked in laboratory and full-scale tests.

A mathematical model of guided waves propagation in gas pipe wall was derived. In derived model, wave amplitude attenuation is taken into account. Corresponding to derived model calculations were performed by developed software.

*Key words:* ultrasound, guided wave, stress, gas pipeline.

