

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На правах рукопису

(043)
УДК 620.179.1

В53

ВИСКОВ ОЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ТА ІНФОРМАТИВНОСТІ
АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТРУБНИХ ВИРОБІВ**

Спеціальність: 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:

Карпаш Олег Михайлович,

доктор технічних наук, професор



Івано-Франківськ - 2003

0 211

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	
СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	12
1.1 Аналіз існуючих методів та засобів неруйнівного контролю трубних виробів	12
1.1.1 Якість трубних колон та причини їх відмов	13
1.1.2 Існуючі види й методи контролю якості трубних виробів та їх порівняльна оцінка	16
1.1.2 Рівень розвитку та забезпечення нафтогазової галузі технічними засобами неруйнівного контролю	21
1.2 Встановлення факторів, що впливають на вірогідність результатів контролю	27
1.3 Вибір напрямків і задач досліджень	33
РОЗДІЛ 2	
РОЗРОБКА ЗНОСОСТІЙКИХ АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВВОДУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ В МАТЕРІАЛ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ	37
2.1. Методи безконтактного вводу та прийому акустичних коливань. Переваги та недоліки ЕМА-перетворювачів	37
2.2. Загальні принципи побудови традиційних ЕМА-перетворювачів	41
2.3 Розробка зносостійкого ЕМА-перетворювача лінійно-поляризованої зсувової хвилі з кутом вводу по нормалі до поверхні об'єкту контролю	44
2.4 Розробка зносостійкого ЕМА-перетворювача горизонтально-поляризованої зсувової хвилі з заданим кутом вводу до поверхні об'єкту контролю	59
2.5 Розробка технології акустичного контролю труб нафтового сортаменту	66

РОЗДІЛ 3**СИГНАЛИ З РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРА,****ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ****ЕЛЕКТРОННО-АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ 69**

- 3.1 Теоретичне обґрунтування можливості використання кодів Баркера для покращення співвідношення сигнал/шум 69
- 3.2 Двійкові коди 76
- 3.3 Результати експериментальних випробувань 80
- 3.4 Порівняльна оцінка вірогідності п'єзоелектричного і ЕМА методів НК 86

РОЗДІЛ 4**ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ****АКУСТИЧНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ 94**

- 4.1. Дослідження математичних моделей перетворення тестових сигналів в акустичних інформаційно-вимірювальних системах 98
 - 4.1.1 Математичне моделювання хвильового каналу 98
 - 4.1.2 Аналіз методів обробки вимірювальних сигналів в схемах акустичного неруйнівного контролю 105
- 4.2 Обґрунтування доцільності застосування псевдовипадкових зондуючих сигналів 109
 - 4.2.1 Аналіз структури математичної моделі об'єкту дослідження, що підлягає ідентифікації 109
 - 4.2.2 Обґрунтування можливості застосування псевдовипадкових сигналів 115
 - 4.2.3 Аналіз похибок застосування зондуючих псевдовипадкових сигналів 118
- 4.3 Рекомендації щодо технічної реалізації псевдовипадкових зондуючих сигналів 119
 - 4.3.1 Рекомендації для вибору параметрів зондуючих ПВДС 119
 - 4.3.2 Синтез зондуючих псевдовипадкових двійкових сигналів 120
 - 4.3.3 Алгоритм визначення взаємочореляційної функції 129

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ 132**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 134****ДОДАТКИ 147**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АКФ	-	автокореляційна функція
АНІ	-	Американський нафтовий інститут
АНК	-	акустичний неруйнівний контроль
ВКФ	-	взаємкореляційна функція
ЕМАП	-	електромагніто-акустичний перетворювач
НК	-	неруйнівний контроль
ОК	-	об'єкт контролю
ПВДС	-	псевдовипадкові двійкові сигнали
ПЕП	-	п'єзоелектричний перетворювач
СБТ	-	сталі бурильні труби
СОТ	-	сталі обсадні труби
СПО	-	спуско-підіймальні операції (при бурінні)

ВСТУП

Економічна політика сучасної України орієнтована на зменшення енергозалежності, тому нафтогазова галузь безумовно є пріоритетною [73]. Сьогодні слово "економіка" тісно пов'язується із словом "економія" - стратегічні інтереси нашої країни полягають у зменшенні частки імпорту нафти, газу та продуктів їх переробки, шляхом більш повного використання власних матеріальних та природних ресурсів. Сьогодні Україна володіє розвиненою системою транспорту нафти, нафтопродуктів та газу, все більш активно розробляються природні поклади як на існуючих, так і на нових нафтогазових родовищах [72, 92].

В той же час, не секрет, що нафтогазова галузь є однією з найбільш матеріаломістких галузей. Спорудження нових свердловин чи гілок продуктопроводів, так само, як і підтримування в робочому стані вже існуючих, вимагає великих фінансових затрат. Слід особливо звернути увагу й на те, що об'єкти нафтогазотранспортної системи, видобутку нафти чи газу, та їх переробки є об'єктами підвищеної небезпеки. Аварії на них можуть призвести (і призводять) не лишень до економічних втрат, але й до екологічних катастроф та, що найстрашніше, до втрат людського життя. Саме тому питанням діагностики фізичного стану елементів нафтогазового обладнання та інструменту приділялась і приділяється особлива увага.

Особливої гостроти в останнє десятиліття набула проблема якості трубних виробів, що використовуються при будівництві та експлуатації свердловин [109]. Трубний парк є в значній мірі спрацьований, з подовженим понад гарантійний термін ресурсом, а отже й ризикованим для експлуатації. Через значну зношеність ливарного виробництва труби, що щойно вийшли з заводу-виробника, нерідко уже містять потенційно-небезпечні дефекти, що з тих чи інших причин не були вчасно виявлені на стадії виробництва.

Ще раз наголосимо на тому, що будівництво та експлуатація свердловин вимагає значних фінансових ресурсів. В цих умовах питання вірогідності неруйнівного контролю (НК) та його інформативності стає особливо гострим. З однієї сторони, обладнання, що використовується при НК трубних виробів має впевнено й однозначно

виявляти дефекти, розміри, форма та розташування яких можуть призвести до аварії, з іншої сторони - не можна допустити перебракування, оскільки вилучення й заміна сумнівного за якістю елемента виливаються в значні матеріальні затрати.

Питаннями розробки технологій та технічних засобів неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту займалась значна кількість вітчизняних та зарубіжних організацій, серед них: УкрНДІТмаш (м. Дніпропетровськ), ФМІ НАН України (м. Львів), ІЕЗ ім. Патона НАН (м. Київ), УкрНДІГРІ (м. Львів), УкрНДІгаз (м. Харків), ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ), НВФ "ЗОНД (м. Івано-Франківськ), НТУ "КПІ" (м. Київ), НДІНК (м. Кишенів, Молдова), ЦНДІТмаш (м. Москва), НВО "Спектр" (м. Москва), ВНДІТнафта (м. Самара), ВНДІГІС (м. Твер), ФТІ АН Білорусі та ВО "Сертіко" (м. Мінськ). Їх зусилля були направлені, в основному, на теоретичні та експериментальні дослідження з метою розробки технічних засобів та технологій неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту. Були створені спеціалізовані технічні засоби на основі використання акустичного неруйнівного контролю, які дозволили виявляти втомні тріщини та інші дефекти в різьбових з'єднаннях сталевих, алюмінієвих, ведучих та обважнених бурових труб безпосередньо на буровому майданчику в процесі спуско-підіймальних операцій (СПО). Тим не менше питанням вірогідності акустичного контролю увага приділялась не достатньо. Хоча, слід відмітити, що окремі автори в своїх роботах [10, 16, 90] вказують на те, що вірогідність акустичного контролю під час СПО не є високою, а особливо в холодну пору року, пов'язуючи це з багатьма чинниками, серед яких основне місце займає питання забезпечення надійного акустичного контакту між перетворювачем та поверхнею труби.

Окремо слід відмітити, що лишень факт наявності дефекту в об'єкті, що контролюється, не повинен безпосередньо вказувати на необхідність екстреного виведення виробу з експлуатації. Роботи [3, 89] вказують на те, що деякі види дефектів (особливо - заводського походження) можуть бути не критичними й не впливати значною мірою на міцнісні характеристики труби в цілому, а отже, виріб можна і далі експлуатувати, економлячи кошти на його заміні. Але в цьому сенсі особливо актуальним стає питання ідентифікації типів дефектів. І хоча способам ідентифікації

дефектів присвячено також багато наукових праць [2, 13, 39 58, 104, 112], застосувати їх одразу в польових умовах не можливо.

Актуальність теми. На сьогоднішній день в нафтогазовій галузі одним з найбільш поширених видів неруйнівного контролю (НК) трубних виробів є акустичний НК. Поряд з притаманними цьому виду контролю перевагами його використання пов'язане з рядом труднощів, які негативним чином впливають на його вірогідність. Використання в процесі акустичного контролю п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) для генерування та приймання акустичних коливань в матеріалі об'єкту контролю (ОК) вимагає введення додаткового проміжного акустичного середовища між поверхнями ПЕП та ОК. Порушення стабільності проміжного акустичного середовища безпосередньо впливає на вірогідність результатів НК. Наявність на поверхні ОК слідів корозії ускладнює забезпечення стабільного акустичного контакту і на практиці контролю призводить до пропуску дефектної ділянки або до невірної оцінки основних параметрів дефектів (координат залягання та еквівалентних розмірів). Поряд з цим при тривалій експлуатації ПЕП змінюють свої геометричні розміри внаслідок тертя по поверхні об'єкта контролю, а отже змінюються й параметри акустичного тракту в цілому. Це призводить до значного відхилення від технології контролю. Вказана зміна відбувається неперервно, а тому її особливо важко попередити.

Важливою складовою загальної вірогідності акустичного НК є також вірогідність інтерпретації його результатів. Дефект необхідно не лишень виявити, але й вірно визначити його основні параметри. На даний час відомі методи визначення параметрів дефектів, але їх використання в польових умовах (наприклад, при підйомі труб із свердловини) пов'язане з труднощами (забезпечення належної швидкості контролю, негладкий стан поверхні ОК, нестабільні кліматичні умови і т.д.), що негативно впливають на вірогідність результатів, отриманих цими методами.

Вищенаведені чинники зумовлюють актуальність задачі розробки та впровадження нових засобів та технологій, які дозволили б з високою вірогідністю проводити акустичний НК труб нафтового сортаменту та впровадити нові методи

ідентифікації параметрів дефектів, придатні для реалізації в польових умовах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами підтверджує її актуальність. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з:

- Державною науково-технічною програмою з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки 1997 року (завдання 04.03/01435-2/471-97 “Розробка технічних засобів і технологій оцінки фактичного технічного стану нафтогазового обладнання та інструменту”);

- галузевою науково-технічною програмою Держнафтогазпрому України на 1997 – 2001 рр - “Створення, освоєння випуску та впровадження у виробництво комплексу технічних засобів і технологій неруйнівного контролю та технічної діагностики трубних колон, бурового та нафтогазопромислового обладнання та інструменту. Організаційне, технічне, методичне та кадрове забезпечення”.

Роботи із створення новітніх технологій неруйнівного контролю та нормативного забезпечення контролю якості належать до пріоритетних напрямків науково-технічної політики нафтогазової галузі України. Така увага на рівні держави й галузі свідчить про беззаперечну важливість і актуальність цієї проблеми для України і підтверджує необхідність подальших робіт в цьому напрямку з урахуванням сучасних тенденцій у вирішенні проблем забезпечення якості матеріалів та виробів.

Мета роботи полягає в розробці та впровадженні методів, технічних засобів та технологій для підвищення вірогідності та інформативності результатів акустичного неруйнівного контролю трубних виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати існуючі методи та умови роботи засобів акустичного НК трубних виробів та встановити фактори, які є критичними для забезпечення вірогідності результатів контролю;

- дослідити безконтактні методи збудження акустичних коливань, встановити їх переваги і недоліки для контролю трубних виробів;

- розробити та випробувати нові конструкції безконтактних акустичних перетворювачів для НК труб нафтового сортаменту, забезпечивши при цьому необхідний рівень чутливості електронно-акустичного тракту системи „об’єкт контролю - безконтактний акустичний перетворювач – акустичний дефектоскоп”;

- аналітично дослідити характер перетворення тестових акустичних сигналів в залежності від фізичних параметрів дефектів;

- розробити метод однозначної ідентифікації параметрів дефектів, придатний для використання на підприємствах нафтогазової галузі в польових умовах;

- розробити методіку вибору параметрів зондуючих сигналів з метою мінімізації похибки ідентифікації параметрів дефектів.

Об’єктом дослідження є акустичні перетворювачі та електронно-акустичний тракт акустичних дефектоскопів.

Предметом дослідження методи, технічні засоби та технології підвищення достовірності та інформативності неруйнівного контролю трубних виробів.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались чисельні методи математичного аналізу, методи технічної діагностики, методи кореляційного аналізу, положення акустичної теорії коливань та випромінювання. Під час проведення експериментальних досліджень та обробки їх результатів застосовувались методи теорії ймовірності та прикладної статистики. Розробка технічних засобів здійснювалась з використанням методів схемотехніки та системотехніки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- розроблено математичну модель перетворення тестових сигналів в акустичних інформаційно-вимірювальних системах;

- дістало подальший розвиток застосування складномодульованих сигналів, а саме псевдовипадкових кодових послідовностей Баркера для покращення чутливості

електронно-акустичного тракту систем акустичного неруйнівного контролю з використанням електромагніто-акустичних перетворювачів (ЕМАП);

- встановлено, що при використанні в якості зондуючого сигналу фазомодульованих послідовностей за кодом Баркера співвідношення сигнал/шум акустичних систем з ЕМАП для умов, коли сигнал є маскований шумом, покращується на 8-17,5 дБ в залежності від довжини кодованого сигналу;

- дістало подальший розвиток використання шумоподібних сигналів (М-послідовностей) в процедурі параметричної ідентифікації дефектів. Вперше запропоновано використання процедури параметричної ідентифікації для визначення параметрів дефектів, що виникають в тілі труб нафтового сортаменту.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані технічні засоби та технології з високою вірогідністю дають змогу проводити акустичний неруйнівний контроль труб нафтового сортаменту безпосередньо в польових умовах, шляхом використання безконтактних зносостійких акустичних перетворювачів, акустичних каналів з підвищеною чутливістю та методу параметричної ідентифікації дефектів.

Окремі технічні засоби та технології (зносостійкі електромагніто-акустичні перетворювачі, спосіб підвищення чутливості з використанням шумоподібних зондуючих сигналів) пройшли апробацію в умовах науково-виробничої фірми „ЗОНД” – головної організації нафтогазової галузі України з питань неруйнівного контролю та технічної діагностики.

Особистий внесок здобувача. Основі положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема, особисто автором:

- обґрунтовано переваги застосування електромагніто-акустичного методу збудження акустичних коливань для підвищення вірогідності акустичного неруйнівного контролю трубних виробів [41, 54];

- запропоновано для використання як зондуючих спеціальних сигналів з властивостями, які забезпечують ідентифікацію сигналу (фазомодульований код

Баркера), при підвищенні абсолютної чутливості ультразвукових акустичних систем з ЕМАП [53];

- розроблена математична модель акустичного каналу, на основі якої розроблена процедура параметричної ідентифікації дефектів [57];

- визначено необхідні та достатні вимоги до параметрів акустичних сигналів, що застосовуються для процедури параметричної ідентифікації [88];

- розроблено конструкції зносостійких ЕМАП для генерування та прийому лінійно-поляризованої зсувової хвилі по нормалі до поверхні контролю та горизонтально-поляризованої зсувової хвилі під заданим кутом до поверхні контролю [11].

Із робіт, що опубліковані у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри “Методи та прилади контролю якості та сертифікації продукції” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) у 1998, 1999, 2000 рр., на третій Українській науково-технічній конференції “Неруйнівний контроль та технічна діагностика-1997” (м. Дніпропетровськ), на міжнародній конференції “Фізичні методи та засоби контролю матеріалів та виробів “Леотест-2000” та “Леотест-2001” (м.Славське Львівської області), на II міжнародній конференції «Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике» (м. Мінськ) у 1998 р., на науково-технічних конференціях „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання” (м. Івано-Франківськ) у 1999 та 2002 р.р.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 друкованих праць, з них 6 - у фахових виданнях („Методи та прилади контролю якості”, „Фізичні методи та засоби контролю середовища, матеріалів та виробів”, „Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”), прийнято до розгляду (09.2002 р.) 2 заявки на одержання патентів ФРН.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз існуючих методів та засобів неруйнівного контролю трубних виробів.

З метою визначення основних напрямків досліджень було проаналізовано передові досягнення вітчизняної та закордонної науки і техніки, описи винаходів, реалізованих на кращих взірцях вітчизняних та закордонних машин та обладнання, матеріалах та технологічних процесах і технічних рішеннях засобів неруйнівного контролю.

Особливу увагу при цьому аналізі було приділено розробкам в сфері засобів для неруйнівного контролю трубних виробів, які проводяться в нашій країні такими організаціями, як ДКТБ ІЕЗ (м. Київ), НДТІ (м. Дніпропетровськ), НВФ "ЗОНД" (м. Івано-Франківськ)[42, 46, 48, 49, 51, 52]. В закордонній практиці питаннями неруйнівного контролю бурильних труб велику увагу приділяють американські фірми «А.М.Ф.Тюбоскоп», «Ветко», «Дрилко», «Пластик Аплікейтурс», «Дейві Юнайтед», які випускають дефектоскопічні установки «Соноскоп», «Веткоскоп», «Аналог IV», «Сканалог-500» та ін. Вивчалися роботи фірм «Крауткремер» (ФРН), яка поряд з іншими засобами неруйнівного контролю випускає дефектоскопічні установки «РОТ-50», «РОТ-120», «РЕК-500», «Ультрасонікс» для контролю труб діаметром від 10 до 500 мм [117].

Наші вчені, зокрема, М.П.Альошин, А.К.Гурвіч, В.Г.Щербінський, С.М.Маєвський, Б.І.Виборнов, Г.М.Саркісов, М.Д.Щербюк, О.Л.Ільський, І.Г.Мігаль, Є.І.Крижанівський, В.О.Троїцький, А.В.Мозговий, П.Я.Криничний, О.М.Карпаш внесли суттєвий вклад в теоретичні та експериментальні дослідження з розробки засобів та технологій неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту, в тому числі різьбових частин [43, 44, 50, 71, 76, 77] з прогнозування ресурсу трубних колон, з вирішення інших питань контролю якості та забезпечення ефективного використання трубних колон.

1.1.1 Якість трубних колон та причини їх відмов.

При розробці та експлуатації нафтових і газових родовищ однією з найвідповідальніших складових є бурильні, обсадні та насосно-компресорні колони, які складаються з окремих труб, з'єднаних по різьбі безпосередньо одна з одною або через з'єднувальні елементи (муфти, замки, перевідники). Бурильні колони забезпечують підвід енергії до породоруйнуючого інструменту, подачу промивної рідини, створення осевого навантаження на долото та сприйняття реактивного моменту. Обсадні колони використовують для кріплення стовбура свердловини, герметичного роз'єднання горизонтів, сполучення свердловини з гирловим та противикидним обладнанням тощо. Колони насосно-компресорних труб встановлюються при експлуатації та ремонті нафтових і газових свердловин для підйому на поверхню продуктів, що видобуваються, або промивальної рідини.

З огляду на наведене в стандарті [22] визначення, якість трубної колони слід розглядати як сукупність властивостей та характеристик, здатних забезпечити певні потреби (тобто експлуатаційну надійність) у відповідності з призначенням.

В процесі експлуатації трубні колони, незалежно від їх призначення, сприймають різного роду силові та температурні навантаження, зазнають впливу багатьох несприятливих факторів - агресивних середовищ, високих температур, тощо. Тож для підтримання працездатності вони повинні протидіяти цим впливам та навантаженням, зберігаючи певну міцність та герметичність. Під міцністю тут і далі мається на увазі здатність колони сприймати без руйнування всі діючі навантаження, під герметичністю – її непроникність для рідин та газів.

Різні за призначенням трубні колони відрізняються одна від одної як компоновкою, так і умовами роботи. В загальному випадку трубну колону можна розглядати як механіко-гідролічну систему з ряду послідовно з'єднаних елементів, відмова кожного з яких спричиняє відмову всієї системи, а в ряді випадків – і аварійну ситуацію [86]. Під час роботи на колону впливають статичні та динамічні навантаження, температурні фактори, агресивне середовище і т.ін.

Найменшого впливу несприятливих факторів зазнає обсадна колона [19]. Призначена для кріплення стінок свердловини, вона складається з відносно невеликої

кількості ланок. В якості з'єднувальних елементів (якщо це не безмуфтові труби) використовуються муфти, які після встановлення колони не замінюються. Характер діючих навантажень переважно статичний, динамічні навантаження мають тимчасовий характер. Але, незважаючи на це, відмови обсадних труб є причиною 8% аварій в бурінні [65, 68]. Найбільш характерними серед них є:

- під час спуску обсадної колони - зминання та руйнування обсадних труб по тілу внаслідок "прихоплення"; обрив труб по різьбі;
- протягом експлуатації обсадних колон - руйнування різьбових з'єднань в процесі поглиблення свердловини під наступну колону; деформація та зминання труб; корозія.

Найбільш поширеними причинами відмов обсадних труб є [65]:

- невідповідність обраних труб умовам даної свердловини;
- невідповідність якісного стану труб нормованим значенням;
- порушення технології згвинчування труб з муфтами або між собою;
- порушення технології провідки та експлуатації свердловин (перевищення навантажень проти розрахункових, що спричиняє також послаблення різьбових з'єднань);
- корозія.

При цьому до 80% аварій з обсадними колонами пов'язано з різьбовими з'єднаннями [107].

Силові фактори, що виникають під час експлуатації насосно-компресорних колон [20], більш різноманітні й інтенсивні. Характерними для цих колон є відмови різьбових з'єднань під дією зусиль і факторів, обумовлених способом експлуатації свердловини, їх корозійне руйнування, розгвинчування, промиви, зріз витків [90]. Серед причин відмов переважають ті ж, що й для обсадних колон (неналежна якість труб або їх невідповідність умовам свердловини, відхилення в технології збирання та експлуатації та ін.). Крім того, для насосно-компресорних труб характерним є втомне руйнування по останній нитці різьби, що знаходиться в спряженні, та поломки по тілу, переважно обумовлені зношуванням та корозійним пошкодженням [4].

Відмови насосно-компресорних колон, пов'язані з різьбовими з'єднаннями, складають понад 55% від загальної кількості.

Найбільш жорсткими є умови експлуатації бурильних колон. Характер навантажень, що сприймаються бурильною колоною, визначається способом буріння, властивостями породи, що руйнується, траєкторією свердловини та рядом інших факторів [86]. При всіх способах буріння неминучі осьові навантаження розтяг-стиску; згинаючі зусилля, обумовлені кривизною стовбура свердловини та просторовим згином самої колони; тертя об стінки свердловини; динамічні навантаження під час спуско-підіймальних операцій. Під час роторного буріння (а воно зараз переважає), крім перелічених, діють силові фактори, пов'язані з обертанням колони, тому одночасно з зростанням обсягів буріння роторним способом підвищились вимоги до якості елементів та з'єднань бурильних колон. Особлива увага при цьому приділяється надійності та герметичності з'єднань [63, 108].

Аварії з бурильними трубами відбуваються під дією значних знакозмінних навантажень, а також внаслідок розмиву та зносу різьбових з'єднань [6, 82]. Майже половину з них (48%) спричиняє злом втомного походження по першому витку різьби труби, що знаходиться в спряженні з бурильним замком [84]. Ще 10% руйнувань різьбових з'єднань бурильних труб пов'язано з промивами різьби (як трубної, так і замкової) та зі зношуванням замкової різьби внаслідок частого згвинчування-розгвинчування в процесі спуско-підіймальних операцій. Причиною зазначених руйнувань різьби в більшості випадків є неналежна якість згвинчування з'єднань та їх послаблення в процесі експлуатації під дією силових факторів.

До 30% аварій з бурильними трубами спричинено поломками по тілу. Поломки такого роду обумовлені зношуванням, корозією, а також втомою. Втомне пошкодження відбувається в результаті дії знакозмінних навантажень і часто провокується неоднорідністю структури металу, наявністю концентраторів напружень, монтажним перенапруженням з'єднань з натягом, наслідками термічного впливу [40].

1.1.2 Існуючі види й методи контролю якості трубних виробів та їх порівняльна оцінка.

Згідно з сучасною класифікацією [26, 27], всі існуючі види неруйнівного контролю за спільністю фізичних принципів, на яких вони ґрунтуються, поділені на 13 груп: акустичний контроль, вихрострумний, радіохвильовий, радіаційний, електричний, тепловий, оптичний, органолептичний, візуальний, електрогазодинамічний, магнітний, контроль проникаючими речовинами та газорозрядна візуалізація й фотографування в полях високої напруги. Суть реалізованих в цих видах методів контролю полягає в оцінці якісних характеристик (наявність дефектів, фізико-механічні властивості, геометричні розміри, ступінь напруженості) виробів чи конструкцій через взаємопов'язані з цими характеристиками фізичні параметри (наприклад, акустичний опір, електропровідність, поглинання, відбиття чи розсіювання проникаючих променів та пружних хвиль тощо).

Кожен з цих методів має свою сферу застосування, свої переваги й недоліки, і конкретний вибір передбачає врахування багатьох факторів. Наприклад, якщо говорити про дефектоскопію – а цей напрямок є найбільш опрацьованим – то слід брати до уваги матеріал, форму і розміри виробу; стан поверхні і доступність зони контролю; вид, місцезнаходження та розміри очікуваного дефекту; критерії відбракування; умови проведення контролю; технічну та технологічну забезпеченість. Якщо ж орієнтуватись на комплексний контроль якості, то необхідно одночасно оцінювати придатність методу для контролю декількох параметрів.

В загальному випадку якісний стан трубної колони визначають наступні параметри [86]:

- 1) геометричні параметри тіла труб (внутрішній та зовнішній діаметри, товщина стінки, величина та характер зносу, зігнутість, різностінність тощо);
- 2) геометричні параметри різбових ділянок (параметри різби та вузлів додаткової герметизації, ступінь зносу різби, співвісність з'єднання);
- 3) несуча спроможність та герметичність з'єднань елементів колони;
- 4) наявність внутрішніх та поверхневих дефектів в тілі й різбових ділянках;
- 5) міцнісні та пружні характеристики матеріалу елементів трубної колони, твердість їх поверхневого шару;

б) величина та характер розподілу напружень по товщині, в тому числі монтажних напружень.

Цей перелік узгоджується з рекомендаціями АНІ [118].

З метою обмеження номенклатури використовуваних приладів, а отже, й здешевлення комплексного контролю, бажано орієнтуватись на ті види неруйнівного контролю, які забезпечують оцінку не одного, а декількох показників. Більшість параметрів, що визначають якість трубної колони, може бути оцінена за допомогою акустичного, вихрострумового та магнітного видів контролю [23, 74, 75, 93] отже, коротко розглянемо переваги, недоліки й обмеження кожного з них.

Акустичні методи ґрунтуються на властивості пружних коливань звукового та ультразвукового (від $1.5 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц) діапазонів розповсюджуватись в пружних середовищах у вигляді спрямованих пучків і змінювати свої параметри (амплітуду, швидкість поширення, відбиття, заломлення та ін.) в залежності від характеристик та стану контрольованого середовища [14, 69, 100, 101]. В звуковому діапазоні використовуються методи акустичного імпедансу та вільних коливань. Методи ультразвукової дефектоскопії твердих тіл (тіньовий, резонансний, велосиметричний та імпульсний луно-метод) добре досліджені й описані, забезпечують достатньо високу чутливість і різняться між собою в основному способами розташування перетворювачів відносно об'єкту контролю та характером дефектів, що виявляються. Але ці методи не обмежуються дефектоскопією – ультразвук може бути використаний для визначення пружних та міцнісних характеристик металу та інших матеріалів [70]. Акустичні методи відрізняються високою продуктивністю, порівняно легко піддаються механізації та автоматизації, дозволяють документувати й обробляти результати контролю [35, 52]. Великою перевагою ультразвукового методу є можливість проведення контролю безпосередньо недосяжних елементів (наприклад, різьбових частин згвинчених з'єднань) при односторонньому доступі до об'єкту [47]. Основним обмеженням цього методу є вплив на результати контролю наявності та властивостей проміжного акустичного середовища.



2.34

Вихрострумний контроль ґрунтується на залежностях амплітуди, фази, траєкторій, перехідних характеристик та спектру частот струмів, що збуджуються в об'єкті контролю, від його (об'єкта) форми, розмірів, фізико-механічних властивостей і суцільності матеріалу, віддалі від давача, частоти й швидкості переміщень та ін. [93]. Відповідно до цього метод знайшов застосування в чотирьох напрямках: виявлення поверхневих та приповерхневих дефектів, контроль фізико-механічних властивостей, вимірювання розмірів деталей та товщини покриттів, вимірювання параметрів вібрацій і переміщень деталей. Як бачимо, метод охоплює широкий спектр якісних показників і дає можливість реалізації багатопараметрового контролю. Особливе зацікавлення викликає придатність способу для контролю процесу втоми та контролю залишкових напружень [93]. Але універсальність методу спричиняє й його основний недолік: необхідність відстройки від завад і пов'язану з цим складність інтерпретації результатів контролю. До безсумнівних переваг методу належать його висока продуктивність, безконтактність, придатність до автоматизації. Вихрострумні перетворювачі прості за конструкцією, витривалі до механічних та атмосферних впливів, але чутливість контролю залежить від розмірів перетворювача. Основним обмеженням у застосуванні цього виду неруйнівного контролю є мала глибина проникності електромагнітного поля в контрольоване середовище.

Магнітний контроль використовується в основному для виробів з ферромагнітних матеріалів, здатних суттєво змінювати свої магнітні характеристики під впливом зовнішнього магнітного поля. Цей вид контролю базується на реєстрації магнітних полів розсіювання, виникаючих над дефектами, або на визначенні магнітних властивостей виробу, які характеризують його механічні та структурні характеристики, і забезпечує виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів, вимірювання товщини та визначення структури й механічних властивостей [111]. З огляду рекомендації АНІ [118] щодо застосування магнітопорошкового та магнітографічного методів для контролю відкритих різьб, зупинимось на них детальніше. При магнітопорошковому методі поля розсіювання над дефектами фіксуються за допомогою ферромагнітних часток (магнітних порошоків, суспензій, часто люмінесцентних). Цей метод забезпечує

виявлення тільки поверхневих тріщин, правда, навіть при дуже малому їх розкритті (порядку 3”). Низька продуктивність, нетехнологічність та високі вимоги до якості поверхні в зоні контролю (бо дрібні риси індикуються як дефекти) суттєво обмежують застосування цього методу. Магнітографічний метод передбачає фіксацію полів розсіювання за допомогою магнітної стрічки з наступним зчитуванням та розшифровкою одержаного запису. Застосування його ускладнюється розшифровкою записів магнітних стрічок. Ферозондовий метод полягає і реєстрації магнітних полів розсіювання за допомогою магніточутливих перетворювачів напруженості або градієнта магнітного поля в електричний сигнал (так званих ферозондів). Метод забезпечує виявлення поверхневих та приповерхневих дефектів з малим розкриттям на глибині до 10 мм, але достовірність результатів нестабільна внаслідок їх залежності від неоднорідності магнітних властивостей матеріалу, внутрішніх напружень та ін.

До основних недоліків магнітного контролю слід віднести неможливість виявлення внутрішніх дефектів в товщі металу, необхідність розмагнічування проконтрольованого виробу, а також потребу в безпосередньому доступі до поверхні контролю [111].

Не описані тут інші види та методи неруйнівного контролю або мають іншу сферу застосування, або явно непридатні для вирішення задач оцінки якості елементів та з'єднань трубних колон.

Отже, підсумовуючи огляд, можна зауважити, що всі три розглянуті види можуть використовуватись для комплексного неруйнівного контролю трубних колон, але найбільш доцільним для цього є використання методів акустичного контролю. Ці методи реалізуються з використанням серійної ультразвукової апаратури і забезпечують відповідну до встановлених критеріїв відбракування точність вимірювань [99, 81]. Вони дозволяють виявляти дефекти довільної орієнтації як на поверхні, так і в товщі металу, визначати геометричні характеристики елементів трубних колон (діаметр, товщину стінки, величину зносу та ін.), оцінювати якість згинування різьбових з'єднань, і все це при односторонньому доступі, мають високу чутливість та роздільчу здатність. Крім цього, акустичні методи є єдино можливими

для проведення контролю елементів різьбових з'єднань на предмет виявлення втомних тріщин та інших дефектів без розгвинчування з'єднання, а як показано в попередньому розділі, саме руйнування різьбових з'єднань є причиною більшості відмов трубних колон.

Отже, акустичний контроль можна вважати основним в реалізації заходів з комплексного неруйнівного контролю елементів та з'єднань трубних колон.

1.1.3 Рівень розвитку та забезпечення нафтогазової галузі технічними засобами неруйнівного контролю

На сьогодні нафтова та газова галузі мають у своєму розпорядженні достатньо різноманітних типів ультразвукові дефектоскопічні установки, окремі дефектоскопи та товщиноміри, які успішно використовуються для виявлення зазначених видів дефектів як в польових умовах, так і в умовах трубних баз. Серед них - як окремі ультразвукові дефектоскопи типу УДМ-1, УДМ-3, ДУК-66П, УД-10УА, УД-11А і УД2-12, УД2-70, УД3-71, так і стаціонарні, пересувні та переносні засоби неруйнівного контролю елементів нафтопромислового інструменту та обладнання радянського і вже українського виробництва [40].

Стаціонарні дефектоскопічні установки

Стаціонарна установка “Карпати” для автоматизованого ультразвукового контролю бурильних труб [71]

Установка дозволяє виявляти дефекти заводського (пов’язані з технологією виготовлення труб) і експлуатаційного походження, пов’язані з їх використанням при бурінні свердловини, в тілі бурильних труб, що мають поздовжню і поперечну орієнтацію відносно осі труби, в тому числі тріщини втоми в різьбовій частині навіть при наявності нагвинчених замкових деталей, визначати місцезнаходження цих дефектів і вимірювати товщину стінки.

Апаратура установки базується на імпульсному методі відлуння ультразвукової дефектоскопії. В якості первинних перетворювачів установка використовує п’єзоелектричні перетворювачі.

Комплексна установка БУР-1 [55]

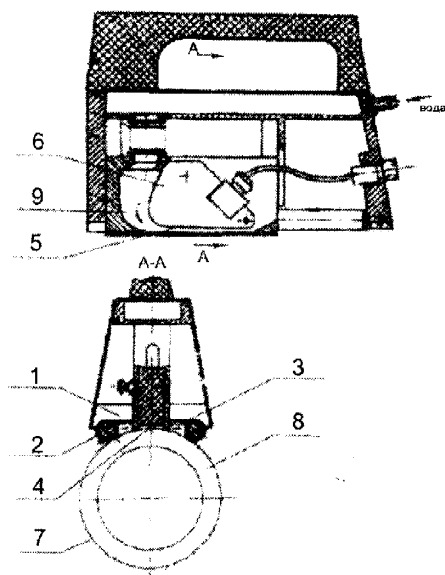
Установка призначена для дефектоскопії і товщинометрії сталевих і легкосплавних бурильних і сталевих обсадних труб з товщиною стінки 6...14 мм, з зовнішнім діаметром 102...325 мм і довжиною від 6 м до 12 м. Вона виявляє дефекти типу порушення суцільності металу в тілі труби, виявляючи тріщини втоми в різьбовій частині, перекритій

замком, контролює відхилення товщини стінки за межі встановленого допуску і вимірює товщину стінки в будь-якому січенні при нерухомій трубі.

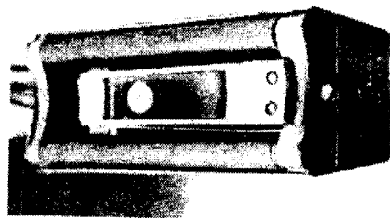
Установка розрахована для роботи в технологічних лініях ремонту труб на трубних базах бурових підприємств, а також в умовах цехів металургійних підприємств, що випускають труби нафтопромислового сортаменту.

Недоліком сканера стаціонарної установки є те, що при збільшенні швидкості обертання труби при русі по нерівностях зовнішньої поверхні труби можливе порушення акустичного контакту за рахунок зміни відстані між протектором і поверхнею труби.

Авторами установки [55] була запропонована конструкція п'єзоперетворювача, яка зменшує вірогідність виникнення подібної ситуації (рис. 1.1).



а)



б)

Рис. 1.1 - Конструкція п'єзоперетворювача установки БУР-1:

а) - конструкція перетворювача

б) - зовнішній вигляд перетворювача

Відмінною особливістю цієї конструкції є те, що одна із стінок стабілізуючих камер 1 виконана у вигляді обмеженого катка 2, діаметр якого вибраний із розрахунку, що рівень води 3 в стабілізуючій камері 1 був вищий рівня води в щілинному зазорі 4 між випромінюючою поверхнею 5 перетворювача 6 і поверхнею 7 контрольованої труби 8. Ця різниця рівнів забезпечує стійкий рух, близький до ламінарного, струменю води 9 в щілинному зазорі і перешкоджає захопленню бульбашок повітря при обертанні труби. Покриті гумою катки в процесі обертання труби пружно перекочуються по шорсткій поверхні труби і забезпечують належне ущільнення стабілізуючої камери.

Автоматична ультразвукова установка БУР-1М [55]

Установка являє собою модернізований варіант установки БУР-1. Вона розроблена в 1970-1971 рр. інститутами ВНДІНК (м. Кишинів) та ВНДІнафта (м. Самара) при участі ЦНДЛ ВАТ «Укрнафта» (м. Івано-Франківськ).

На відміну від установки БУР-1 електронна частина установки БУР-1М виконана у відповідності з вимогами автоматизованої системи неруйнівного контролю – ВСНК.

Установка складається з двох частин: електронно-акустичної і електро-механічної. В електронно-акустичну частину входять чотириканальний дефектоскоп і товщиномір з механізмом переміщення акустичних блоків для контролю тіла труб і два дефектоскопи для контролю різьбової частини сталевих бурильних труб, в електро-механічну частину – пристрій для очищення труб перед контролем, механізм подачі і відводу контрольованих труб, механізм обертання труби під час контролю й електросилова шафа з пультом керування всіма механізмами установки.

Трубу встановлюють в зоні контролю і контролюють за допомогою перетворювачів, розміщених в каретці, яка опускається на трубу, що обертається. Завдяки розвороту коліс каретки забезпечується її переміщення вздовж труби і сканування поверхні труб по гвинтовій лінії.

На каретці встановлені три перетворювачі, що прикріплені шарнірно до вилок і оснащені швидкознімними перетворювачами з твердих сплавів для настроювання на відповідний діапазон труб. Під кожен перетворювач подається вода.

Стаціонарна установка “Зонд-СОТ” для автоматизованого комплексного неруйнівного контролю сталених обсадних труб [85]

Стаціонарна установка “Зонд-СОТ” розроблена в науково-виробничій фірмі “Зонд” (м. Івано-Франківськ) на замовлення АТ “Укргазпром”. Установка дозволяє в автоматизованому режимі виявляти дефекти поздовжньої і поперечної орієнтації заводського походження у тілі сталених обсадних труб, визначати місце розташування цих дефектів і вимірювати товщину стінки, а також в ручному режимі визначати групи міцності та проводити дефектоскопію різьби і інструментальний контроль труб. В основу роботи установки покладено акустичний та вихрострумний методи контролю.

Автоматизований комплекс неруйнівного контролю трубних колон (АКНК-1) [55]

Слід зауважити, що підвищення продуктивності дефектоскопії і товщинометрії тіла буриньних труб, усунення суб’єктивного фактору при оцінці результатів контролю, отримання об’єктивного документу з реєстрацією результатів можуть бути досягнуті лишень при автоматизації процесу неруйнівного контролю.

Задача створення надійного і продуктивного контролю буриньних труб в процесі спуско-підіймальних операцій (СПО) автоматизованими засобами ультразвукового контролю обумовлювала необхідність створення складних механічних, акустичних та електронних систем.

В результаті проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт науково-виробничою фірмою «Зонд» було розроблено і виготовлено дослідний зразок автоматизованого комплексу неруйнівного контролю бурового інструменту АКНК-1.

Комплекс призначений для проведення ультразвуковим методом наступних видів контролю:

- 1) дефектоскопії різьбових ділянок і призамкової зони сталених буриньних труб (СБТ), буриньних труб із алюмінієвих сплавів (ЛБТ), обважнених буриньних труб (ОБТ) в скрученому і розкрученому станах;
- 2) контролю відхилення зусилля затяжки ОБТ від нормованого значення;

3) контролю відповідності діаметрального натягу по конічному стабілізуючому пояску бурильних труб типу 3 і 4 по ГОСТ 631-75 (труби ВК і НК) в зборі з замками ЗУК і ЗШК по ГОСТ 5286-75 його нормованому значенню;

4) контролю товщини стінки СБТ, АБТ і сталених обсадних труб (СОТ) в місцях підвищеного зносу.

Комплекс призначений для роботи в умовах бурової при проведенні спуско-підймальних операцій (СПО), на трубних площадках і базах виробничого обслуговування.

Пересувна дефектоскопічна установка ПДУ-1М [55]

Установка ПДУ-1М призначена для виявлення і визначення місцезнаходження втомних тріщин і інших дефектів поперечної орієнтації в різьбовій і потовщеній частині сталених бурильних труб.

Контроль труб проводиться безпосередньо на буровій свердловині під час підйому (переважно) чи спуску бурильної колони. Установка також може використовуватися для контролю труб в умовах трубних баз або ремонтних майстерень.

Пересувна установка для комплексного неруйнівного контролю нафтогазового обладнання та інструменту ПЛНК-2, ПЛНК-5

Науково-виробничою фірмою «Зонд» була розроблена пересувна лабораторія неруйнівного контролю нафтогазового інструменту та обладнання (або обладнання, що використовується при капітальному ремонті свердловин) ПЛНК-2 (ПЛНК-5

Установка є базовою і в залежності від комплектації може бути призначена для проведення:

1) ультразвуковим луно-імпульсним методом:

- дефектоскопії тіла та різьбових ділянок сталених бурильних труб;
- дефектоскопії різьбових частин обважнених бурильних труб в зібраному й розібраному стані;
- виявлення дефектів в буровому обладнанні (гаках вантажопідйомних

механізмів, елеваторах, штропах, вертлюгах та ін.);

- товщинометрії тіла труб;
- міцності та герметичності з'єднань з натягом, в т.ч. різьбових;

2) вихрострумовим і динамічним методами:

- визначення фізико-механічних характеристик нафтогазового обладнання та інструменту.

Для створення акустичного контакту при ультразвуковій дефектоскопії та товщинометрії використовується технічна вода без механічних домішок та бульбашок повітря або консистентне мастило (при контролі бурового обладнання).

Усі наведені в цьому огляді засоби для неруйнівного контролю трубних виробів, що використовуються при розвідці, бурінні та експлуатації нафтових та газових свердловин використовують акустичний вид неруйнівного контролю. При цьому акустичні коливання в матеріалі об'єкту контролю збуджуються й приймаються за допомогою спеціалізованих п'єзоелектричних перетворювачів через локальну імерсійну ванну, заповнену протічною технічною водою.

Однак ефективне застосування наведених засобів для неруйнівного контролю труб в умовах бурового майданчика, безпосередньо над гирлом свердловини під час спуско-підіймальних операцій, обмежене через низьку продуктивність та вірогідність контролю. Це обумовлено тим, що процес сканування зовнішньої поверхні ділянки труби, яка контролюється, здійснюється оператором вручну при нерухомій бурильній колоні та ще й з необхідністю підтримки постійного акустичного контакту між акустичним перетворювачем та поверхнею труби. При цьому переважаючим видом контролю бурильних труб у складі колони в процесі підйому труб із свердловини є дефектоскопія різьбових ділянок для виявлення втомних тріщин, які мають поперечну орієнтацію по відношенню до поздовжньої вісі труби.

Що стосується дефектоскопії та товщинометрії тіла по всій довжині труби у процесі СПО, то сьогодні ці види контролю взагалі не проводяться, через те, що вони вимагають стопроцентного сканування усієї поверхні труби, що існуючими засобами контролю забезпечити практично неможливо. Тому існуючий на даний момент варіант неруйнівного контролю бурильних труб в процесі СПО перестає відповідати вимогам практики.

1.2 Встановлення факторів, що впливають на вірогідність результатів контролю.

Виходячи з визначення, даного член-кореспондентом НАН України З.Т. Назарчуком: - «Вірогідність контролю матеріалів характеризується стійкою відповідністю його результатів реальному значенню оцінюваної величини» [70]. Вірогідність і зіставленість даних неруйнівного контролю залежить не тільки від метрологічних характеристик апаратури, але й від застосованих методик. Методики контролю встановлюють вимоги до об'єкта контролю, меж факторів впливу, рівня дефектності, виду виявлених дефектів і їх співвідношення із штучними дефектами, прийнятими як нормовані [70].

Згідно з ДСТУ 2865-94 "Контроль неруйнівний. Терміни та визначення" вірогідність методу контролю - це показник ступеня об'єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану виробу. Вірогідність методу неруйнівного контролю можна визначити вірогідністю пропуску деталей з явними дефектами, або необгрунтованою браковкою придатних деталей.

Сучасні дефектоскопічні системи базуються на використанні складних електронних систем, часто – з елементами обчислювальної техніки і можуть містити значну кількість джерел та одержувачів інформації, зв'язаних між собою каналами передачі.

Показники якості таких систем багато в чому визначаються вірогідністю одержання, передачі та обробки інформації в системі.

Методи боротьби з помилками як при передачі так і при обробці інформації ґрунтуються на введенні інформаційної, методичної або апаратної надлишковості: застосуванням методів виділення корисних сигналів на фоні завад, методів оптимального резервування апаратури, методів функціонального контролю, методів оцінки вірогідності вхідної інформації та ін.

На сьогоднішній день як в теорії передачі інформації, так і в теорії надійності отримані важливі результати, які дозволяють проектувати системи з високими показниками ефективності, заводо захищеності і надійності.

В теорії завадозахищеності зазвичай приймається, що система характеризується абсолютною надійністю апаратури, має ідеальну структуру, працює за безпомилковими методиками, при абсолютній вірогідності (істинності) вхідних даних. В теорії надійності передбачається, що інформація, яка подається на входи системи й функціонує в ній, є абсолютно достовірною. Проектування методик та структури системи не завжди в повній мірі враховує завадостійкість та надійність апаратури, вірогідність та адекватність вхідних даних та помилки людини. Інженерна психологія розглядає помилки людини в системі, вважаючи надійність, завадостійкість, структуру й методичне забезпечення системи ідеальними. В дійсності ж не завжди достовірна інформація, що поступає на вхід системи, в процесі передачі й обробки в самій системі піддається впливу завад, відмов і збоїв в роботі апаратури, може бути спотворена через методологічні помилки або помилки людини.

Причинами зниження вірогідності вихідної інформації можуть бути: 1) використання недостовірних вхідних даних; 2) вплив завад при передачі та обробці інформації; 3) відмови і збої в роботі апаратури; 4) структурні та методологічні помилки; 5) помилки людини як частини системи.

Відносна доля цих причин в загальній кількості помилок на виході системи може бути різною. При проектуванні дефектоскопічних інформаційно-вимірювальних систем з передачею та обробкою інформації відчувається необхідність комплексного підходу для забезпечення заданої вірогідності. Такий підхід дозволив би уникнути завищення вимог до надійності або завадостійкості окремих вузлів і ланок системи, неоправданого застосування складних високовартісних способів підвищення вірогідності або, навпаки, необґрунтованої відмови від застосування тих чи інших способів підвищення вірогідності.

Однією із найважливіших складових неруйнівного контролю є кваліфікація персоналу, який його виконує, що значною мірою визначає вірогідність та відтворюваність результатів контролю. Вимоги до кваліфікації фахівців з неруйнівного контролю нафтогазопромислового та бурового обладнання й інструменту значно зросли в зв'язку з тим, що понад 60% обладнання та інструменту працює довготривалий час (понад амортизаційний термін). Вимоги до фахівців зростають

ще й через ускладнення технічних засобів і технологій контролю.

Оскільки вірогідність неруйнівного контролю значною мірою залежить від кваліфікації фахівців, в Україні створена система їх підготовки та сертифікації [21].

Тим не менш, слід відмітити, що навіть за умов високої кваліфікації конкретно взятого оператора, що задіяний при проведенні діагностики труб нафтового сортаменту, завжди присутній фактор суб'єктивної оцінки ним параметрів (геометричні розміри, місце залягання, тощо) та потенційної небезпеки дефектів [47].

Окрім людського фактора на вірогідність та інформативність контролю впливають й об'єктивні характеристики обладнання, що застосовується під час неруйнівного контролю трубних виробів [15, 40].

Ще одним з факторів, що визначають вірогідність результатів, що видаються, є вірогідність вхідної інформації. Проблемі оцінки вірогідності (істинності) вхідних даних в літературі приділяється мало уваги. В даній роботі робиться спроба намітити шляхи вирішення проблеми одержання достовірної інформації про стан ОК.

Вітчизняні й закордонні прилади, що застосовуються в нафтогазовій галузі при акустичному неруйнівному контролі (АНК) для генерування та прийому акустичних коливань використовують п'єзоелектричні перетворювачі, для нормальної роботи яких потрібна контактна рідина - вода, мастило, емульсія і т.п. Ультразвукові імпульси від поверхні п'єзопластини ПЕП під великими кутами до поверхні передаються в тіло труби й приймаються назад через тонкий шар контактної рідини. Незначні коливання товщини шару контактної рідини, перекося ПЕП відносно труби, порушення акустичного контакту через високу швидкість контролю наявність повітряних і жирових плівок призводять до появи сильних завад, які суттєво спотворюють результати контролю [102, 106]. Надриви металу, що не зменшують надмірно товщину стінки, хвилястість, забоїни, вдавлювання, що є на поверхнях труб, виробництва країн СНГ, призводять до появи сильних завад, які часто не дозволяють проводити контроль. Суттєві проблеми для виявлення дефектів створює наявність «мертвої» зони ПЕП. Для проведення надійного контролю необхідно застосовувати засоби очистки поверхні труб від жиру, болота, іржі, окалини, захисних покриттів і т.д. Похилі перетворювачі, що застосовуються, не дозволяють оцінювати товщину

стілки труби. Суттєво ускладнюють роботу контактних дефектоскопів температура стінок труби й навколишнього середовища, особливо в польових умовах. Через швидке зношування ПЕП мають малу довговічність (при тому, що їх ціна досягає 50-70 євро за штуку). Значна частина вітчизняних контактних перетворювачів мають недостатню повторюваність метрологічних характеристик.

В [] зазначається, що форма й шорсткість поверхні ОК відіграють вирішальну роль при ультразвуковому контролі. З однієї сторони, шорсткість обмежує чутливість методу до такого ступеня, що інколи може стати необхідною попередня обробка поверхні, а з іншого боку при контактному методі шорсткість вирішальним чином визначає ступінь зносу перетворювача.

При імерсійному контакті, коли ПЕП контактує з поверхнею ОК через шар рідини, найбільший шкідливий вплив здійснюють сторонні частинки, через те що товщина шару акустичного контакту й відповідно його проникність можуть бути різними на різних ділянках. Частинки окалини, іржі або фарби на основному металі можуть утворювати повітряні зазори, що повністю припинить проходження ультразвуку. В залежності від початкового стану поверхні використовуються різні способи її покращення, наприклад протирання ганчіркою, дрантям, очищення сталлюю щіткою, шабером, обробка наждачним кругом або піскоструйна очистка. Але всі ці методи очистки не придатні для використання в умовах бурових під час СПО, оскільки вони різко зменшують продуктивність контролю.

На поверхнях з нерегулярними нерівностями, наприклад з хвилястістю, слідами вдавлення від механічного інструменту, за розмірами близькими до розмірів ПЕП, шар акустичного контакту дуже несприятливо впливають на звуковий промінь: він нерегулярно відхиляється від нормалей, фокусується й розфокусується. Можливість оцінки амплітуди за таких умов сумнівна.

Проміжні шари (як, наприклад, вода у випадку імерсійного контролю) при роботі в луно-імпульсному режимі підвищують луно-імпульси від завад. Шар товщиною 0,1 мм дає вже значно меншу чутливість, ніж при прямому контакті ПЕП з ОК. Крім того, спостерігається помітне розширення імпульсу, що посилається та луно-імпульса, оскільки при помірно демпфованому ПЕП затухання зменшується під впливом

акустичного контакту. Оскільки довжина хвилі звука в маслі або в воді при частоті 2 МГц приблизно рівна 0,8 мм, шар товщиною 0,4 мм відповідає половині довжини хвилі. На довжині шляху туди й назад при зигзагоподібному відбиванні в хвилі отримується різниця в часі проходження, рівна довжині хвилі, що призводить до деструктивної (гасячої) інтерференції. При подвійній товщині шару через підсилюючу інтерференцію знову виходить приблизно така ж амплітуда луно-сигналу, як і у попередньому випадку. Однак перешкоджаючі коливання після імпульсу, що посиляється й після відбиттів підсилюється. Вже при шарі товщиною 1 мм отримується дуже неясне зображення; виявлення дефектів стає практично неможливим.

Стан акустичного контакту обумовлює енергію ультразвукових коливань, що збуджуються в ОК і в значній мірі впливає на результати вимірювань амплітуд луно-сигналів [67]. Це враховується при розрахунку акустичного тракту дефектоскопа шляхом врахування коефіцієнта прозорості по енергії межі ПЕП-ОК. Коефіцієнт прозорості характеризує стан акустичного контакту в певний момент часу при певному розташуванні перетворювача на поверхні досліджуваного об'єкту (контактної поверхні). В якості міри стабільності акустичного контакту в процесі сканування використовується, як основний параметр контролю луно-методом, дисперсія коефіцієнта прозорості.

В таблиці 1 наведено основні причини зниження вірогідності акустичного НК та корегувальні заходи, які необхідно застосувати для підвищення вірогідності результатів контролю трубних виробів.

Таблиця 1

Причини зниження вірогідності акустичного НК трубних виробів
та корегувальні дії щодо її покращення

№ п/п	Причини зниження вірогідності	Корегувальні заходи
1	<p>Використання недостовірних вхідних даних:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>ступінь шорсткості поверхні в районі контакту з ПЕП;</i> - <i>кривизна поверхні;</i> - <i>стабільність акустичного шару між ПЕП та ОК;</i> - <i>ступінь забруднення поверхні;</i> - <i>температура поверхні ОК та навколишнього середовища;</i> - <i>наявність акустично-неоднорідних областей.</i> 	<p>Використання безконтактних методів збудження та прийому УЗК, адаптованих до умов контролю бурового інструменту під час СПО</p>
2	<p>Вплив завад при передачі та обробці інформації:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>електромагнітна сумісність УЗ систем та електричних машин, що застосовуються в бурінні;</i> - <i>використання довгих радіочастотних інформаційних ліній зв'язку</i> 	<p>Використання завадостійких сигналів в електронно-акустичному тракті УЗ дефектоскопічних систем</p>
3	<p>Відмови і збої в роботі апаратури:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>зміна метрологічних характеристик ПЕП через зношення внаслідок тертя по поверхні ОК</i> 	<p>Використання зносостійких безконтактних перетворювачів при проведенні НК трубних виробів</p>
4	Структурні та методологічні помилки	-
5	<p>Помилки людини як частини системи</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>кваліфікація персоналу</i> - <i>попередній досвід роботи</i> - <i>психологічний та фізіологічний стан оператора</i> 	<p>Використання методу параметричної ідентифікації дефектів для полегшення прийняття рішення про потенційну небезпеку виявлених дефектів оператором-дефектоскопістом</p>

1.3 Вибір напрямків і задач досліджень.

В попередньому розділі показано, що проблема забезпечення високої вірогідності акустичного неруйнівного контролю є залежною від впливу двох ґрунтовних факторів - об'єктивних характеристик обладнання, що використовується при контролі та суб'єктивного впливу оператора, що цей контроль здійснює.

На сьогоднішній день організаціями, що займаються питаннями неруйнівного контролю, та державними органами, що здійснюють нагляд за такого роду роботами, запроваджено ряд адміністративних та методичних заходів, спрямованих на зменшення суб'єктивного впливу оператора-дефектоскопіста на якість проведення (а отже - й вірогідність результатів) неруйнівного контролю [95 - 98]. Насамперед слід відмітити запровадження системи навчання та сертифікації персоналу. Оновлено та впроваджено в дію нові нормативні документи, що регламентують проведення неруйнівного контролю для різного роду об'єктів. Так, наприклад, в якості документа, що регламентує вимоги до персоналу, який здійснює контроль був впроваджений галузевий стандарт ГСТУ 320.02829777.001-95 "Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях", а в якості регламентуючого документу з неруйнівного контролю бурильних труб - ГСТУ 320.02829777.002-95 "Інструкція по проведенню неруйнівного контролю нарізних труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації", а [21, 22]

Слід відмітити, що даний нормативний документ регламентує проведення неруйнівного контролю призамкової та замкової частин труби та, додатково, проведення товщинометрії та дефектоскопії на предмет виявлення дефектів з поздовжнім та поперечним розташуванням в тілі труби. В попередньому розділі було зроблено аналіз засобів НК, що є наявними зараз на підприємствах нафтогазової галузі. Як видно з цього огляду, незважаючи на те, що нормативна база для 100% контролю труб (по меншій мірі - бурильних) є, такий контроль проводиться лишень в умовах баз виробничого обслуговування за допомогою стаціонарних установок. Нажаль, впровадити його в польових умовах заважають знову ж таки ті самі два фактори - підвищується суб'єктивний вплив оператора (внаслідок різкого збільшення

об'ємів робіт та необхідності оперувати більшою кількістю каналів дефектоскопії); сучасне обладнання не готове для проведення 100% контролю в польових умовах.

Дійсно, труби, що вже довгий час перебувають в експлуатації практично завжди мають поверхні з високою ступінню корозії, покриті іржою, брудом та парафіновими відкладами. Створити надійний акустичний контакт за допомогою технічної води за таких умов дуже важко, а отже й вірогідність контролю при використанні ПЕП на таких об'єктах невисока [5, 106]. Звичайно, що вірогідність акустичного контролю з використання ПЕП можна суттєво підвищити, якщо попередньо проводити підготовку поверхні труб до контролю (механічну очистку). Але це тягне за собою значне підвищення затрат часу та коштів. З іншого боку, вірогідність неруйнівного контролю, що проводиться з використанням ПЕП в умовах баз виробничого обслуговування не викликає сумніву, оскільки тут, зазвичай, організовані значно кращі умови, ніж безпосередньо на бурових.

Тому на даному етапі розвитку неруйнівного контролю трубних виробів в нафтогазовій промисловості необхідні нові підходи до розробки технічних засобів і технологій, що повинні покращити вірогідність акустичного неруйнівного контролю трубних виробів та інформативності такого контролю, й, відповідно, позитивно вплинути на безпеку та економічну ефективність спорудження та експлуатації об'єктів нафтогазової промисловості.

Покращити питання вірогідності результатів акустичного неруйнівного контролю в плані його технічного забезпечення можна у тому випадку, якщо застосувати безконтактні методи збудження та прийому акустичних коливань, а в методологічному плані - шляхом запровадження технологій, що дозволять максимально автоматизувати процес виявлення та ідентифікації дефектів, зменшуючи тим самим ступінь впливу оператора-дефектоскопіста.

Потрібно відмітити, що в даний час невирішеними в цьому плані є наступні проблеми:

- відсутні технічні засоби, що дозволяли б здійснювати акустичний неруйнівний контроль безконтактним методом безпосередньо в польових умовах;
- обладнання, що використовується при проведенні НК в польових умовах не

має достатньої завадостійкості;

- існуючі на сучасному етапі методи ідентифікації параметрів дефектів є громіздкими й такими, що не можуть чітко вказати на потенційну небезпеку дефекту.

Таким чином, для досягнення поставленої мети, а саме - підвищення вірогідності та інформативності акустичного контролю трубних виробів, необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити безконтактні методи збудження акустичних коливань, встановити їх переваги і недоліки для контролю трубних виробів;

- розробити та випробувати нові конструкції безконтактних зносостійких акустичних перетворювачів для НК труб нафтового сортаменту та забезпечити необхідний рівень чутливості та завадостійкості електронно-акустичного тракту системи „об’єкт контролю - безконтактний акустичний перетворювач – акустичний дефектоскоп”;

- аналітично дослідити характер перетворення тестових акустичних сигналів в залежності від фізичних параметрів дефектів;

- розробити метод однозначної ідентифікації параметрів дефектів, придатний для використання на підприємствах нафтогазової галузі в польових умовах;

- розробити методика вибору параметрів зондуючих сигналів з метою мінімізації похибки ідентифікації параметрів дефектів.

Висновки

1. Проведено аналіз умов роботи існуючих методів та засобів акустичного неруйнівного контролю трубних виробів; проаналізовано ступінь забезпечення засобами неруйнівного контролю підприємств нафтогазової галузі та адекватність їх технічних можливостей сучасним вимогам; встановлено фактори та параметри акустичного неруйнівного контролю, які негативним чином впливають на вірогідність його результатів, а саме:

- а) стабільність акустичного контакту між ПЕП та поверхнею об'єкту контролю;
- б) наявність акустично-неоднорідних областей на поверхні труби, що контролюється;
- в) наявність нерівностей та ступінь шорсткості поверхні труби;
- г) ступінь забруднення поверхні об'єкту контролю;
- д) температура навколишнього середовища та стінок труби під час контролю;
- е) слабка заводозахисненість апаратури в цілому та довгих ліній радіочастотного зв'язку зокрема;
- ж) стабільність метрологічних характеристик ПЕП на протязі всього часу їх експлуатації;
- з) вплив "людського фактора".

2. Проведений порівняльний аналіз методів та засобів неруйнівного контролю трубних виробів. Показано, що найбільш доцільним для застосування є акустичний вид контролю.

3. Формалізовано задачі, які потребують невідкладного вирішення і напрямки проведення подальших досліджень.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЗНОСОСТІЙКИХ АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВВОДУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ В МАТЕРІАЛ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ

2.1 Методи безконтактного вводу та прийому акустичних коливань. Переваги та недоліки ЕМА-перетворювачів.

Відомі декілька способів збудження ультразвукових коливань в об'єкті контролю, зокрема – в трубних виробках. Найбільш розповсюдженим на сучасному етапі є спосіб з використанням пластин, що мають яскраво виражені п'єзоелектричні властивості. Такі пластини здатні як генерувати, так і приймати механічні коливання в межах частот від сотень кілогерц до десятків мегагерц. Такий спосіб поряд з цілим рядом переваг, як то висока потужність, високий коефіцієнт перетворення енергії та хороша чутливість, мають й ряд серйозних недоліків. Один з таких недоліків – необхідність дотримання жорстких вимог до якості акустичного контакту між поверхнями п'єзопластини й об'єкту контролю. Інший – складність реалізації контролю за умов підвищених або понижених температури та тиску.

Серед досліджень, спрямованих на створення акустичної апаратури неруйнівного контролю, особливе місце займає пошук безконтактних методів збудження й реєстрації ультразвуку в твердих тілах. Під безконтактними слід розуміти методи, що дозволяють збуджувати й реєструвати пружні хвилі в виробі, що контролюється, без акустичного зв'язку між перетворювачами та об'єктом контролю.

На сьогоднішній день відомі наступні методи безконтактного збудження та реєстрації пружних хвиль в твердих тілах [120]:

- 1) електромагніто-акустичний (ЕМА);
- 2) збудження пружних хвиль за допомогою променя імпульсного лазера;
- 3) збудження пружних хвиль імпульсними потоками прискорених електронів;
- 4) використання повітряного зв'язку між перетворювачем та об'єктом контролю;

5) ємнісний.

В умовах підприємств нафтогазової галузі найбільший інтерес викликає використання електромагніто-акустичного методу безконтактного збудження та прийому акустичних коливань, як такого, що є достатньо добре теоретично та практично опрацьованим та легко реалізується шляхом удосконалення існуючих технічних засобів для неруйнівного контролю елементів нафтогазового обладнання та інструменту.

У порівнянні з п'єзоелектричним методом збудження та прийому акустичних коливань електромагніто-акустичний метод має наступні переваги:

- можливість генерування хвиль будь-якого типу (подовжніх, поперечних (зсувових) з довільною поляризацією, поверхневих (Релеєвських), хвиль Лемба і т.д.);
- можливість генерування акустичних коливань, що розповсюджуються під будь-яким заданим кутом до поверхні контролю;
- можливість контролю та зміни кута напрямку розповсюдження акустичних коливань (акустичне сканування) шляхом плавної зміни частоти прикладених електричних коливань по відношенню до робочої частоти перетворювача;
- можливість безконтактного генерування та прийому акустичної хвилі в матеріалі контролю;
- ЕМА-перетворювачі можуть генерувати та приймати акустичні коливання в об'єкті контролю через проміжний шар (наприклад, через бітумну ізоляцію стінок труб нафтопроводів);
- хороша повторюваність метрологічних характеристик однотипних ЕМА-перетворювачів;
- ЕМА-перетворювачі слабо чутливі до якості обробки зовнішньої поверхні об'єкту контролю.

В той же час у порівнянні з п'єзоелектричним методом збудження та прийому акустичних коливань ЕМА-метод також має й ряд недоліків, серед яких:

- порівняно низька чутливість;
- наявність в зоні контролю елементів конструкції ЕМА-перетворювача (котушки), які можуть бути пошкоджені при переміщенні перетворювача вздовж поверхні контролю.

Як показано в []:

1. ЕМАП є пристроєм, який забезпечує кращу чутливість до ряду природних дефектів, ніж ПЕП.
2. Напрямок звукового пучка, що створюється за допомогою ЕМАП, слабо залежить від нахилу перетворювача відносно ОК.
3. ЕМАП дозволяє уникнути всіх проблем, пов'язаних з контактною рідиною.
4. ЕМАП значно менше, ніж ПЕП, реагує на шорсткість, забруднення поверхні, однак, при його використанні в суміщеному режимі необхідно виключити попадання кусочків окалини, що відшаровується, в простір між ЕМАП та ОК.

Глибокий аналіз можливостей ЕМА-перетворювачів поздовжніх та поперечних хвиль при їх взаємодії з штучним дефектом (торцеве плоскодонне сверління) в зразку обмежених розмірів провід К. Кавашима [115, 116]. При розшифруванні осцилограм враховувались трансформації хвиль на границі зразка. Встановлено, що в феромагнітному матеріалі ефективність збудження зсувових коливань значно вища, ніж поздовжніх. Автор пов'язує це з ефектом магнітострикції. Що ж стосується чутливості імпульсного луно-методу з використанням ЕМА-перетворювачів, то, на думку автора, вона не поступається чутливості цього ж методу з використанням звичайних п'єзоелектричних перетворювачів. По меншій мірі, співвідношення сигнал/шум при індикуванні штучного дефекту у вигляді плоскодонного свердлення діаметром 1,3 мм практично однакове.

Використання роздільного режиму роботи ЕМАП, зокрема, при реалізації луно-наскрізного методу контролю, дозволяє повністю виключити вплив окалини, що відшаровується, на завадостійкість ультразвукового контролю.

Суть ЕМА-методу збудження та прийому акустичних коливань полягає в наступному [111].

Електромагніто-акустичний перетворювач, що являє собою конструкцію з потужного постійного магніта (або електромагніта, що працює в імпульсному режимі) та високочастотних генераторної та приймальної котушок, розміщених в щілині між поверхнею об'єкту контролю та магнітом. Постійний магніт, розташований на віддалі 0,3 – 1,0 мм від поверхні контролюємого виробу створює в щілині сильний магнітний

потік з індукцією, порядку одиниць тесла. На генераторну котушку в імпульсному режимі подають електричні коливання високої частоти, що створюють навколо котушки змінне магнітне поле, яке в свою чергу індукує вихреві струми в підповерхневому шарі виробу. Знаходячись в сильному напрямленому постійному магнітному полі вихреві струми зазнають дії сили Лоренца, що намагається змінити траєкторії руху електронів в замкнених лініях вихревих струмів. Це призводить до виникнення механічних напружень в підповерхневому шарі контрольованого матеріалу й, відповідно, генерування механічних коливань, частота яких є пропорційною до частоти струму в генераторній котушці. Таким чином генерується ультразвукова хвиля, що розповсюджується у наперед заданому напрямку. Процес прийому відбитої ультразвукової хвилі здійснюється подібно до процесу генерування – доходячи до району розташування прийомної котушки ультразвукова хвиля модулює частотою власних коливань постійне магнітне поле, в якому знаходиться ця котушка, генеруючи тим самим в ній змінний електричний струм, що може бути далі підсилений й зареєстрований стандартними засобами акустичної дефектоскопії.

Як видно з опису процесу генерування та прийому ультразвукових коливань робота ЕМА-перетворювача не потребує створення й підтримання надійного акустичного контакту між поверхнею самого перетворювача та контрольованим виробом. Це та значна перевага, яку мають ультразвукові ЕМА-перетворювачі над перетворювачами, що використовують п'єзопластини. Крім того, через відсутність контактної рідини цей спосіб збудження ультразвукових коливань може також використовуватись й для контролю виробів з високою температурою поверхні.

Такі переваги, які мають ЕМА-перетворювачі не можуть не представляти інтерес при розробці систем та приладів для неруйнівного контролю трубних виробів в польових умовах.

2.2. Загальні принципи побудови традиційних ЕМА-перетворювачів.

Конструкції "класичних" ЕМА-перетворювачів передбачають використання постійних або електромагнітів розташованих на мінімальній віддалі від поверхні контрольованого виробу. Конструкційно між нижньою поверхнею магніта та поверхнею об'єкта контролю зберігають зазор, порядка 1 - 3 мм. Магнітна індукція в зазорі при цьому повинна бути в межах 0,5-2 Тл. В цей зазор вводять одну або декілька радіочастотні котушки.

На рис. 2.1 схематично представлена конструкція ЕМА-перетворювача для генерування лінійно поляризованої зсувової ультразвукової хвилі, фронт якої розповсюджується по нормалі до поверхні контролю [120].

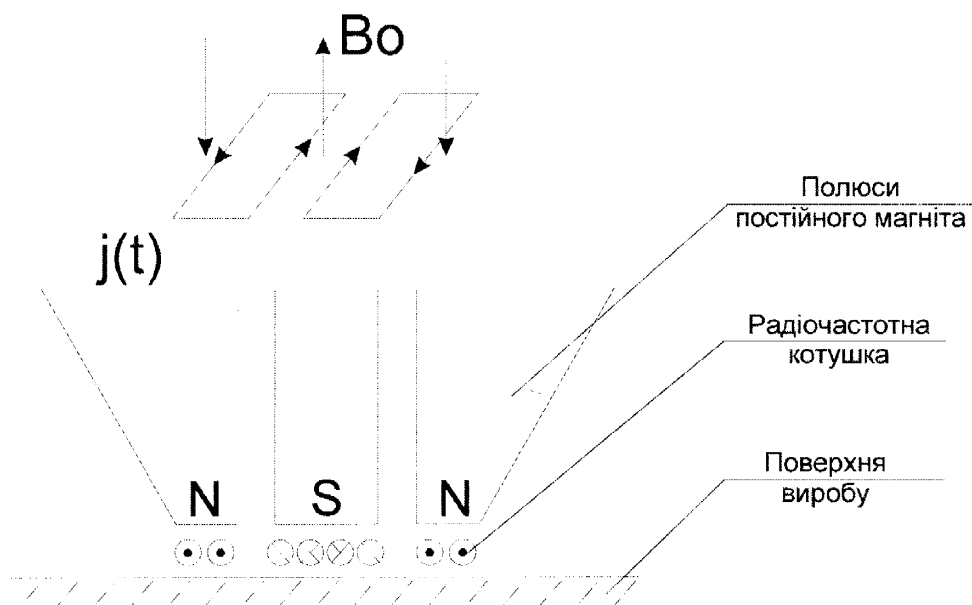


Рис. 2.1. Конструкція ЕМА-перетворювача
лінійно-поляризованої зсувової хвилі

з напрямком розповсюдження по нормалі до поверхні контролю

$j(t)$ - розподіл вихревих струмів в поверхневому шарі матеріалу

B_0 - напрямок вектора магнітної індукції

Така конструкція перетворювача передбачає використання однієї, або (частіше) двох радіочастотних котушок, одну з яких застосовують для генерування ультразвукових коливань, а інша - для прийому.

На рис. 2.2 схематично наведена конструкція ЕМА-перетворювача для генерування вертикально поляризованої зсувової ультразвукової хвилі, що розповсюджується під заданим кутом до поверхні контролю [120].

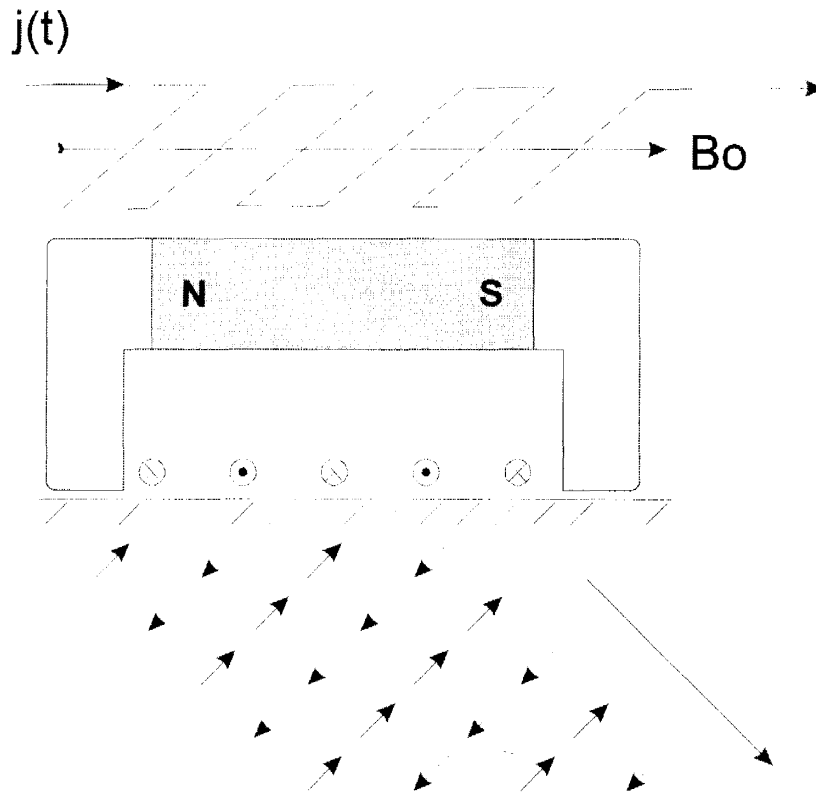


Рис. 2.2. Конструкція ЕМА-перетворювача зсувової хвилі з напрямком розповсюдження під заданим кутом до поверхні контролю

$\mathbf{j}(t)$ - розподіл вихревих струмів в поверхневому шарі матеріалу

\mathbf{B}_0 - напрямок вектора магнітної індукції

В даній конструкції використовується п-подібна магнітна система, з різноіменними полюсами, які торкаються до поверхні об'єкту контролю. Магнітний потік при цьому

визначається через поверхневий шар матеріалу контрольованого виробу. В проміжку між полюсами магнітної системи розташовують радіочастотну котушку, яка служить для генерування ультразвукових коливань та, одночасно, може використовуватись і як чутливий елемент для їх прийому. Такий ЕМА-перетворювач має симетричну відносно нормалі діаграму направленості, кут нахилу основного променя якої залежить від періоду витків радіочастотної котушки λ та довжини хвилі, що генерується λ_s (частоти прикладених до котушки електричних коливань) і визначається за виразом:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{\lambda_s} \quad (2.1)$$

Слід звернути увагу на той надзвичайно важливий момент, що обидві конструкції ЕМА-перетворювачів, наведені вище, потребують використання безпосередньо з робочій зоні перетворювача чутливих елементів- радіочастотних котушок. Якщо врахувати той факт, що такі котушки виконуються з електричного мідного дроту, діаметром 0,08 - 0,5 мм, стає зрозумілим, що надійність таких перетворювачів при роботі по шорсткій поверхні буде низькою. З однієї сторони, котушка досить легко може зазнати механічних пошкоджень від контакту з поверхнею об'єкта контролю (особливо, якщо перетворювач здійснює переміщення відносно поверхні на порівняно високій швидкості), а з іншої сторони котушка повинна знаходитись на мінімально можливій віддалі від цієї поверхні, щоб забезпечити максимально можливу чутливість перетворювача, що обмежує можливість використання захисних елементів конструкції.

Таким чином стає зрозумілим, що використання широко відомих конструкцій ЕМА-перетворювачів для діагностики елементів труб нафтового сортаменту є утрудненим і, загалом, негативно відбивається на надійності та вірогідності такого контролю. Тому актуальним стає питання розробки та впровадження такого типу ЕМА-перетворювачів, які б не мали подібних недоліків, тобто перетворювачів, які б в своїй конструкції не використовували чутливих радіочастотних котушок у безпосередньому контакті з поверхнею об'єкту контролю.

2.3 Розробка зносостійкого ЕМА-перетворювача лінійно-поляризованої зсувової хвилі з кутом вводу по нормалі до поверхні об'єкту контролю

Вихідні вимоги для розробки нового зносостійкого електромагніто-акустичного перетворювача (виходячи з параметрів електричних трактів генератора та вхідного підсилювача) були прийняті наступні :

1. Тип хвилі - зсувова, лінійно-поляризована
2. Кут вводу - по нормалі до поверхні об'єкту контролю
3. Робоча частота - 2,0 МГц
4. Резонансний опір генерувального контуру - до 50 Ом
5. Резонансний опір приймального контуру - не менше 1 кОм
6. Тип магнітної системи - з використанням постійних магнітів
7. Основне призначення - вимірювання товщини стінки об'єкту контролю.

Розробка перетворювача була розпочата з вибору та проектування магнітної системи. За допомогою засобів обчислювальної техніки було проведено моделювання розподілу магнітних полів в різного типу концентраторах магнітного потоку. Такого роду моделювання дозволило оптимізувати конструкцію концентратора магнітного потоку, та вірно підібрати матеріал, з якого він повинен бути виконаний. Як оптимальну було обрано конструкцію концентратора, що являє собою паралелограм, складений з окремих пластин, виготовлених з трансформаторної сталі. В верхній частині концентратора розташовано два постійних магніта, одноіменними полюсами один до одного. Така конструкція дозволяє ефективно використати енергетичний потенціал обох магнітів та спрямувати магнітний потік вздовж концентратора, до поверхні об'єкта контролю. Виконання концентратора з окремих пластин дозволяє мінімізувати ефект утворення вихревих струмів від радіочастотних котушок (які будуть розміщені в нижній частині концентратора), а отже й позбутись можливості утворення ультразвукових коливань в самому концентраторі. Такі ультразвукові коливання могли б багатократно перевідбиватись від протилежних поверхонь концентратора й бути

свого роду завадою при прийомі ультразвукових коливань від об'єкту контролю. Слід відмітити, що подальші експерименти показали, що в якості матеріалу для концентратора краще навідь використовувати суцільний брусок з електротехнічної сталі, отриманої шляхом спікання, з крупним зерном та, відповідно, високим коефіцієнтом затухання ультразвуку в ній. Крім того, такий матеріал повинен мати високий коефіцієнт магнітної проникності та низьку електропровідність.

На рис. 2.3 представлено концентратор з встановленими постійними магнітами та розподіл в ньому магнітного потоку.

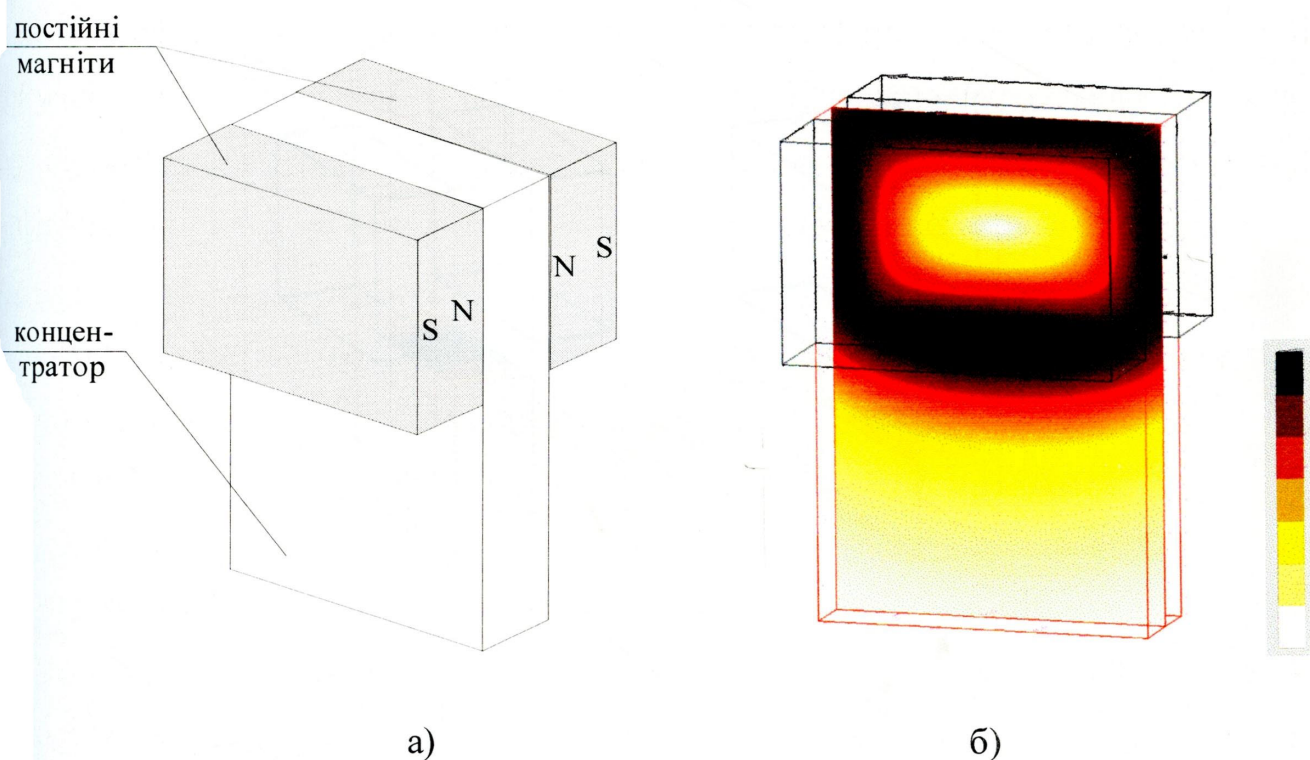


Рис. 2.3. Магнітна система з концентратором магнітного потоку:

- а) - загальний вигляд конструкції з встановленими постійними магнітами
- б) - векторне зображення магнітного потоку всередині концентратора

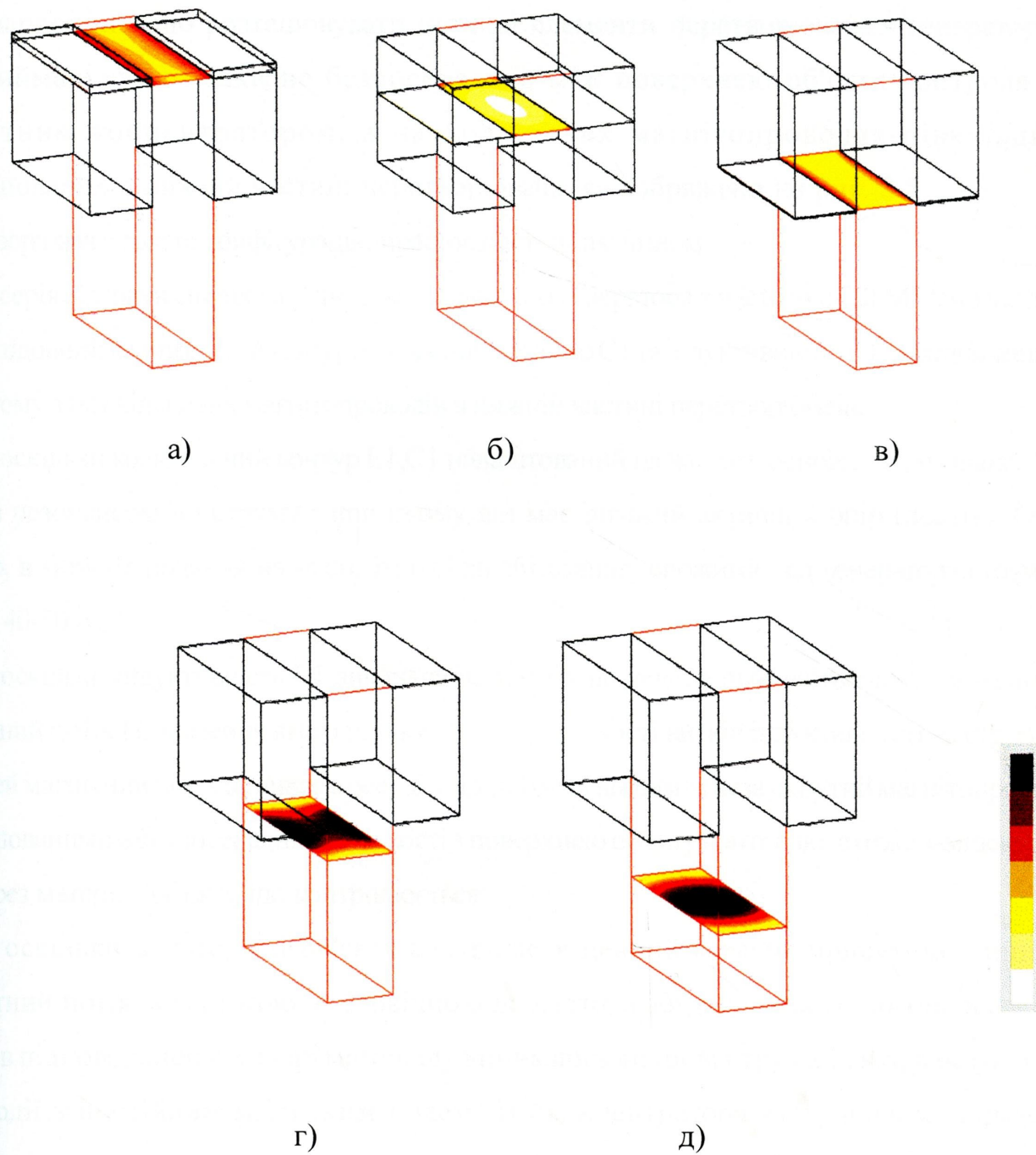


Рис. 2.4. Розподіл індукції магнітного поля по висоті концентратора:

- а) в верхній частині концентратора
- б) на $3/4$ висоти концентратора
- в) в площині по нижньому краю магнітів
- г) на відстані $1/2$ висоти концентратора
- д) на відстані $1/4$ висоти концентратора

Для забезпечення умови стійкості перетворювача до механічних пошкоджень було запропоновано розташовувати чутливі елементи перетворювача - генераторну та приймальну котушки не безпосередньо між поверхнею об'єкта контролю та магнітним концентратором, а на додаткових магнітопроводах-півкільцях, розташованих в нижній частині перетворювача, як зображено на рис. 2.5.

Перетворювач з такою конфігурацією працює наступним чином:

- серія збуджувальних імпульсів від задаючого генератора з частотою 2,0 МГц подається на послідовний коливальний контур, утворений ємністю $C1$ та індуктивністю $L1$, розташованою на одному з пів-кільцевих магнітопроводів в нижній частині перетворювача;

- оскільки коливальний контур $L1, C1$ налаштований на частоту основного резонанса 2,0 МГц з резонансом по струму і при цьому він має низький активний опір (десятки Ом), контур, в момент подання на нього імпульсів збудження, споживає від генератора струм, в межах 40-50 А;

- оскільки індуктивність $L1$ виконана на магнітопроводі, в ньому створюється змінний магнітний потік H , значення якого пропорційне до кількості витків індуктивності та струму в ній. Цей магнітний потік виникає в осерді з відкритими кінцями (незамкнутий магнітопровід), розташованими в безпосередній близькості з поверхнею об'єкту контролю, а отже замикається він через матеріал об'єкту, що контролюється;

- оскільки в матеріалі об'єкта контролю в певний момент присутній змінний магнітний потік, з частотою, відповідною до частоти збуджуючих коливань, навколо нього в підповерхневому шарі матеріалу виникають вихрові струми j_e , які, в результаті взаємодії з постійним магнітним полем B_0 концентратора за правилом Лоренца, призводять до виникнення механічних зсувових коливань в підповерхневому шарі об'єкту контролю (рис. 2.6);

- ультразвукова хвиля, розповсюджуючись вглиб матеріалу по нормалі до його поверхні зазнає відбиття від протилежної поверхні конструкції, або від іншого відбивача, розташованого всередині об'єкта (дефекта) й повертається до місця, де встановлено перетворювач;

- приймальна котушка перетворювача включена в паралельний резонансний контур ($L2, C2$); при цьому власне індуктивність розташована на ще одному пів-

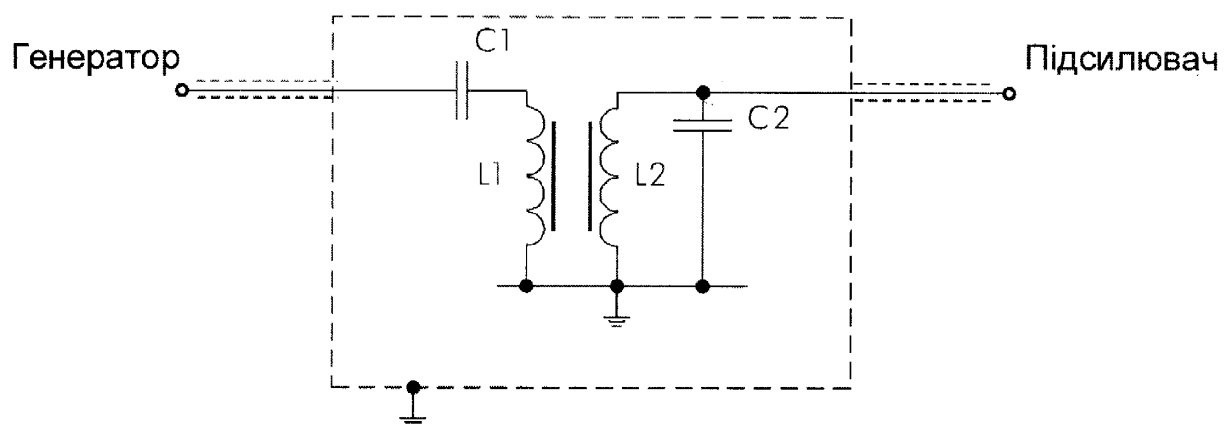
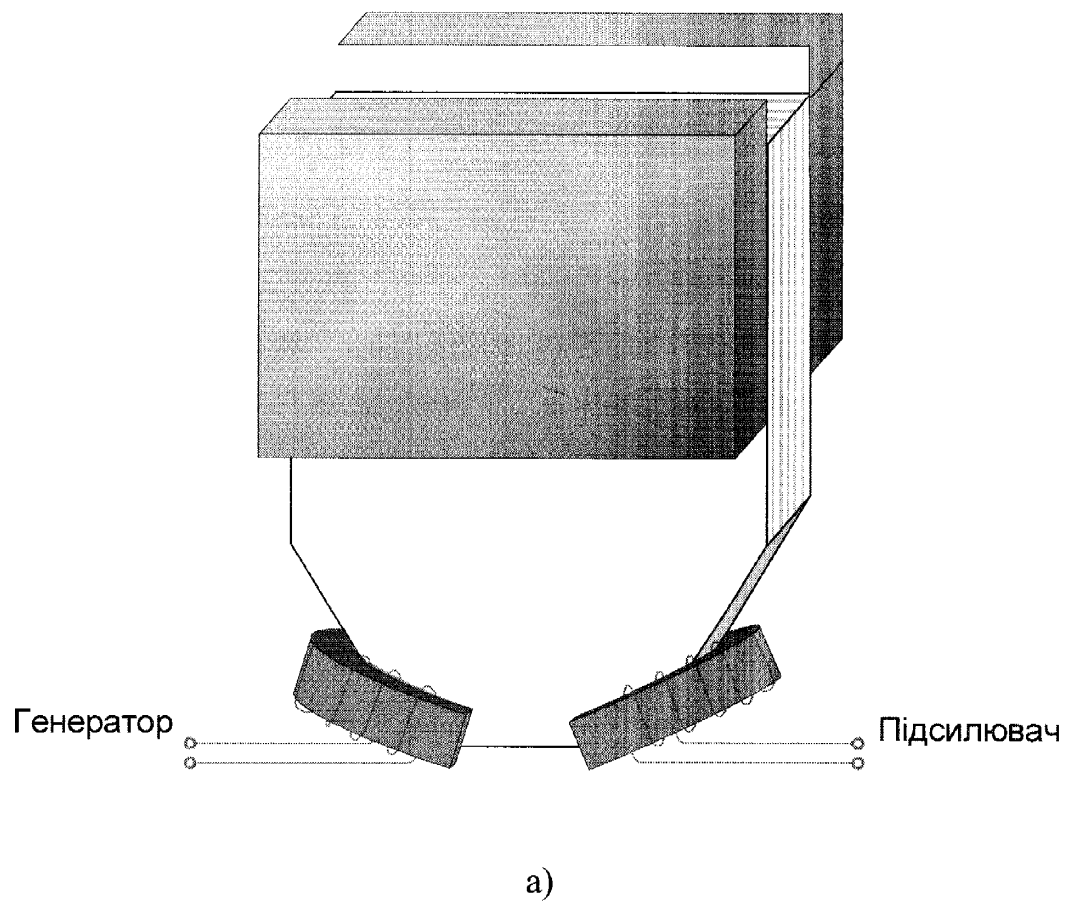


Рис. 2.5 Загальний вигляд конструкції ЕМА-перетворювача нормальної лінійно-поляризованої зсувової хвилі (а) та його електрична схема (б)

кільцевому магнітопроводі, розміщеному поруч з магнітопроводом генераторної котушки, по інший бік магнітного концентратора;

- оскільки магнітопровід (осердя) приймальної котушки знаходиться в безпосередній близькості до магнітного концентратора, в ньому існує постійне магнітне поле, яке в момент приходу ультразвукової хвилі піддається модуляції;

- в результаті модуляції магнітного поля ультразвуковою хвилею в магнітному осерді створюється змінний магнітний потік, який призводить до виникнення змінного струму в приймальній котушці L2;

- струм в котушці L2 в подальшому підсилюється підсилувачем з високим вхідним опором та використовується для роботи дефектоскопа.

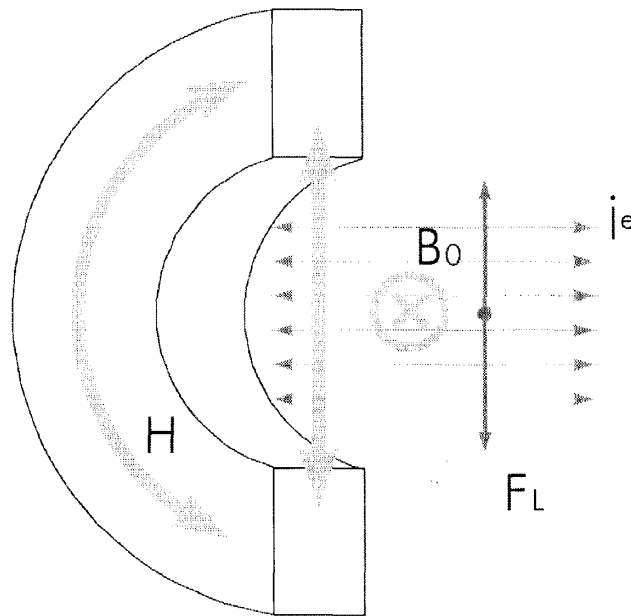


Рис. 2.6. Розподіл полів та сил в напівкільцевому магнітопроводі та в підповерхневому шарі об'єкту контролю в момент генерування акустичних коливань:

H - змінний магнітний потік в осерді

B₀ - прикладене зовнішнє магнітне поле

j₀ - вихреві струми

F_L - сила Лоренца

Для досягнення оптимальних характеристик зносостійкого ЕМА-перетворювача особливу увагу слід було приділити підбору матеріалу для осердь індуктивностей генераторної та приймальної частини. Напівкільцевий магнітопровід генераторної частини перетворювача повинен бути виконаний з матеріалу, що має високе значення індукції насичення при порівняно високій початковій магнітній проникності.

Пів-кільцевий магнітопровід приймальної частини перетворювача повинен бути виконаний з матеріалу, що має якомога вище значення початкової магнітної проникності в той час, як значення індукції насичення для нього не є критичним.

В обох випадках матеріали осердь повинні працювати на частотах, порядку 2 МГц (тобто, мати невисоке значення коерцитивної сили на цій частоті) й мають бути виконані з окремих пластин якомога меншої товщини, для мінімізації втрат на вихрові струми, що виникають безпосередньо в самих осердях. Вирішальною є також здатність працювати при високому рівні підмагнічування постійним магнітним полем за умови збереженні високої магнітної проникності. Крім того, високі вимоги висуваються й до механічних властивостей цих матеріалів.

Третину століття тому експерименти з швидкого охолодження металевих розплавів, які проводились з метою отримання субмікроскопічної структури металів, показали, що в деяких випадках кристалічна ґратка в металі взагалі відсутня, а розташування атомів характерне для безструктурного, аморфного тіла. Виявилось, що у аморфного метала зовсім інші властивості, які не подібні до кристалічного металу. Він стає в декілька раз міцнішим, підвищується його стійкість до корозії, змінюються електромагнітні характеристики й навіть одна із самих стійких констант - модуль пружності. Інтерес до цих сплавів стрімко зростає. Насамперед дослідників зацікавили феромагнітні властивості сплавів на основі заліза, нікеля й кобальта, які виявились вищі ніж у пермалоя, причому ці властивості значно більш стабільні.

Магнітопроводи з аморфних металевих сплавів навивають з тонких (в середньому 25 мкм) стрічок. Підбираючи матеріал та режим термообробки, можна отримати унікальні властивості, оптимальні для кожного конкретного застосування виробів.

Один з виробників магнітопроводів на основі аморфних металевих сплавів - фірма *Vacuumschmelze GMBH & Co. KG* (структурний підрозділ *Siemens*), продукція якої -

осердя на базі матеріалу VITROVAC®-6025Z - були використані в якості магнітопроводів для генерувальної та приймальної котушок зносостійкого перетворювача. Дані осердя володіють наступними характеристиками [122]:

Індукція насичення (25 °С), B_s	0,58 Т
Міжполюсна індукція (25 °С)	1,15 Т
Міжполюсна індукція (90 °С)	1,0 Т
Початкова магнітна проникність, μ_i	> 100 000
"Квадратність" петлі гістерезису B_r / B_s (100 кГц), тип.	> 96 %
Магнітострикція насичення (25 °С),	< 0.2 x 10 ⁻⁶
Температура Кюрі, T_c	240 °С
Верхня температурна межа для тривалої роботи,	90 °С

Загальний вигляд динамічної петлі гістерезису при температурі 20 °С та 100 °С для матеріалу VITROVAC®-6025Z наведено на рис. 2.7.

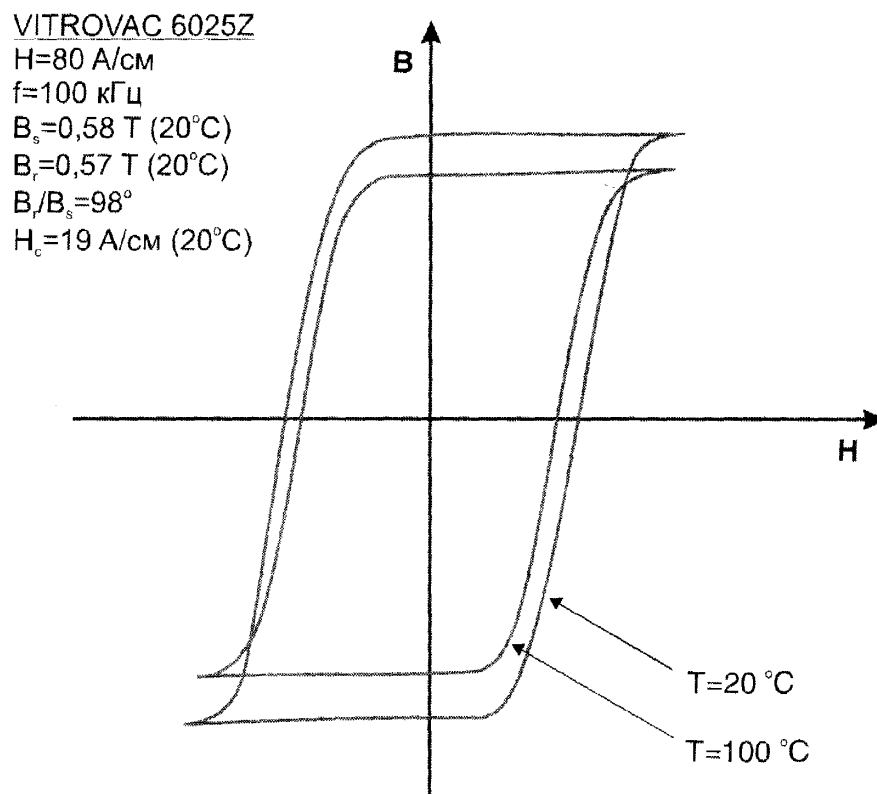


Рис. 2.7. Динамічна петля гістерезису (типовий вигляд) для матеріалу осердь VITROVAC-6025Z

При проектуванні генерувальної частини перетворювача необхідно було врахувати, що в більшості ЕМА-дефектоскопах генерувальний тракт повинен навантажуватись контуром з низьким активним опором. Таке включення дозволяє досягнути високого значення струму в коливальному контурі на резонансній частоті, а отже й забезпечити максимально ефективне перетворення енергії генератора в енергію змінного магнітного потоку в осерді генерувальної котушки. Для забезпечення виконання цієї умови для генерувальної частини була прийнята схема з послідовним резонансом при числі витків котушки індуктивності $N=24$. На рис. 2.8 представлено отриману експериментальну залежність комплексного електричного опору генераторної котушки від прикладеної частоти зовнішніх електричних коливань.

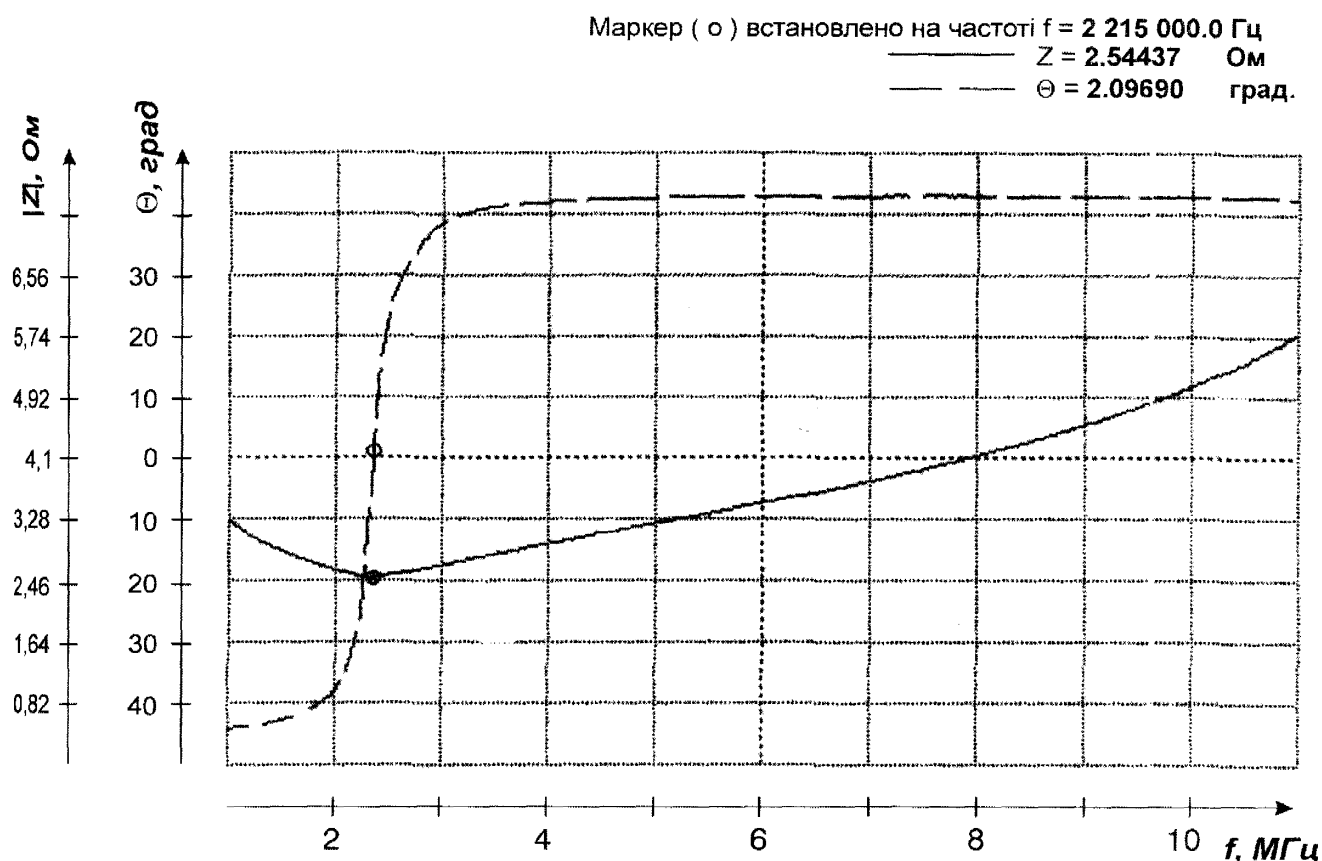


Рис. 2.8. Комплексний електричний опір та фазова крива як функція частоти коливань генераторного контура нормального зносостійкого ЕМА-перетворювача

При проектуванні приймальної частини перетворювача слід також дотримуватись ряду умов. Необхідно узгодити між собою три вимоги - використання максимально можливої кількості витків індуктивності на осерді магнітопроводу при забезпеченні необхідної робочої частоти основного резонансу та мінімальному комплексному електричному опорі не менше 1 кОм. Для забезпечення виконання цих вимог для приймальної частини була прийнята схема з паралельним резонансом при числі витків котушки індуктивності $N=100$. На рис. 2.9 представлено залежність дійсної та уявної частини комплексного електричного опору контуру приймальної частини перетворювача від частоти.

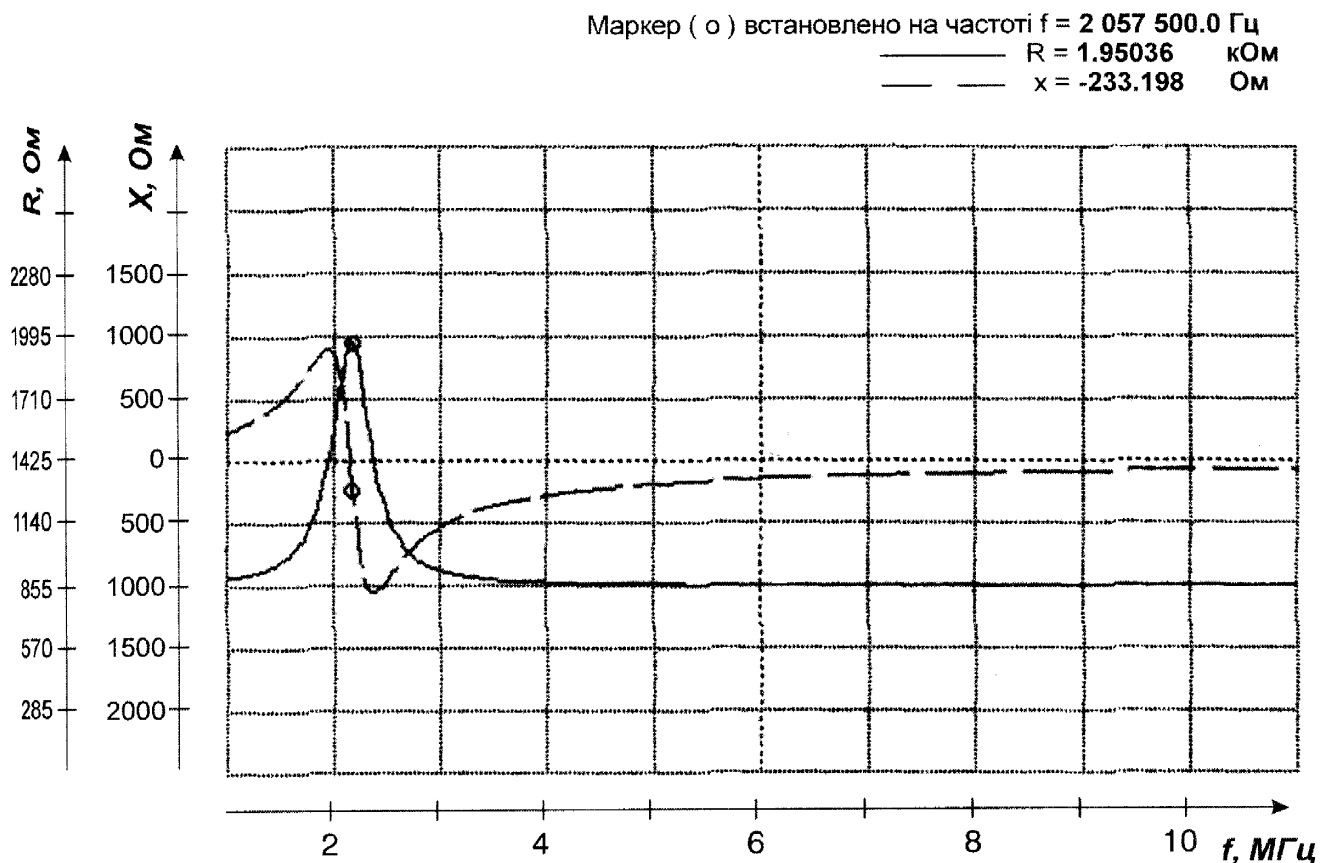


Рис. 2.9. Дійсна та уявна частина комплексного опору як функція частоти коливань приймального контура нормального зносостійкого ЕМА-перетворювача

Після виготовлення експериментального зразка перетворювача (рис. 2.10) були проведені експериментальні дослідження його акустичних властивостей.

Насамперед були проведені дослідження діаграми направленості перетворювача. Для цього перетворювач був розташований на плоскій стороні напівциліндричного зразка, виготовленого з конструкційної сталі. З протилежної сторони зразка було розташовано п'єзоелектричний перетворювач з широкою діаграмою направленості для зйому значень амплітуди акустичного тиску хвилі, що генерується експериментальним ЕМА-перетворювачем. На рис. 2.11 представлена отримана експериментальна діаграма направленості перетворювача в декартових та полярних координатах.

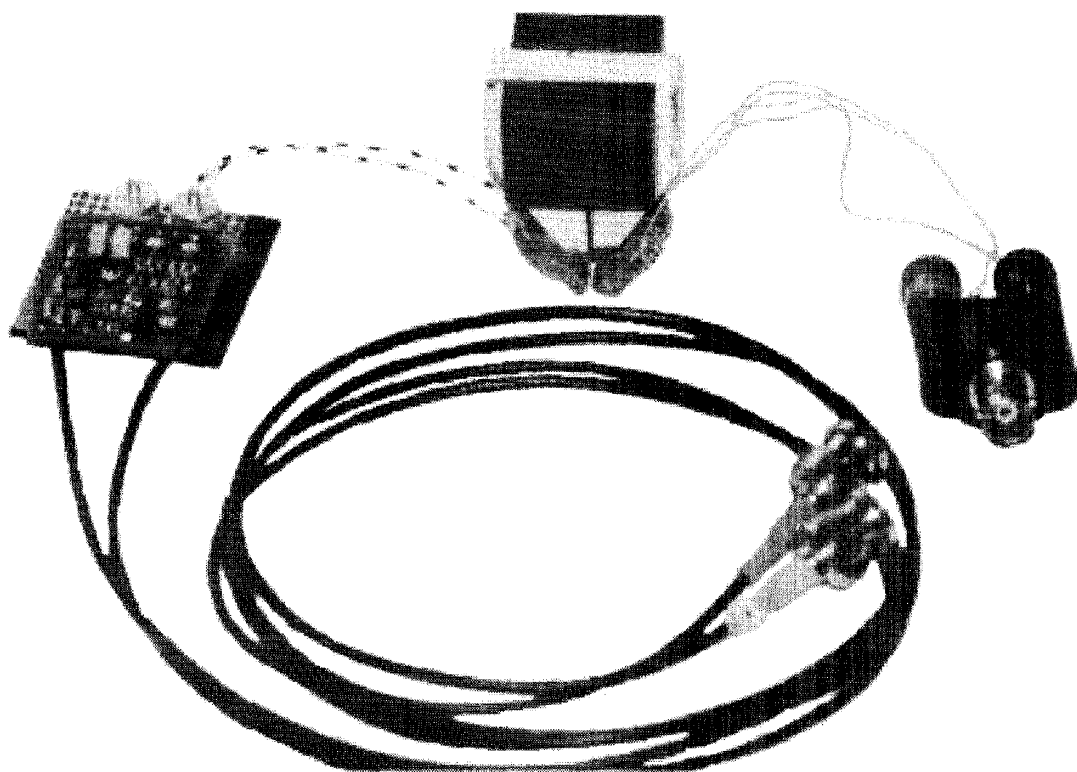
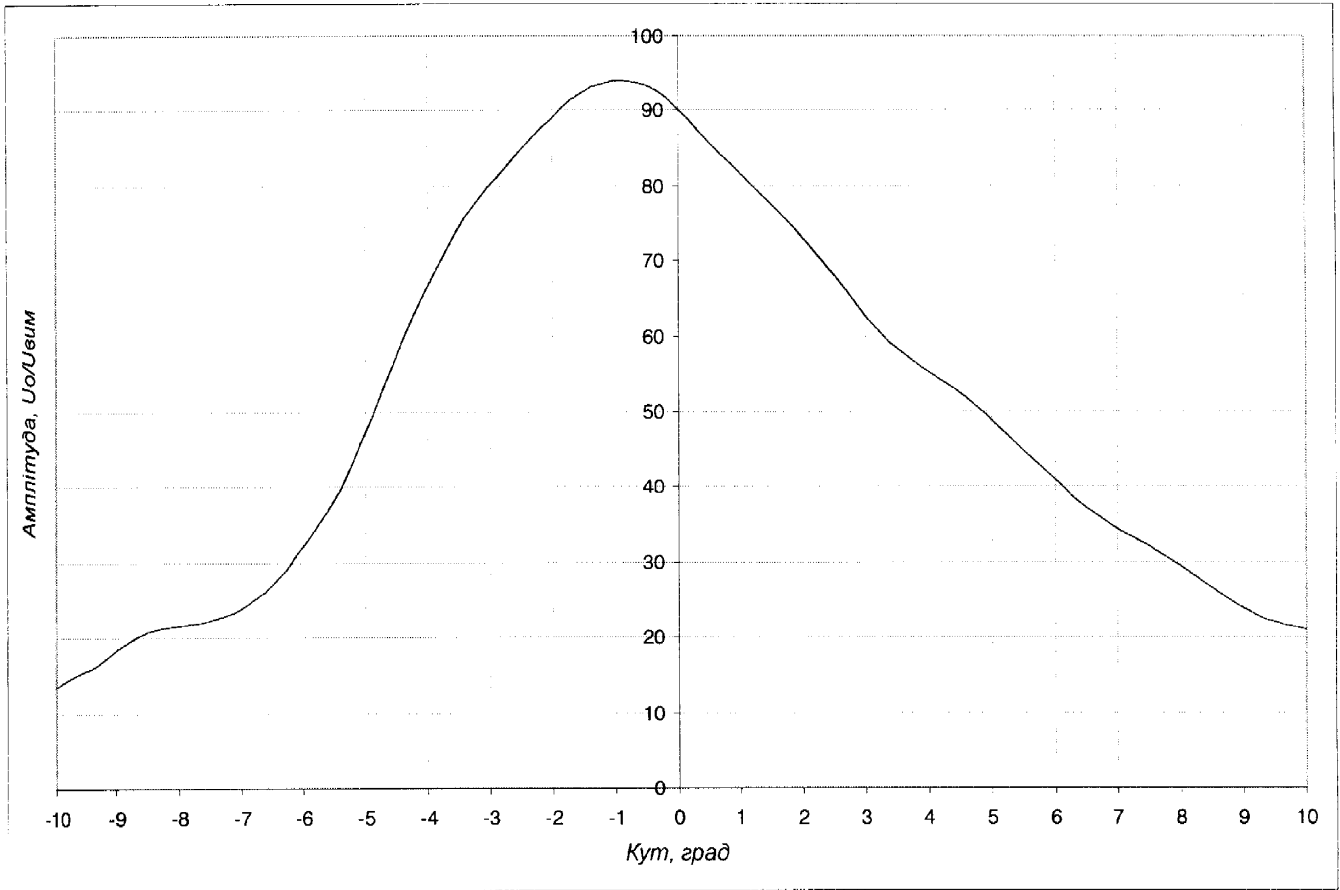
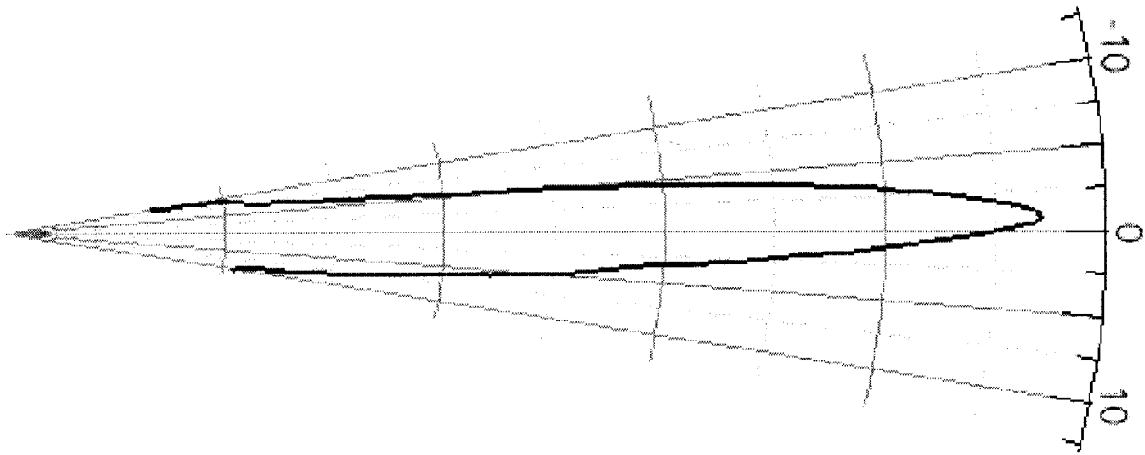


Рис. 2.10. Загальний вигляд зносостійкого ЕМА-перетворювача для генерування зсувової хвилі по нормалі до поверхні об'єкту контролю



а)



б)

Рис. 2.11. Діаграма направленості зносостійкого ЕМА-перетворювача для генерування зсувової хвилі по нормалі до поверхні об'єкту контролю в декартових (а) та полярних (б) координатах

Для перевірки працездатності розробленого електромагніто-акустичного перетворювача його було підключено до стандартного серійного ЕМА-дефектоскопа EMUS [123]. Параметри настроювання при цьому були наступними:

- основна частота, МГц	2,0
- частота повторення зондуючих сигналів, Гц	100
- кількість періодів зондуючого сигналу	4
- полоса пропускання вхідного фільтра, МГц	1,8 - 2,4
- рівень підсилення, дБ	20

В якості зразка було використану пластину, виготовлену із сталі марки 45 (трубна сталь) товщиною 10 мм (типова товщина стінки для бурильних труб діаметром 102-169 мм). Розміри зразка - 200 x 150 x 10 мм.

На рис. 2.12 наведено осцилограму сигналу струму збудження в генераторній котушці. Як видно з осцилограми, струм в контурі має форму, близьку до синусоїдальної, а максимальна амплітуда його становить 55 А (пік-пік).

На рис. 2.13 представлено осцилограму сигналу, знятого з приймальної котушки перетворювача. Як видно з цієї осцилограми, співвідношення сигнал/завада становить не менше 20 дБ, що є абсолютно задовільним для задач товщинометрії елементів нафтогазового обладнання та інструменту.

Додатково були проведені дослідження експериментального зразка перетворювача при роботі в режимі дефектоскопії. Для цього було виготовлено зразок у вигляді паралелепіпеда з сталі марки 45 в якому на половині його висоти було просвердлено наскрізний отвір, діаметром 2 мм (рис. 2.14). На поверхню зразка було встановлено перетворювач таким чином, щоб напрямок поляризації поперечної хвилі, що генерується, співпадав з напрямком свердління отвору (тобто, з напрямком осі отвора). На рис. 2.15 представлено осцилограму сигналу, одержаного з приймальної котушки перетворювача. На ній чітко видно сигнали як від донної поверхні зразка, так і від дефекту.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що розроблений перетворювач в повній мірі придатний для проведення товщинометрії та дефектоскопії металоконструкцій. При цьому перетворювач володіє підвищеною стійкістю до тертя по поверхні, що контролюється, та не потребує додаткових заходів з підтримки акустичного контакту між ним та поверхнею контролю.

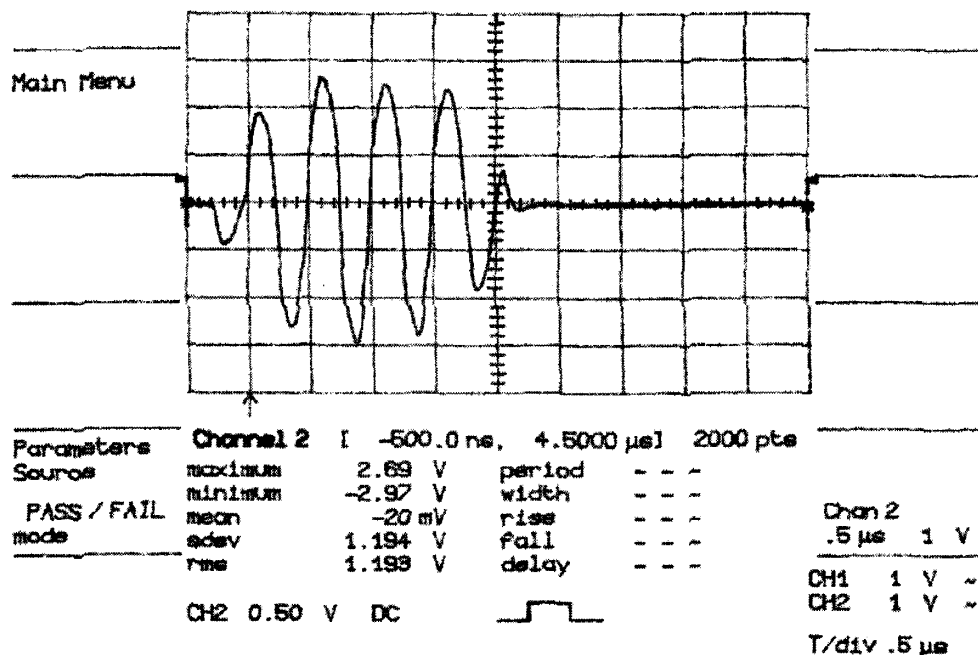


Рис. 2.12. Осцилограма форми та амплітуди імпульса струму в генераторній котушці

17-May-02
14:45:57

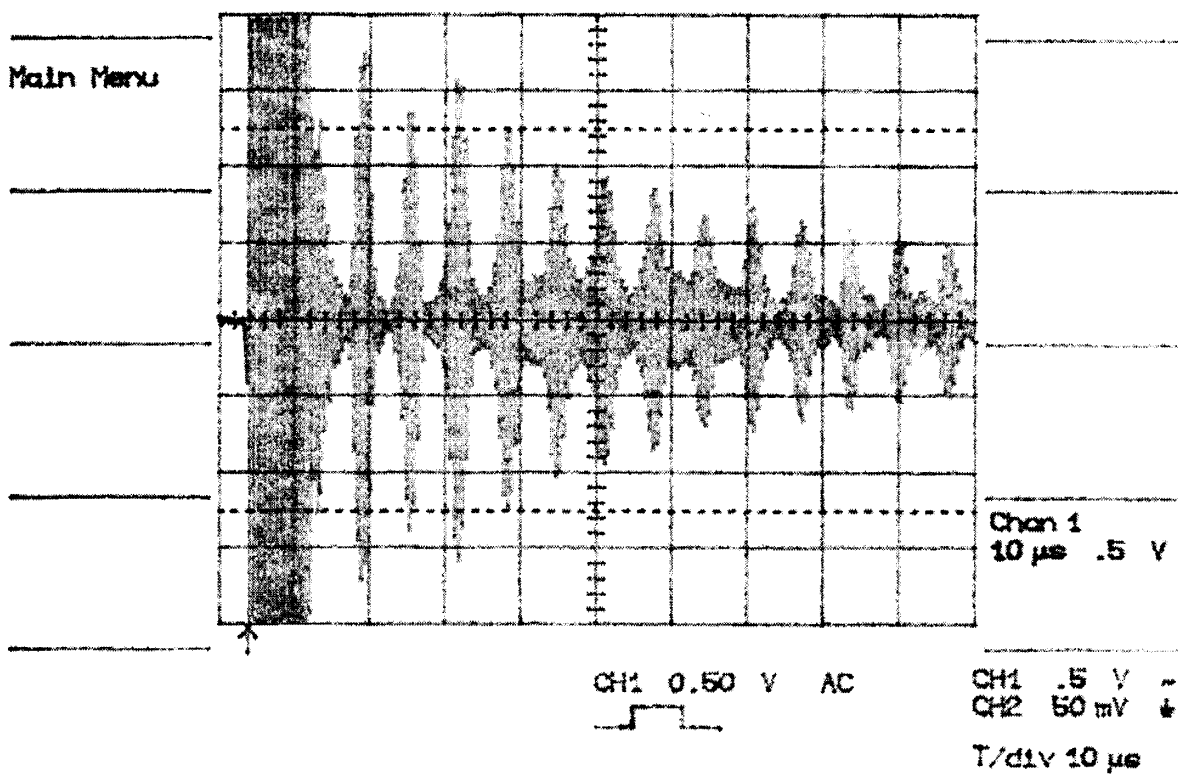


Рис. 2.13. Осцилограма сигналу прийомної котушки перетворювача

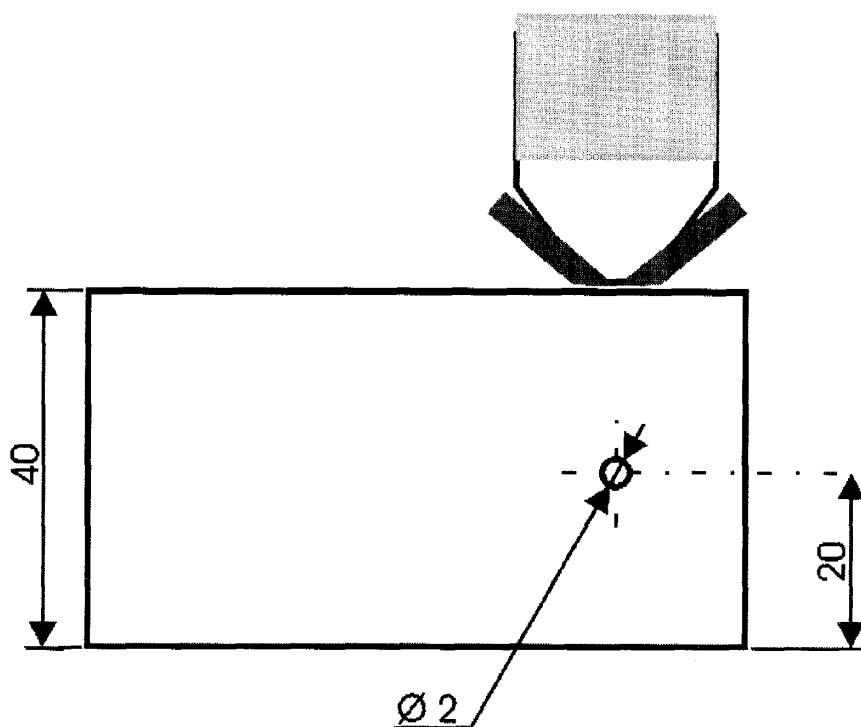


Рис. 2.14. Зразок із контрольним відбивачем -
 поздовжнім отвором $\varnothing 2$ мм

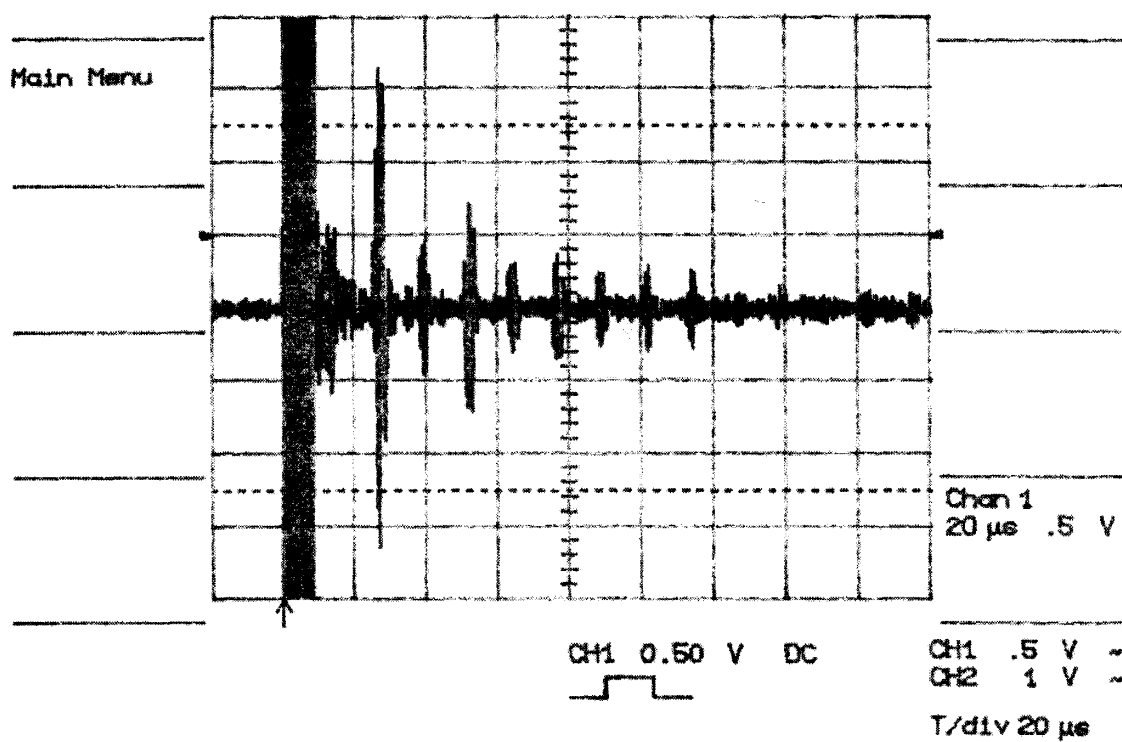


Рис. 2.15. Осцилограма сигналу прийомної котушки перетворювача,
 встановленого на зразок з контрольним відбивачем

2.4. Розробка зносостійкого ЕМА-перетворювача горизонтально-поляризованої зсувової хвилі з заданим кутом вводу до поверхні об'єкта контролю

Вихідні вимоги для розробки нового зносостійкого електромагніто-акустичного перетворювача (виходячи з параметрів електричних трактів генератора зондуючих імпульсів та вхідного підсилювача системи EMUS) були прийняті наступні:

1. Тип хвилі - зсувова, горизонтально-поляризована
2. Кут вводу - в межах 60° - 80° , керований
3. Робоча частота - 2,0 МГц
4. Резонансний опір генерувального контуру - до 50 Ом
5. Резонансний опір приймального контуру - не менше 1 кОм
6. Тип магнітної системи - з використанням постійних магнітів
7. Основне призначення - дефектоскопія матеріалу об'єкту контролю.

При розробці зносостійкого електромагніто-акустичного перетворювача для генерування та прийому горизонтально-поляризованої зсувової хвилі під заданим кутом до поверхні об'єкту контролю було прийнято рішення про використання подібних підходів, як і при розробці зносостійкого ЕМА-перетворювача для товщинометрії.

На рис. 2.16. схематично представлено конструкцію такого ЕМА-перетворювача та наведено розподіл полів та сил, що виникають в матеріалі об'єкту контролю та в самому перетворювачі під час його роботи.

Конструктивно ЕМА-перетворювач для генерування та прийому горизонтально-поляризованої зсувової хвилі під кутом до поверхні 60° - 80° складається з серії паралельно розташованих стрижнів, відстань між якими задає довжину акустичної хвилі, що генерується. Торці стрижнів з обох боків приклеєні до Ш-подібних осердь, на кожній з половинок яких намотано радіочастотні котушки (матеріал для осердь - MITROVAC® - 6025Z). Радіочастотні котушки намотані і підключені одна до одної та до генератора змінного струму таким чином, щоб забезпечити нормальне протікання (замикання) магнітного потоку в утвореному складному осерді. Над системою з двох

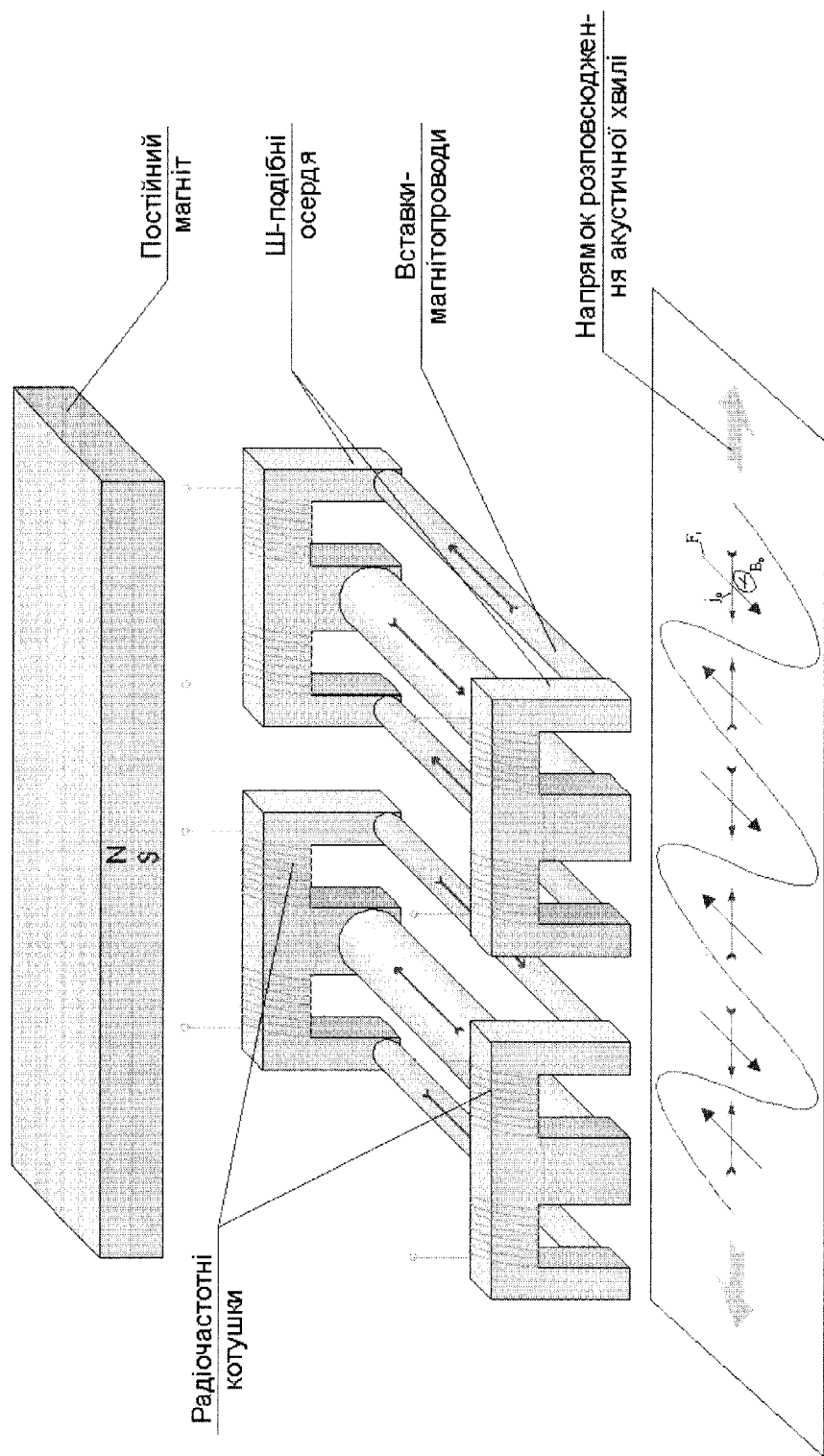


Рис. 2.16. Конструкція зносостійкого ЕМА-перетворювача для генерування та прийому горизонтально-поляризованої зсувової хвилі під заданим кутом до поверхні

B_0 - прикладене зовнішнє магнітне поле

j_0 - вихреві струми

F_L - сила Лоренца

складних осердь встановлю постійний магніт.

Перетворювач з такою конфігурацію працює наступним чином:

- серія збуджувальних імпульсів від задаючого генератора з частотою 2,0 МГц подається на послідовний коливальний контур, утворений ємністю $C1$ (рис. 2.17, а) та індуктивностями $L1-L8$, розташованими на верхніх частинах Ш-подібних магнітопроводів;

- оскільки коливальний контур $L1-L8, C1$ налаштований на частоту основного резонанса 2,0 МГц з резонансом по струму і при цьому він має низький активний опір (десятки Ом), контур, в момент подання на нього імпульсів збудження, споживає від генератора струм, в межах 40-50 А;

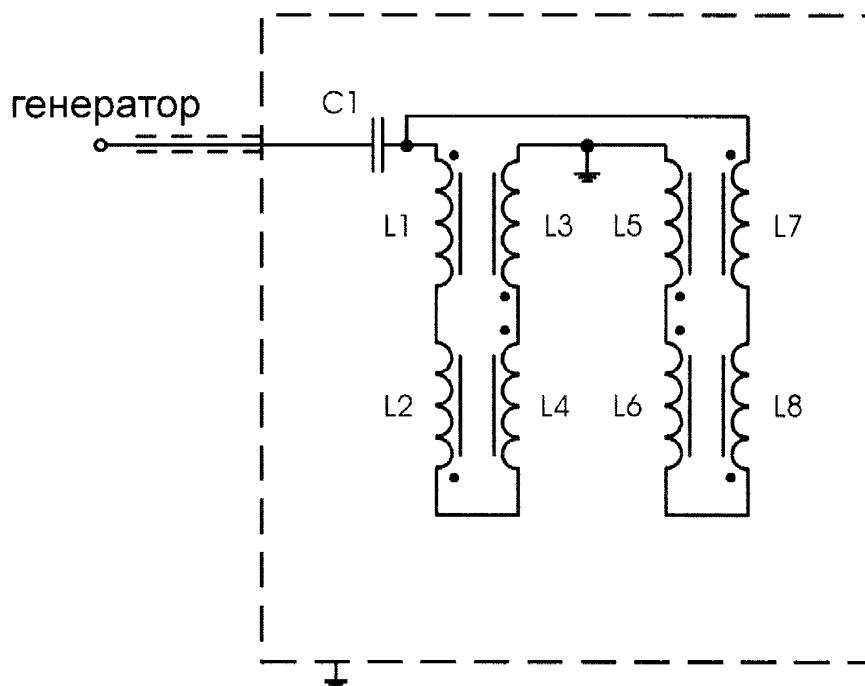
- оскільки індуктивності $L1-L8$ виконані на магнітопроводах, в них створюється змінний магнітний потік H , значення якого пропорційне до кількості витків індуктивностей та струму в них; магнітний потік збуджується в зустрічних напрямках в двох плечах Ш-подібного магнітопроводу в кожній з сторін перетворювача;

- оскільки над матеріалом об'єкту контролю в певний момент присутній змінний магнітний потік в осерді перетворювача, з частотою, відповідною до частоти збуджуючих електричних коливань, в підповерхневому шарі матеріалу контролю виникають вихреві струми, частота та фаза яких також відповідають частоті збуджуючих коливань; вихреві струми j_e , які, в результаті взаємодії з постійним магнітним полем B_0 постійного магніта за правилом Лоренца, призводять до виникнення механічних зсувових коливань в підповерхневому шарі об'єкту контролю (див. рис. 2.16);

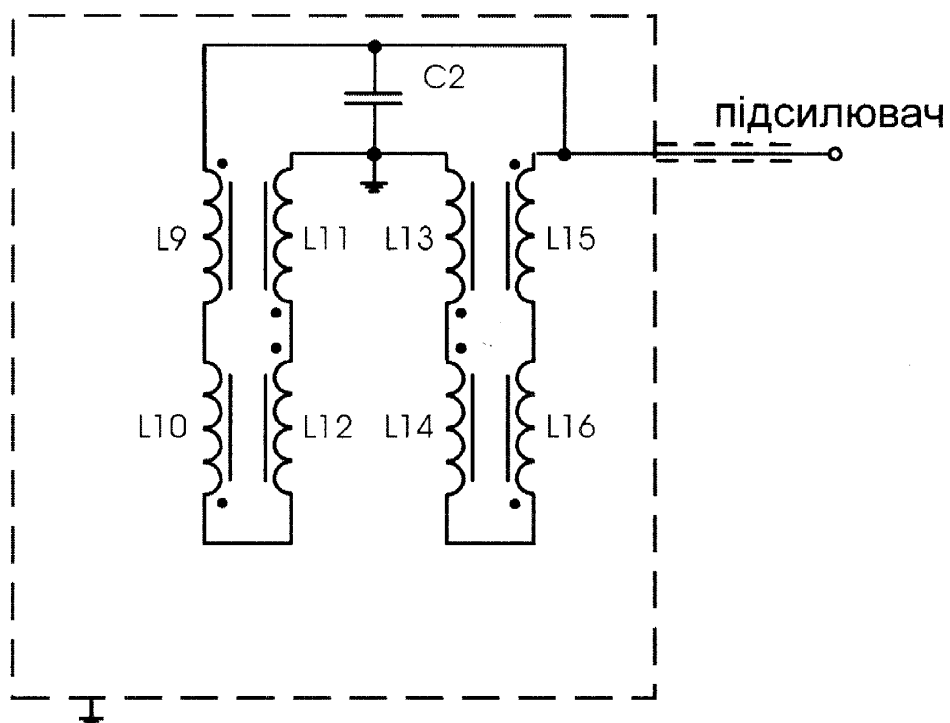
- ультразвукова зсувова хвиля, поляризована в площині виникнення далі розповсюджується вглиб матеріалу під заданим кутом до поверхні;

- приймальні котушки перетворювача включені в паралельний резонансний контур ($L9-L16, C2$) (рисунок 2.17, б); при цьому індуктивності розташовані на тих-самих Ш-подібних осердях, що й генераторні котушки;

- система магнітопроводів перетворювача, так само як і об'єкт контролю знаходяться під впливом постійного магнітного поля; в момент приходу акустичної хвилі до місця розташування перетворювача відбувається моделювання постійного



а)



б)

Рис. 2.17. Електрична схема генераторного (а) та приймального (б) ЕМАП горизонтально-поляризованої зсувової хвилі

магнітного поля, що призводить до виникнення змінного магнітного потоку в осердях, на, відповідно, струму в приймальних індуктивностях L9-L16;

- струм в контурі (L9-L16, C2) в подальшому підсилюється підсилювачем з високим вхідним опором та використовується для роботи дефектоскопа (принципова електрична схема вхідного підсилювача наведена в додатку А).

На рис. 2.18 наведено експериментально отриманий графік залежності дійсної та уявної частини комплексного електричного опору генерувального контуру ЕМАП від частоти, а на рис 2.19 наведено залежність для приймального контуру того самого

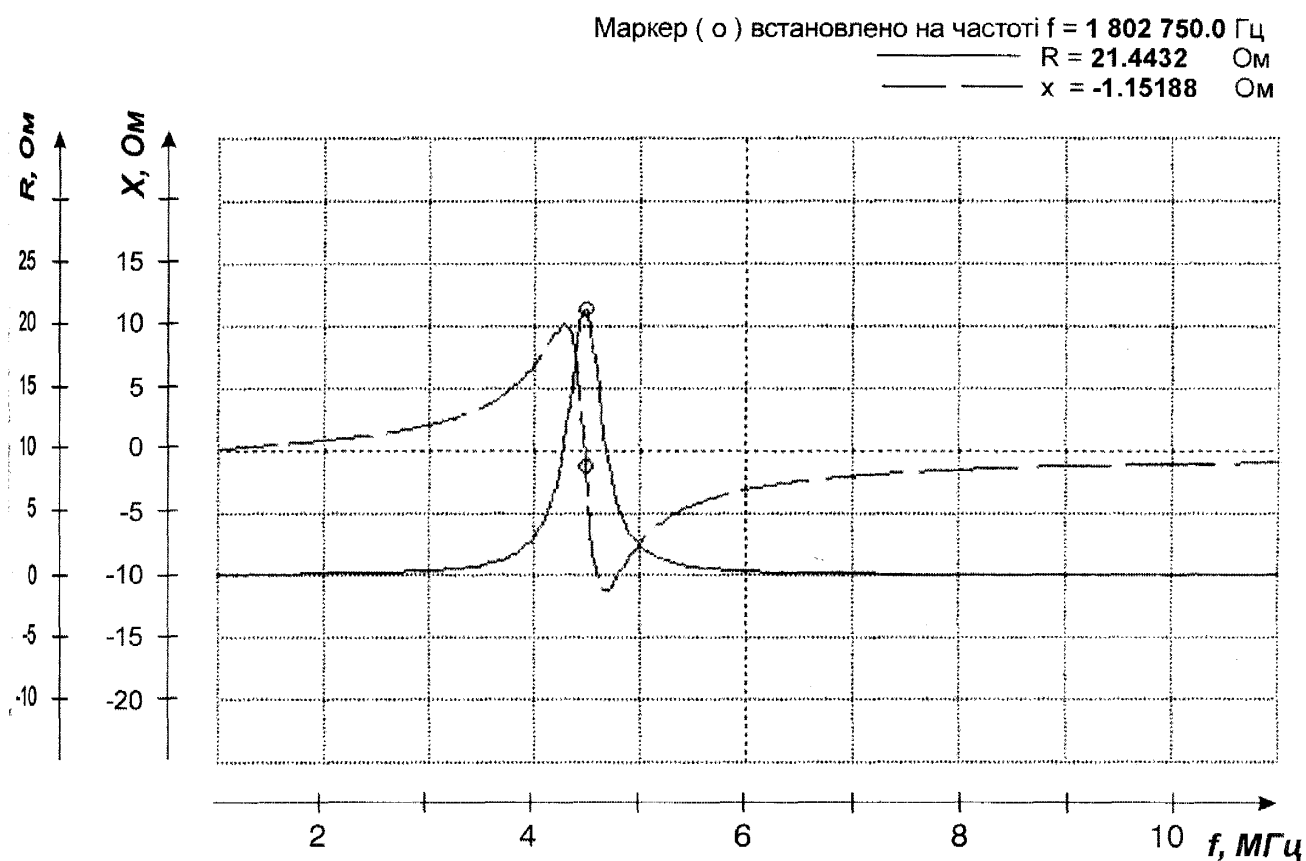


Рис. 2.18. Залежність дійсної та уявної частини комплексного електричного опору генерувального контура ЕМАП горизонтально-поляризованої зсувової хвилі від частоти електричних коливань

ЕМАП. Як видно з наведених залежностей, електричні характеристики ЕМАП відповідають тим, які були для нас вихідними, а саме - основна робоча частота 2 МГц, резонансний опір генерувального тракту до 50 Ом, та резонансний опір приймального тракту - понад 1 кОм.

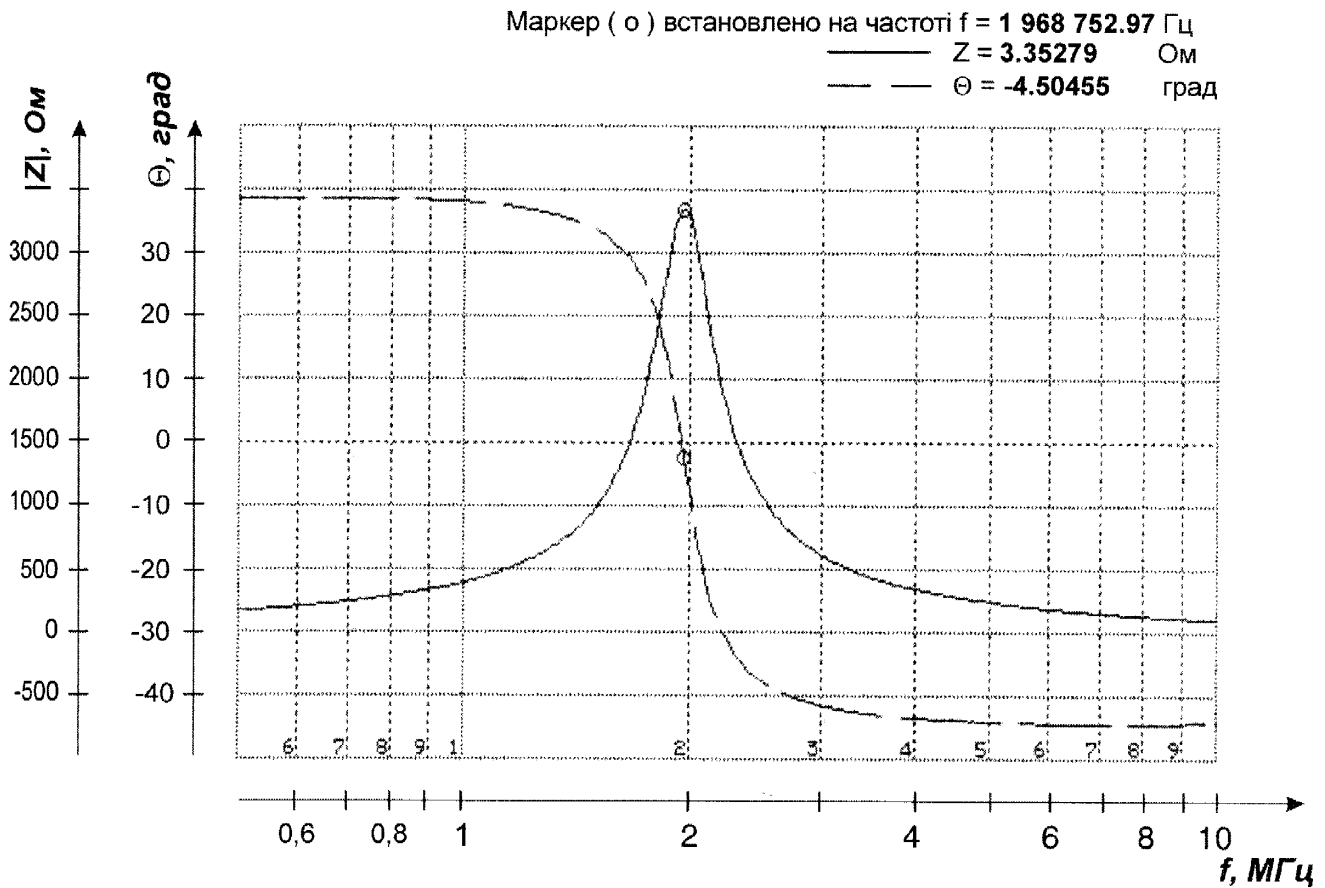


Рис. 2.19. Залежність комплексного електричного опору та кута фази приймального контура ЕМАП горизонтально-поляризованої зсувової хвилі від частоти електричних коливань

Перевірка працездатності розробленого перетворювача проводилась також на зразках, виготовлених з фрагментів бурильних труб з нанесеними штучними дефектами у відповідності до ГСТУ 320.02829777.002-95. Одна з осцилограм сигналу від штучного дефекту, одержана за допомогою розробленого перетворювача, показана на рис. 2.20. Як видно з наведеного, перетворювач впевнено виявляє дефект. Співвідношення сигнал/шум при цьому становить не менше 24 дБ.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що розроблений ЕМА-перетворювач для генерування та прийому ультразвукової хвилі під заданим кутом до поверхні в повній мірі придатний для проведення дефектоскопії металоконструкцій. При цьому перетворювач володіє підвищеною стійкістю до тертя по поверхні, що контролюється та не потребує додаткових заходів з підтримки акустичного контакту між ним та поверхнею контролю.

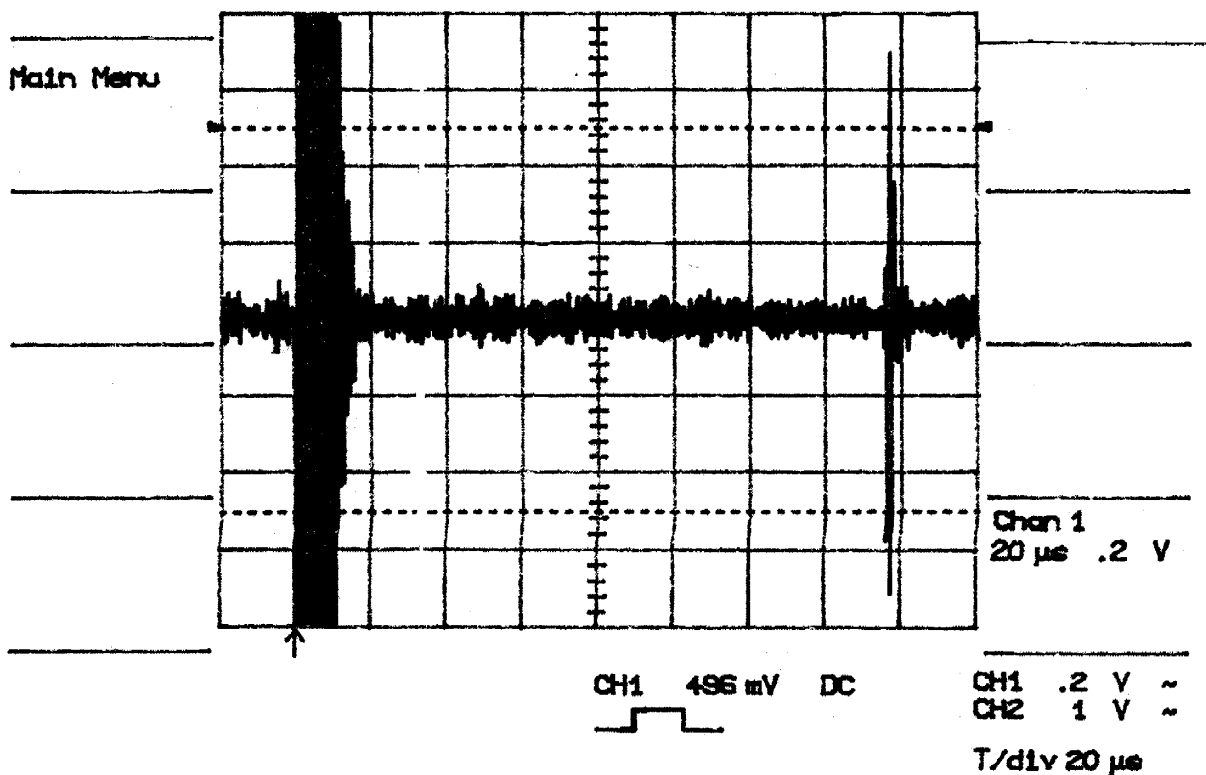


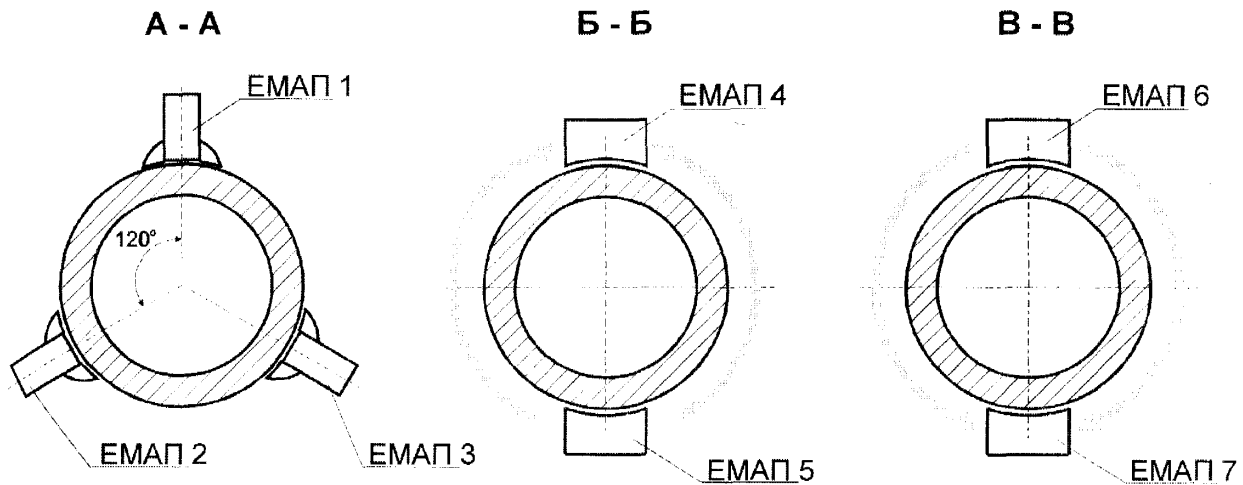
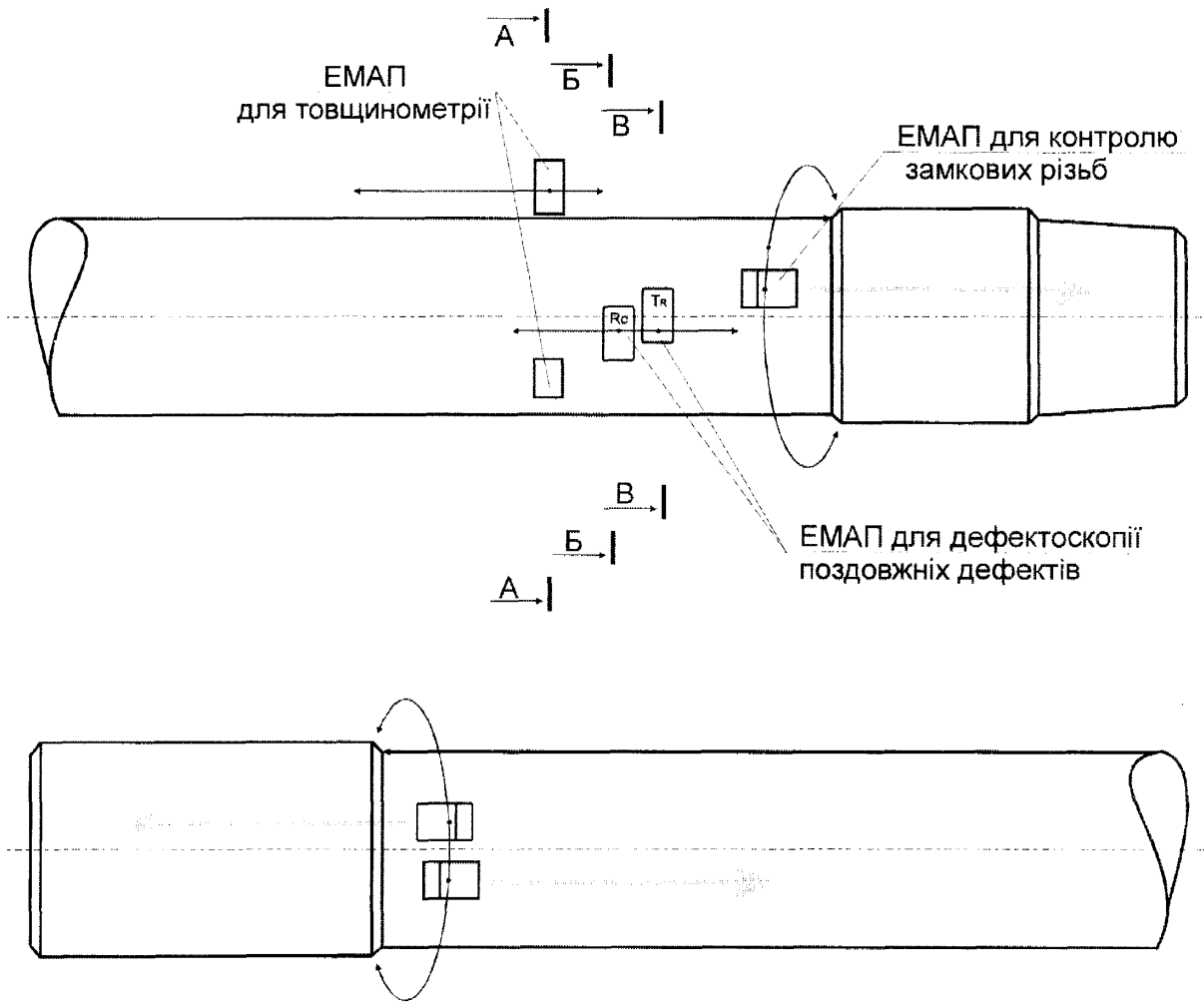
Рис. 2.20. Осцилограма сигналу від штучного дефекту, одержана за допомогою розробленого перетворювача

2.5. Розробка технології акустичного контролю труб нафтового сортаменту

Наявність розроблених зносостійких перетворювачів дозволяє запропонувати нову покращену технологію неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту. Дана технологія (рис. 2.21) передбачає використання горизонтально-поляризованої зсувової хвилі акустичних коливань для контролю різьбових ділянок на наявність дефектів, типу тріщин в западинах ниток різьби; горизонтально-поляризованої зсувової хвилі для контролю тіла труби на наявність дефектів з поздовжньою орієнтацією відносно поздовжньої вісі труби; поверхневої (Релеївської) хвилі для контролю тіла труби на наявність дефектів з поперечною орієнтацією, що мають розкриття на поверхню тіла труби; лінійно-поляризованої зсувової хвилі для проведення товщинометрії тіла труби.

Контроль труб здійснюється в наступній послідовності:

1. За допомогою ЕМА-перетворювача горизонтально-поляризованої зсувової хвилі проводиться сканування (шляхом обертання перетворювача навколо труби) верхнього замкового кінця.
2. Під час лінійного переміщення труби здійснюється дефектоскопія тіла труби на наявність дефектів з поздовжньою орієнтацією за допомогою двох ЕМА-перетворювачів горизонтально-поляризованої зсувової хвилі.
3. Одночасно з дефектоскопією тіла труби на наявність дефектів з поздовжньою орієнтацією проводиться неперервне вимірювання товщини стінки труби по трьом рівновіддаленим (через 120°) твірним.
4. По завершенню сканування тіла труби проводиться сканування (шляхом обертання перетворювача навколо об'єкту контролю) нижнього замкового кінця труби за допомогою такого самого ЕМА-перетворювача, як і для верхнього замкового кінця.
5. Одночасно із скануванням нижнього замкового кінця проводиться сканування (шляхом обертання перетворювача навколо об'єкту контролю) тіла труби для виявлення поперечно-орієнтованих тріщин, за допомогою ЕМА-перетворювача поверхневої (Релеївської хвилі).



- ЕМАП 1 - ЕМАП 3** -- Електромагніто-акустичні перетворювачі для товщинометрії стінки труби
ЕМАП 4, ЕМАП 6 -- Електромагніто-акустичні трансмітери для дефектоскопії на наявність дефектів поздовжньої орієнтації
ЕМАП 5, ЕМАП 7 -- Електромагніто-акустичні ресівери для дефектоскопії на наявність дефектів поздовжньої орієнтації

Рис. 2.21. До пояснення технології акустичного НК за допомогою ЕМА-перетворювачів

Висновки

1. Розроблено нову конструкцію електромагніто-акустичного перетворювача для генерування та прийому лінійно-поляризованої зсувової хвилі по нормалі до поверхні об'єкту контролю (труби). Розроблений перетворювач не містить потенційно вразливих елементів в робочій зоні (зоні дотику поверхні перетворювача до поверхні труби), а отже може експлуатуватись тривалий термін без ризику пошкодження по нерівностях, що мають місце на пверхні труби, що контролюється.

2. Розроблено нову конструкцію електромагніто-акустичного перетворювача для генерування та прийому горизонтально-поляризованої зсувової хвилі під заданим кутом до поверхні об'єкту контролю. Так само як і нормальний ЕМА-перетворювач даний перетворювач є зносостійким та стійким до механічних пошкоджень.

3. Запропоновано технологію контролю бурильних труб для їх 100% діагностики в польових умовах з використанням ЕМА-перетворювачів.

РОЗДІЛ 3

СИГНАЛИ З РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРА, ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОННО-АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Теоретичне обґрунтування можливості використання кодів Баркера для покращення співвідношення сигнал/шум.

На протязі багатьох років діагностика нафтогазового обладнання та інструменту здійснюється за допомогою ультразвукових систем з використанням п'єзоелектричних перетворювачів. Поряд з перевагами п'єзоелектричних перетворювачів (серед яких - висока чутливість при контролі виробів з металів) їх використання при діагностиці нафтогазового обладнання та інструменту спряжене з рядом труднощів, що заводились раніше. Уникнути цих труднощів можна за умови заміни п'єзоелектричних перетворювачів на електроманіто-акустичні. Але з використанням ЕМА-перетворювачів виявляються й нові проблеми ультразвукової дефектоскопії.

Серед недоліків ЕМА-перетворювачів особливо слід виділити один - порівняно низька чутливість до виявлення дефектів. При акустичному контролі з допомогою ЕМА-перетворювачів відбиті від дефектів сигнали часто знаходяться нижче порогового рівня прийомного тракту дефектоскопа й не виявляються. Це призводить до появи нової для ультразвукового контролю проблеми виявлення луно-сигналів, що знаходяться нижче рівня шуму, або, іншими словами, таких, що знаходяться в суміші випадковим, білим шумом.

Проблема виявлення близька до існуючої в традиційній дефектоскопії проблеми підвищення чутливості луно-імпульсної дефектоскопії. Однак, існуючі методи підвищення чутливості не вирішують проблеми виявлення луно-імпульсів, замаскованих шумом й виділення його з випадкового шуму. В традиційній апаратурі ультразвукового луно-імпульсного контролю діапазон чутливості обмежується знизу

рівнем шуму приймальної частини дефектоскопа. Збільшення чутливості за рахунок збільшення амплітуди зонduючого сигналу має межу, що визначається вихідним каскадом генератора або допустимою напругою на перетворювачі [58].

Таким чином, при контролі виробів за допомогою малочутливих ЕМА-перетворювачів з'являється принципово нова проблема - проблема виявлення луно-імпульса, що знаходиться нижче порогового рівня шумоприйомної частини дефектоскопа. Тому слід сприймати нове поняття для УЗ-дефектоскопії матеріалів - чутливість до виявлення сигналів, маскованого шумом [58]. Ця чутливість повинна характеризуватись співвідношенням рівнів луно-імпульсу й білого шуму (співвідношенням сигнал/шум).

Виділення луно-імпульсу з білого шуму залежить не від амплітуди, а від енергії зонduючого сигналу. Очевидно, що виділити луно-імпульс з шуму можна при зменшенні частоти зонduючого сигналу, оскільки затухання залежить від частоти - чим менша частота, тим менше затухання ультразвука. Звідси слідує, що поняття чутливості до виявлення прямо пропорційне енергії зонduючого імпульса й зворотно пропорційне частоті сигналу.

Поняття чутливості до виявлення знаходиться також в протиріччі з роздільною здатністю по дальності. Дійсно, чим нижча частота сигналу, тим більша його привалість й тим нижча розрізняюча здатність.

Такого роду проблеми, як підвищення чутливості приладу, комплексно вирішують при використанні відомих в радіотехніці складномодульованих сигналів і методів їх обробки – оптимальної фільтрації, синхронного детектування або накопичення.

Ідея підвищення чутливості при електромагніто-акустичному контролі полягає в використанні складномодульованих сигналів (кодових послідовностей) при формуванні акустичного сигналу та методів оптимальної фільтрації при обробці луно-імпульсів. В якості кодових послідовностей вибір було зупинено на фазомодульованих сигналах, модульованих двійковими кодовими послідовностями – кодами Баркера, як таких, використання яких добре опрацьоване для використання в інших галузях техніки, а особливо - в системах радіолокації.

Для швидкісних систем, що використовують шумоподібні сигнали і призначені

для передачі інформації, зазвичай використовують коди Баркера, що володіють кращими автокореляційними властивостями. За допомогою комп'ютерного моделювання були знайдені так звані коди Вілларда, які при тій самій довжині, що й коди Баркера, мають інколи кращі кореляційні властивості. Кодові послідовності Баркера, що мають довжину більше 13 символів, невідомі, тому для отримання більшого виграшу при обробці, більшої завадостійкості використовують послідовності більшої довжини, значну частину яких утворюють М-послідовності.

В роботі [67] було проведено дослідження нового комплекту мікросхем PRISM™ фірми Harris Semiconductor з використанням коротких М-послідовностей та кодів Баркера з метою знаходження оптимальних з них з точки зору автокореляційної функції (АКФ).

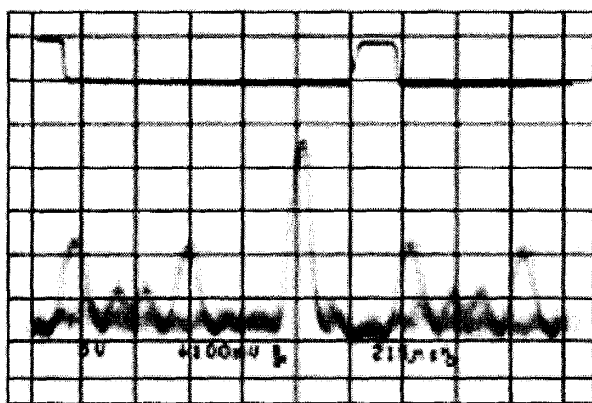
В рамках цього дослідження була проаналізована М-послідовність довжиною 15, що мала вигляд:

111 1000 1001 1010

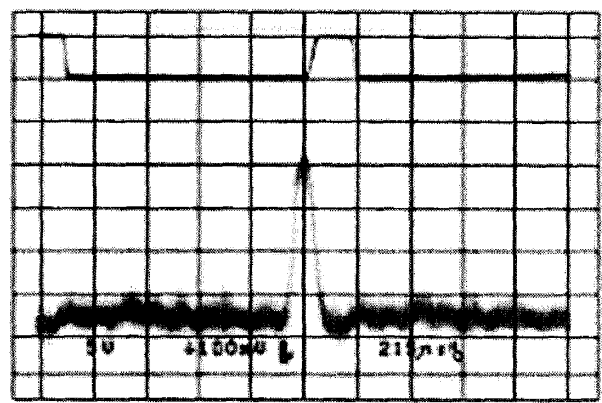
Як виявилось, вона володіє гіршими автокореляційними властивостями, ніж послідовність Баркера довжиною 13 символів, виду:

1 1111 0011 0101

Практичний вигляд АКФ М-послідовності показано на рис.3.1, а. Для порівняння, АКФ кодової послідовності Баркера довжиною 13 показано на рис. 3.1, б.



а)



б)

Рис. 3.1 - АКФ кодових послідовностей:

а) - 15-елементна М-послідовність

б) - 13-елементна послідовність Баркера

Як видно з осцилограм, М-послідовність має декілька великих бокових піків, які можуть значно погіршити приймальні властивості системи з шумоподібними сигналами, а інколи можуть призвести до хибного виявлення сигналу.

Таким чином короткі М-послідовності поступаються послідовностям Баркера за автокореляційними властивостями. В той же час для задач акустичної дефектоскопії довжина зондуючого сигналу має принципове значення, оскільки чим вона більша, тим більшою є "мертва" зона акустичного перетворювача.

Із значною ступінню узагальнення процедуру виявлення дефектів в матеріалі об'єкту контролю можна співставити з процедурою передачі цифрової інформації - луно-імпульс відбитої від дефекту акустичної хвилі потрапляє на акустичний перетворювач (в нашому випадку - ЕМАП), в подальшому обробляється і має бути однозначно ідентифікований системою саме як сигнал від несуцільності в матеріалі. Подібно до цього в системах передачі цифрової інформації елементарна одиниця інформації 0 або 1 має бути чітко ідентифікована приймальним трактом не зважаючи на вплив завад будь-якого походження.

В системах для передачі цифрових сигналів з розширенням спектра використовують розтягання спектральної смуги поверх значення, необхідного для певної швидкості передачі сигналів, з метою поліпшення прийому та подавлення інтерференції. Був запропонований ряд систем розширення спектру, що використовують кодування сигналу за допомогою різноманітних видів модуляції. Можливості кодування теоретично не обмежені. В даній роботі приділимо увагу дискретній модуляції, яка забезпечує кодування зі скінченим числом станів.

Для переносу основної одиниці інформації - одного біту - у самому простому випадку достатньо послати сигнал необхідної тривалості з постійними амплітудою та частотою. Якщо приймач виявить цей сигнал, то на виході з'явиться сигнал з рівнем +1; якщо не виявить - сигнал з рівнем -1. Для такої найпростішої системи існує реальна небезпека прийому побічних та випадкових сигналів.

В системах зв'язку з розширенням спектру інформації з рівнем 1 відповідає точно визначений кодований сигнал. Приймач вміщує фільтр, який налаштовано на цей сигнал, прийом котрого створює вихідний сигнал з рівнем 1, причому всім іншим

сигналам відповідає рівень -1. Небезпека прийому сторонніх сигналів (за виключенням відбитих) незначна.

В загальному випадку кодований сигнал, котрий розглядається в цьому розділі у відповідності з роботою [38], описується виразом

$$s(t) = \sum_{n=1}^N A_n q_n(t) \cos[(w_0 + w_n t + \varphi_n)], \quad (3.1)$$

де

$$q_n(t) = 1 \quad \text{при} \quad (n-1)\tau < t < n\tau, \quad (3.2)$$

$$q_n(t) = 0 \quad \text{поза цим інтервалом.} \quad (3.3)$$

Сигнал $s(t)$ вміщує 1 біт інформації. Він складається з елементарних однорідних сигналів - сегментів довжиною τ , число яких рівне N . Сегменти можуть відрізнятися по амплітуді A_n , частоті w_0 та фазі φ_n . Інформація 1 біт у формі кодованого сигналу $s(t)$ (3.1) вміщує десятки і навіть сотні сегментів. Оскільки для передачі інформації 1 біт достатньо одного сегмента, довжина кодованого сигналу в багато разів більше, ніж це необхідно.

Для опису кодованого сигналу (3.1) використовуються дві основні величини: середня частота f_0 та ширина смуги B , яка рівна оберненому значенню довжини сегмента τ . Важливою величиною є добуток тривалості сигналу на ширину смуги, який називається базою сигналу, що дорівнює числу сегментів в сигналі

$$BT = T / \tau = N \quad (3.4)$$

Значний діапазон змін геометричних параметрів ЗШП (зустрічно-штирвовий перетворювач) створює умови для формування та прийому кодованого сигналу типу (3.1). Практичний інтерес представляє передусім випадок двійкового кодування сигналу зміщенням фази. При цьому у виразі (3.1) приймемо $A_n = 1$, $w_n = 0$; тоді маємо

$$s(t) = \sum_{n=1}^N q_n(t) \cos(w_0 t + \varphi_n). \quad (3.5)$$

Двійкове кодування зміщенням фази передбачає два значення фазової постійної: $\varphi_n = 0$ і $\varphi_n = \pi$. Сусідні елементи сигналу можуть мати взаємо обернені значення фази (рисунок 3.2, а).

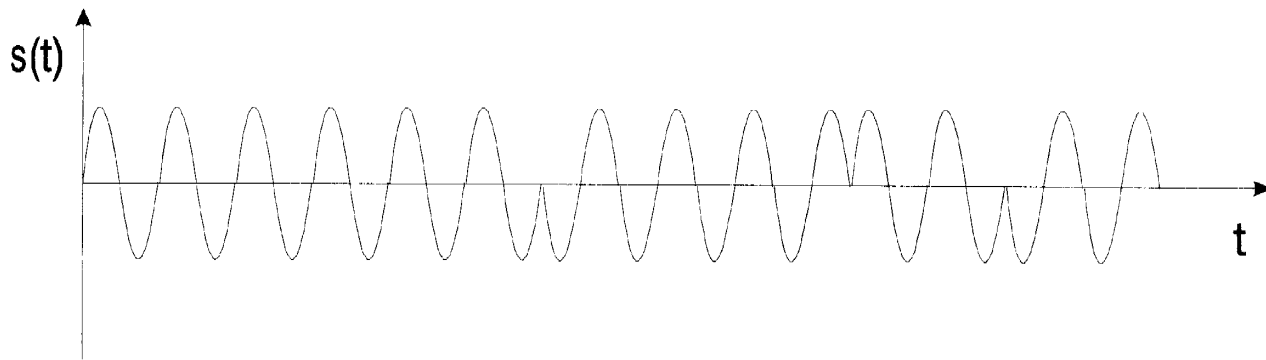
Для повноти викладення згадаємо про випадок кодування сигналу зміщенням частоти, який, проте, не є кодуванням в прямому змісті цього слова, через те що передбачає тільки один сегмент:

$$\begin{aligned} s(t) &= \cos(w_0 + w_n)t && \text{при } 0 < t < \tau, && (3.6) \\ s(t) &= 0 && \text{поза цим інтервалом.} \end{aligned}$$

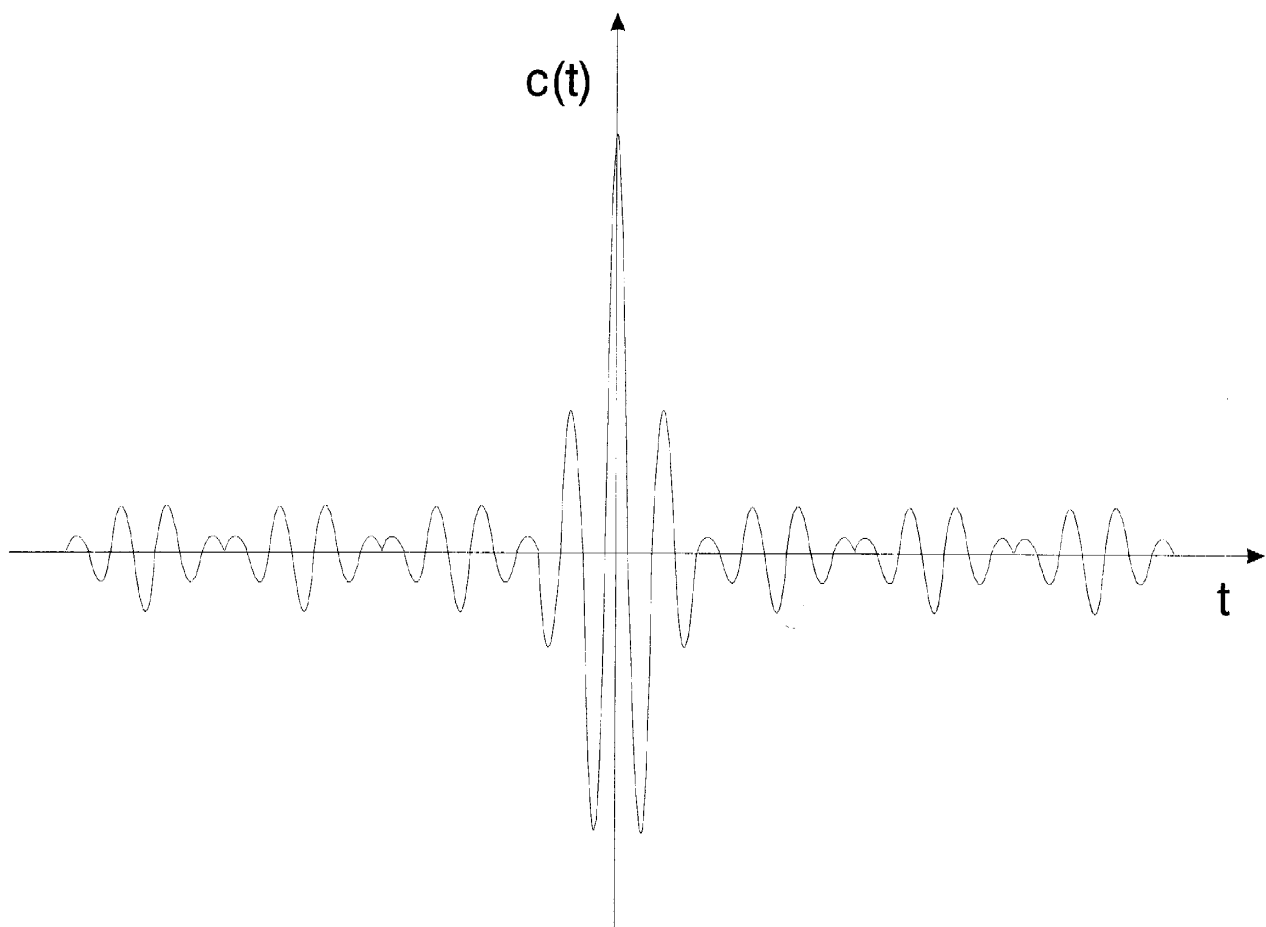
Приймач кодованого сигналу містить узгоджений фільтр, утворений трансверсальним фільтром на поверхневих акустичних хвилях, імпульсний відгук якого $h(t)$ є дзеркальним відображенням сигналу, що приймається, тобто $h(t) = s(-t)$. Вихідний сигнал узгодженого фільтра

$$c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)s(\tau - t)d\tau \quad (3.7)$$

має гострий пік кореляції (рисунок 3.2, б). Вибір кода та конструктивне виконання узгодженого фільтра повинні передусім забезпечити максимально можливе заглушення осциляцій.



a)



б)

Рис. 3.2 - Принцип двійкового кодування зміщенням фази (семиелементний код Баркера):

а) - кодований сигнал;

б) - автокореляційний сигнал в узгодженому фільтрі

3.2 Двійкові коди

Під двійковим кодом розуміють послідовність чисел 1 і -1, яку вибирають таким чином, щоб при фазовій постійній $\varphi_n = 0$ для кода 1 та $\varphi_n = \pi$ для кода -1 у виразі (3.5) автокореляційна функція (3.7) мала гострий максимум. Наприклад, для послідовності

$$\{s_n\} = \{1, 1, 1, -1, -1, 1, -1\} \quad (3.8)$$

(яка називається семиелементним кодом Баркера) приведений кодований сигнал (рисунок 3.3, а), та його автокореляційна функція (рисунок 3.3, б). Сегмент має два періода, тобто $\tau = 2T_0 = 2/f_0$, де f_0 - середня частота, а $T_0 = 1/f_0$ - період. Відносна ширина смуги сигналу складає 50%.

Для знаходження огинаючої автокореляційної функції можна застосувати наступний вираз:

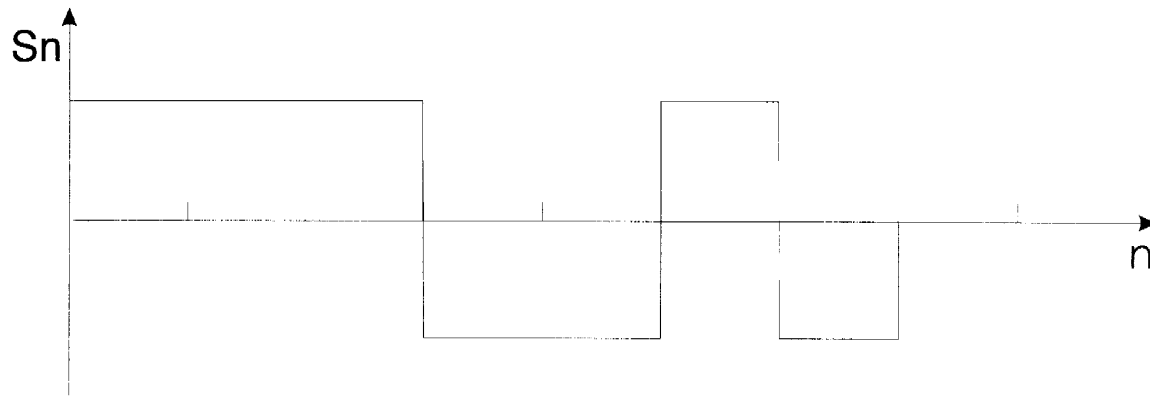
$$c(m) = \sum_{i=1}^m s_{m+1-i} s_{N+1-i}, \quad (3.9)$$

де $s_n = 1$ при $\varphi_n = 0$ і $s_n = -1$ при $\varphi_n = \pi$. Використовуючи вираз (3.9) для кода Баркера (3.8), отримаємо автокореляційні коефіцієнти

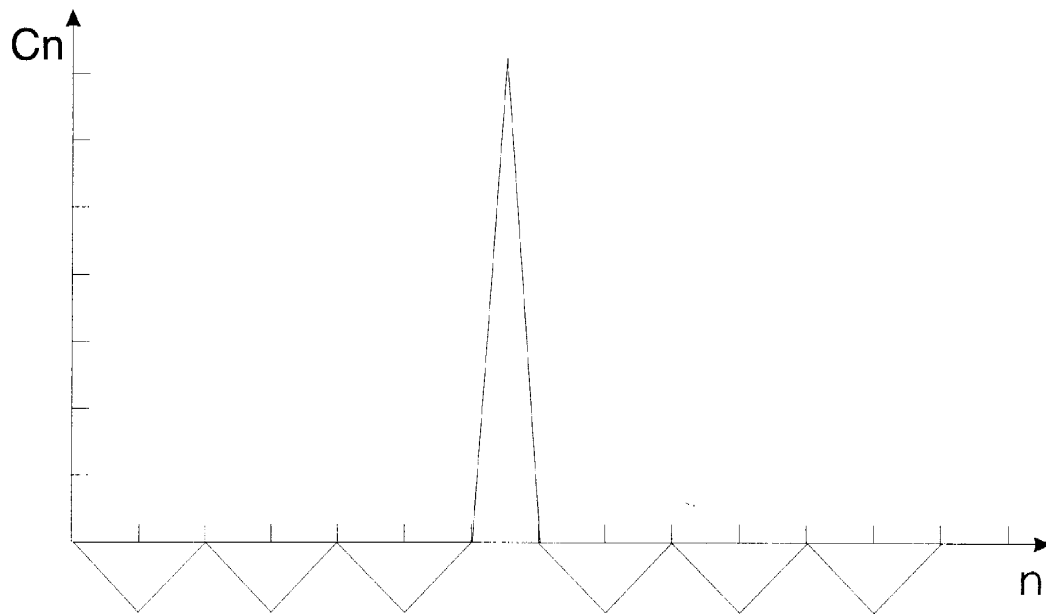
$$\{c_n\} = \{-1, 0, -1, 0, -1, 0, 7, 0, -1, 0, -1, 0, -1\}. \quad (3.10)$$

Огинаючі кодованого сигналу та автокореляційної функції зображені на рис. 3.2.

Серед багатьох систем кодування для систем зв'язку найчастіше застосовують код Баркера та код випадкової послідовності. Якщо код Баркера складається з N елементів, то при осциляціях автокореляційної функції на рівні 1 основному максимуму відповідає висота N . Коди з цими властивостями зібрані в таблиці 1, де також наведена огинаюча автокореляційної функції.



a)



б)

Рис. 3.3 - Огибаючі сигналу, кодованого зміщенням фази (а) та його автокореляційної функції (б) для коду Баркера

Максимальна довжина кода Баркера складає $N=13$. Більшу довжину можна отримати безпосередньо додаванням кодів Баркера. Код довжиною MN вміщує M окремих кодів Баркера довжиною N . В m -му ряді кожний окремий код Баркера представляє собою послідовність $\{s_n\}$ із N елементів, помножену на елемент s_m кода Баркера більш вищого рівня; елемент $s_{(m-1)M+n}$ результуючої послідовності описується виразом $s_{(m-1)M+n} = s_m s_n$. Відношення між основним максимумом та осциляціями складає величину M , а відношення сигнал/шум поліпшується в MN разів.

Код випадкової послідовності обробляється ЕОМ, причому вибирають послідовності автокореляційні функції яких мають гострий центральний максимум. Теоретичний інтервал між осциляціями автокореляційної або кроскореляційної функцій відносно основного максимуму автокореляції рівний $2\sqrt{N}$, де N - довжина кода.

Число сегментів в кодованому сигналі, згідно виразу (3.4), рівне базі сигналу, яка показує, в скільки разів відношення сигнал/шум на виході узгодженого фільтра, приймаючого кодований сигнал, ліпше, ніж на його вході. У фільтра, який збуджує кодований сигнал, база вказує на погіршення шумових властивостей на виході.

3.3 Результати експериментальних випробувань.

Для перевірки методу підвищення чутливості електронно-акустичного тракту з використанням в якості зондуючих, сигналів, модульованих кодами Баркера, були проведені експериментальні дослідження на зразках сталених бурильних труб (СБТ).

В нафтогазовій галузі керівним документом для діагностики бурового інструменту є ГСТУ 320.02829777.002-95 - "Інструкція по проведенню неруйнівного контролю нарізних труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації" [22]. Даний документ регламентує методи та методики контролю різбових кінців бурильного інструменту, а також методики виготовлення та атестації стандартних зразків для настройки ультразвукової апаратури. Для проведення експериментальних досліджень були виготовлені зразки із нанесеними на них штучними дефектами у відповідності до вимог цього нормативного документу. Методика контролю різбових ділянок труб з трикутною різбою, яка також була застосована під час експериментальних досліджень, передбачає використання п'єзоелектричного перетворювача з кутом вводу акустичних коливань 70° . Замість п'єзоелектричного перетворювача під час експериментальних досліджень використовувався розроблений зносостійкий

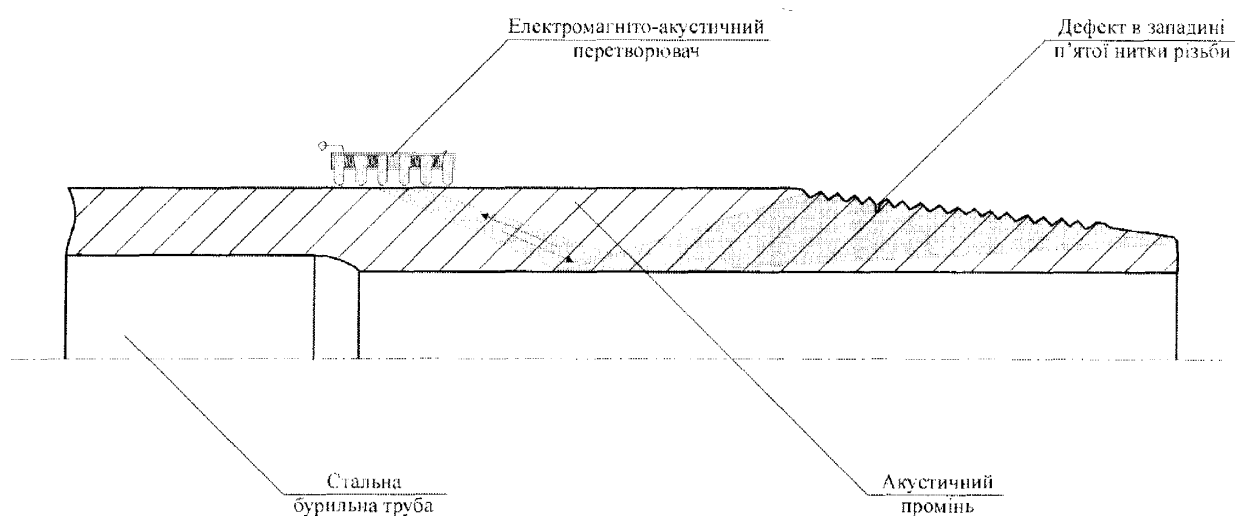


Рис. 3.4 - Схема контролю різбових кінців сталених бурильних труб за ГСТУ 320.02829777.002-95

електромагніто-акустичний перетворювач для генерування та прийому акустичних коливань під заданим кутом до поверхні контролю. Схема контролю наведена на рис. 3.4

На рис. 3.5 наведено осцилограму сигналів, що виникають при такій схемі контролю на екрані акустичного дефектоскопа [22]. В лівій частині екрану розміщується зондуючий імпульс. В правій частині, на відстані ~ 100 мкс, розташовується луно-імпульс, відбитий від торця труби. В момент, коли акустичний промінь перетворювача потрапляє на штучний дефект, що імітує поперечно-орієнтовану тріщину в западині п'ятої нитки різьби, на екрані дефектоскопа виникає ще один імпульс - луно імпульс, відбитий від дефекту.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено лабораторну акустичну установку, спрощена блок-схема якої наведена на рис. 3.6.

Основним функціональним блоком установки є IBM-PC/AT сумісний комп'ютер

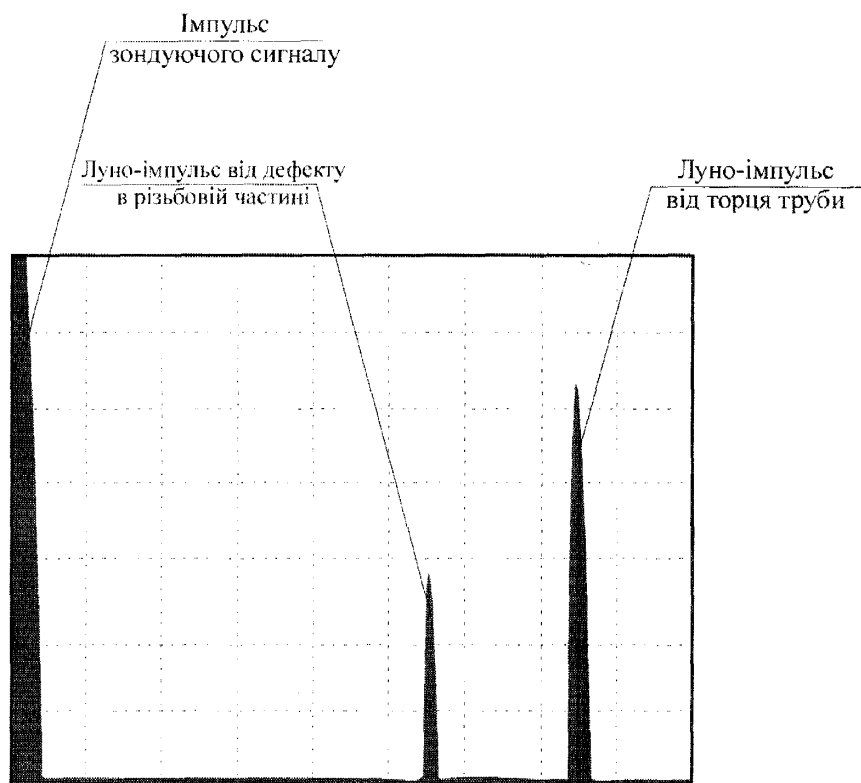


Рис. 3.5 - Осцилограма сигналів при контролі сталевих бурових труб за ГСТУ 320.02829777.002-95

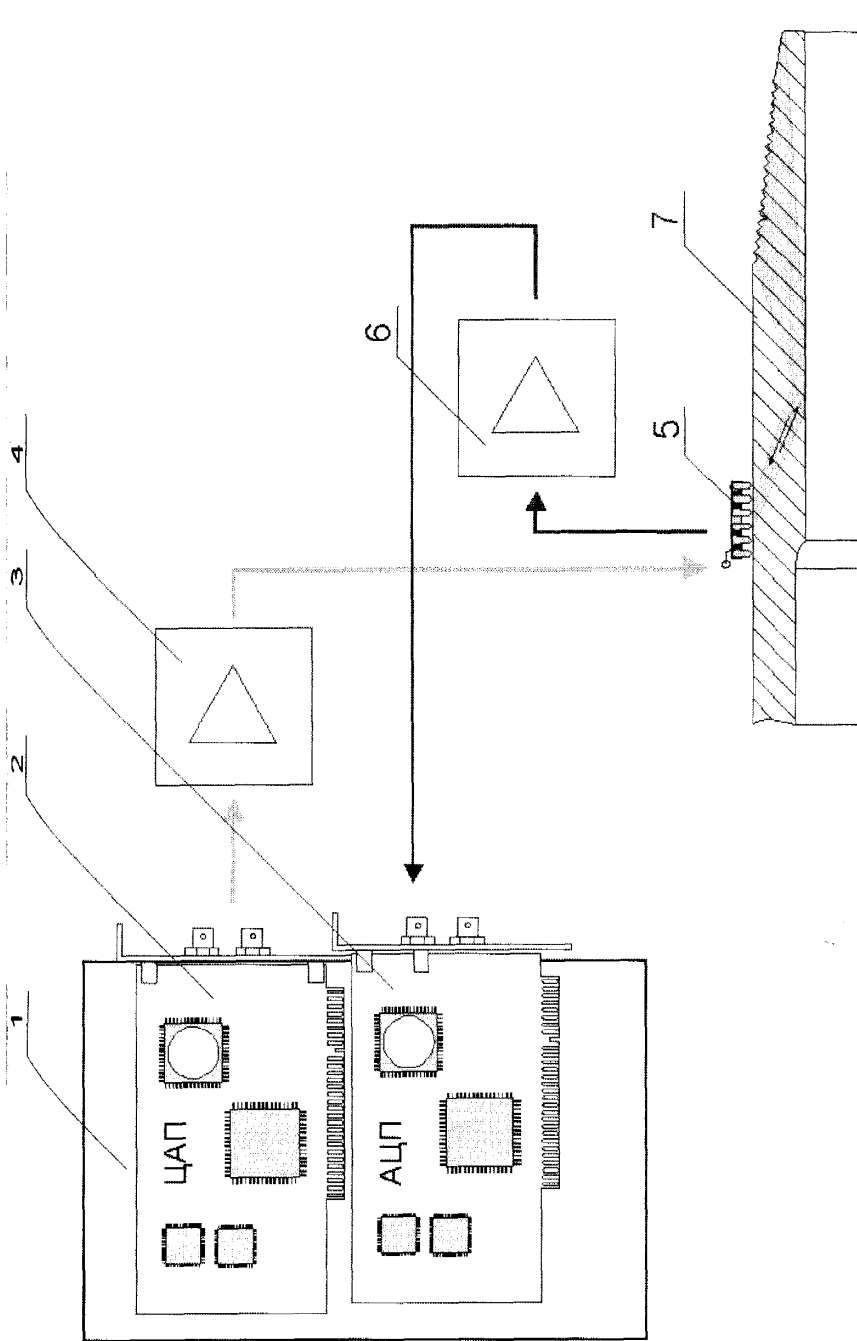


Рис. 3.6 - Блок-схема лабораторної акустичної установки:

1 - IBM-сумісний комп'ютер

2 - плата ЦАП

3 - плата АЦП

4 - підсилювач напруги

5 - ЕМАП

6 - інструментальний підсилювач

7 - зразок СБТ

із встановленими в ньому платами цифро-аналогового (ЛА-ЦАПн10М1) 2 та аналогово-цифрового (ЛА-н10М6РСІ) 3 перетворення, виробництва московської фірми "Руднев-Шиляев". Необхідні для реалізації методу фазомодульовані сигнали, кодовані кодом Баркера, що використовувались в якості зондуючих сигналів, генерувались за допомогою цифро-аналогової частини плати та програмного забезпечення плати ЛА-ЦАПн10М1. Згенерований сигнал далі подавався на підсилювач напруги 4, завданням якого було підняти амплітуду сигналу до 1000 - 1200 В. Такий високий рівень напруги дає можливість за рахунок її спаду на низькоомному навантаженні досягнути високих значень струму в котушках електромагніто-акустичного перетворювача 5 (до 40 А "пік-пік"), а отже забезпечити необхідний змінний магнітний потік в осерді перетворювача і, в свою чергу, генерування акустичної хвилі.

Прийом акустичних коливань здійснювався на той самий електромагніто-акустичний перетворювач. Підсилений інструментальним підсилювачем 6 сигнал з ЕМА-перетворювача потрапляє на вхід аналого-цифрового перетворювача, де відбувається дискретизація сигналу та запис його в пам'ять. Далі отримані набори даних оброблялись за допомогою програмного пакету MathLab 6.0 (виконувалась процедура автокореляції).

Як уже було зазначено вище, в якості зразка для контролю було використано фрагменти сталевих бурильних труб із нанесеними на них штучними дефектами.

Для встановлення залежності між співвідношенням сигнал/шум акустичного тракту та довжиною кодованого сигналу були згенеровані, одержані та оброблені усі можливі варіанти кодових послідовностей Баркера. На рис. Г.1 - Г.9 в додатку Г наведено осцилограми сигналів, що генерувались, осцилограми дискретизованих прийнятих сигналів та їх автокореляційні функції для кожної з можливих послідовностей коду Баркера.

Слід зауважити, що, як це добре видно з осцилограм прийнятих сигналів, акустичний луно-імпульс від торця труби можна виділити неозброєним оком, в той час, як луно-імпульс від дефекту є маскованим шумом й виявити його традиційними засобами неможливо. Однак, після застосування процедури автокореляції сигналу

луно-імпульси (точніше - огибаючі автокореляційної функції кодової послідовності) одразу стають помітними на фоні завад і стають такими, що піддаються легкій реєстрації. Зовсім легко підрахувати співвідношення сигнал/шум для кожної з можливих кодових послідовностей. Воно коливається в межах від 8 до 17,5 dB. Співвідношення сигнал/шум для кожної з можливих послідовностей (теоретично розраховані й практично отримані значення) наведено в таблиці 2, а їх графічне представлення - на рис. 3.7.

Таблиця 3

Залежність між довжиною кодової послідовності та співвідношенням сигнал/шум електронно-акустичного тракту акустичної системи

Число елементів	Код	Співвідношення сигнал/шум, dB	
		Теоретично обраховане	Експериментально одержане
2	++	6,0	8,0
2	+ -	6,0	8,0
3	++-	9,5	9,5
4	++-+	12,0	10,6
4	+++ -	12,0	9,5
5	+++ - +	14,0	10,8
7	+++ - - + -	17,0	13,6
11	+++ - - - - + - -	21,0	17,5
13	+++ - - - - + - - + -	22,0	16,9

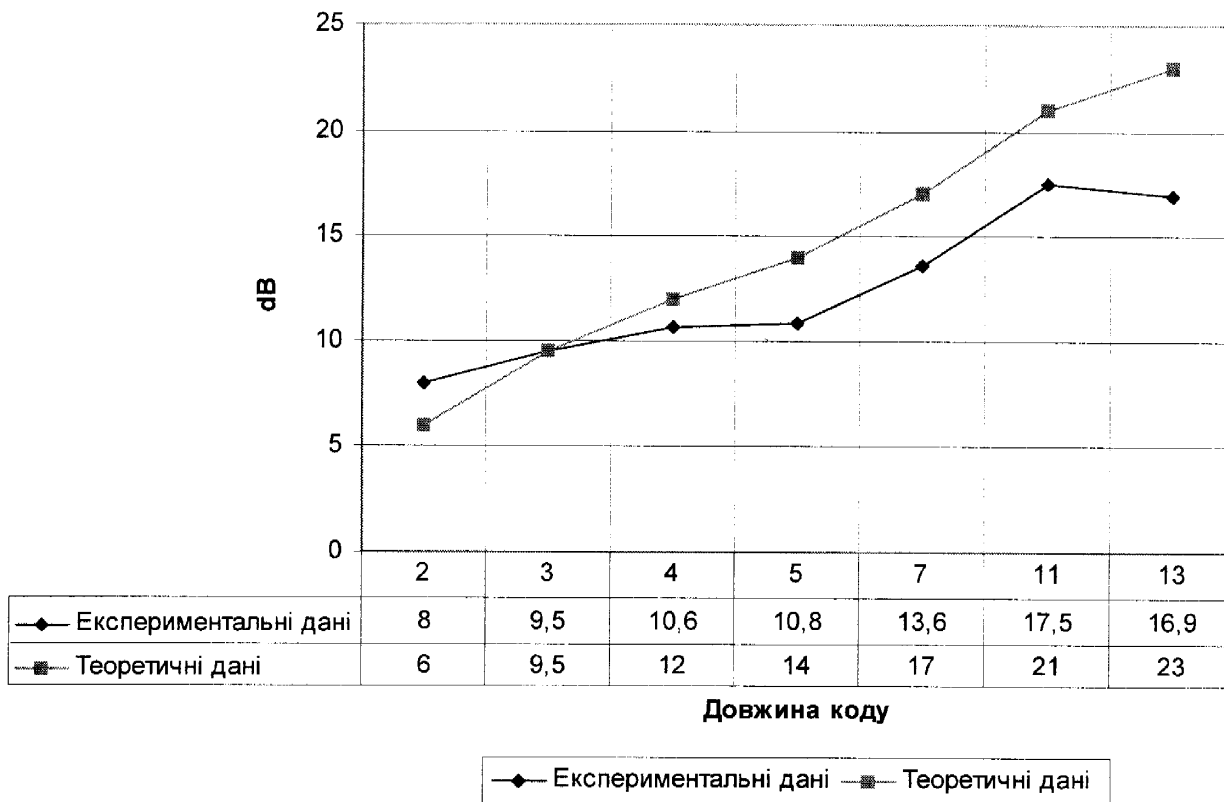


Рис. 3.7 - Графічне представлення залежності співвідношення сигнал/шум від довжини кодового сигналу для теоретичних та експериментальних даних

3.4 Порівняльна оцінка вірогідності п'єзоелектричного і ЕМА методів НК

В даній роботі для проведення НК трубних виробів було запропоновано використовувати ЕМА-метод збудження акустичних коливань, що реалізується за допомогою спеціально розроблених зносостійких ЕМА-перетворювачів та способу підвищення їх чутливості з використанням імпульсних кодових послідовностей в якості зондуєчих сигналів. Інформація про наявність або відсутність дефектів, що отримується при цьому, відрізняється по формі і по змісту від інформації, що отримується з використанням п'єзоелектричного методу збудження і прийому акустичних коливань.

Найбільш повні результати з оцінки вірогідності традиційних методів контролю якості отримані в роботах В.Н. Волченко [12]. Їм же введено саме поняття вірогідності D як різниці між одиницею й так званою „помилкою контролю” ΔD , яка визначається як сума ймовірностей відхилення правильної й прийняття неправильної гіпотези про результати контролю:

$$D = 1 - \Delta D; \quad \Delta D = \alpha + \beta. \quad (3.11)$$

де α і β – добре відомі в математичній статистиці призначувані ймовірності (рівні значимості) помилок 1-го й 2-го роду.

Таким чином, у відповідності з [12] вірогідність D в найбільш простому випадку вимірювання одного параметра (наприклад, розміру дефекта, або факт його виявлення) є ймовірність (3.12) того, що шукане значення x_n якогось параметру x , що вимірюється (контролюється), попадає в деякий інтервал $2\Delta x$, що визначається $w(x)$ - густиною розподілу похибки вимірюваного параметра й вибраними значеннями ймовірності помилок (3.13).

$$P = \int_{x_n - \Delta x}^{x_n + \Delta x} w(x) dx = 1 - (\alpha + \beta), \quad (3.12)$$

$$\alpha = \int_{x+\Delta_x}^{\infty} w(x) dx,$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{x-\Delta_x} w(x) dx \quad (3.13)$$

У червні 2003 року з допомогою фахівців НВФ „ЗОНД” було проведено натурний експеримент з випробування двох методів акустичного контролю – п’єзоелектричного і електромагніто-акустичного з метою порівняння їх вірогідностей.

В умовах бурової №133 „Великі Бубни” (Роменський р-н, Сумської обл.) Долинського УБР фахівцями-дефектоскопістами під час проведення планових робіт з діагностики бурового інструменту в процесі спуско-підймальних операцій було попередньо відбраковано 20 труб ТБПВ-127 (бурильні труби з приварними замками). Ці труби були вилучені з колони буровою бригадою та спущені на містки для подальшого дослідження. Експертний контроль показав, що насправді потенційно небезпечні дефекти містять містить лишень дванадцять труб із загального числа відбракованих (див. додаток Д). Дефектні ділянки були локалізовані, дефекти описані, і труби пронумеровані. До їх числа були додані ще шість труб, відносно яких експертний контроль встановив відсутність дефектів в призамковій зоні та в різьбовій частині.

На підготовлених таким чином зразках чотирма спеціалістами з неруйнівного контролю було проведено натурний експеримент із встановлення вірогідності контролю. Почергово кожен фахівець проводив діагностику всіх 18 труб спочатку методами з використанням п’єзоелектричних перетворювачів та стандартних приладів (дефектоскоп УД2-12, зав. № 7057 в складі установки ПЛНК-2), а потім з використанням експериментальних зразків ЕМА-перетворювачів високовольтного генератора зондуючих імпульсів, попереднього підсилювача та осцилографа С1-68. Труби при цьому переміщувались і подавались оператору-дефектоскопісту у випадковому порядку. Заключення оператора по кожному з об’єктів контролю вносивались і порівнювались із заключенням експертного контролю по цьому

самому об'єкту. Результати співпадіння або неспівпадіння заключень, даних операторами із заключенням експертного контролю наведено в таблиці 4 (для п'єзоелектричного методу) і таблиці 5 (для ЕМА-методу).

Прийнявши, що проведений експертний контроль можна (з певним наближенням) вважати еталонним контролем, за методикою, викладеною в [12], визначемо наскільки вірогідність одного методу відрізняється від вірогідності іншого. Згідно з [12] домовимось вважати вірогідністю контролю ступінь співпадіння сигналів про якість з істинними значеннями його показів. У нашому випадку мова йде про чітке виявлення штучних дефектів в різьбовій частині зразка. При порівняльній вірогідності передбачається співпадіння результатів з використанням п'єзоелектричного та ЕМА методів контролю.

За результатами контролю приймається рішення про наявність або відсутність дефекту в об'єкті. Ці рішення можуть співпадати або не співпадати з дійсним станом об'єкту (рис. 3.8) [39].

Кількісно порівняльну вірогідність D контролю слід розраховувати як ймовірність безпомилкового прийняття рішення при оцінці якості об'єкта або партії виробів D_N . Приймаючи всю суму результатів вимірювань якості за повну групу подій (100%), помилками контролю будемо вважати величину $\Delta D = 1 - D$.

Для оцінки вірогідності двох методів виходячи з числа дефектних виробів, тобто при контролі за альтернативною ознакою, доцільно використовувати відому в математиці форму таблиці, яку зручно назвати матрицею вірогідностей (табл. 6).

З табл. 6 видно, що має місце чотири варіанти поєднань рішень: два співпадаючих $n_{пр.пр.}$ та $n_{пр.нед.}$ і два – не співпадаючих $n_{пер.пр.}$ та $n_{пер.нед.}$. Похибки контролю позначимо як $n_{пер.пр.} = \alpha$ і $n_{пер.нед.} = \beta$. За змістом вони відповідають прийнятим в математичній статистиці термінам. Помилка I роду - ризик перебракування α . Помилка II роду – ризик недобракування β .

Користуючись матрицею можна розрахувати показники вірогідності за формулами (3.14 - 3.16), в яких чисельником є число співпадіннь, а знаменником – загальне число випробувань.

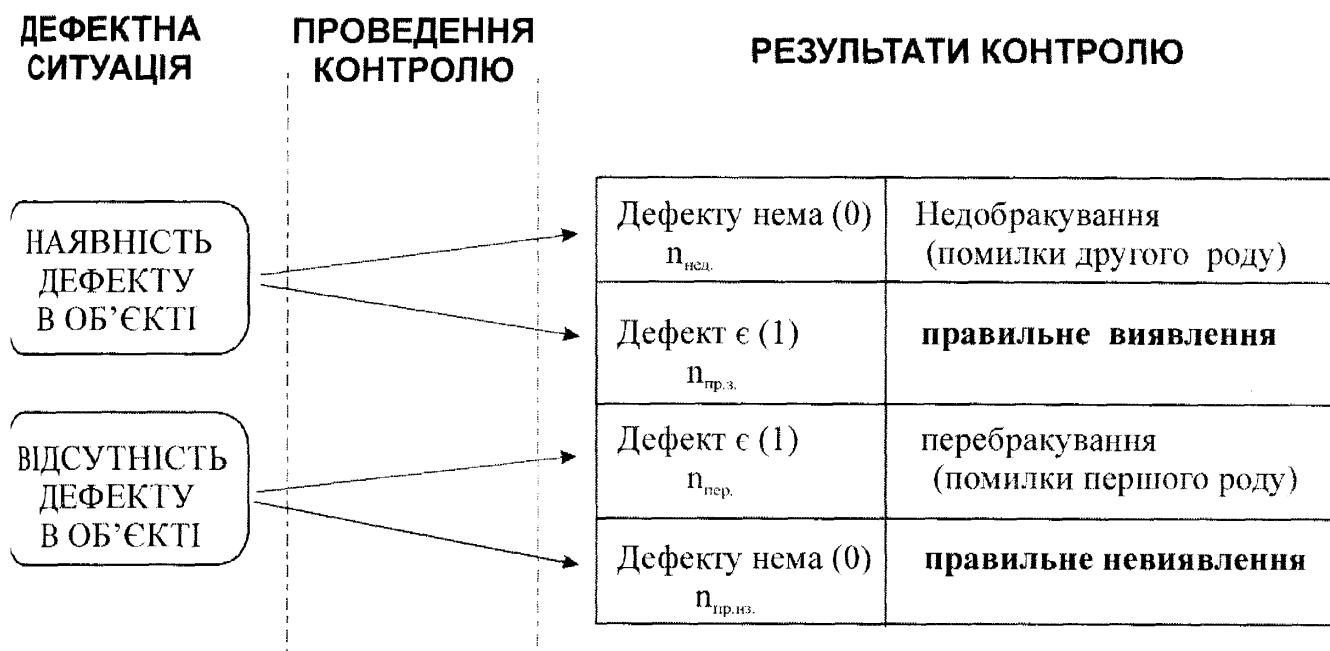


Рис. 3.8 - Варіанти рішень при НК

$$D_{\Sigma} = \frac{n_{\text{пр.нз.}} + n_{\text{пр.зб.}}}{n_{\Sigma}} \quad (3.14)$$

$$D_{\Sigma H} = \frac{n_{\text{пр.зб.}}}{n_{\Sigma H}} \quad (3.15)$$

$$\Delta D_{\Sigma}(\beta) = \frac{n_{\beta}}{n_{\Sigma}} \quad (3.16)$$

Отже, можна стверджувати, що вірогідність п'єзоелектричного методу контролю з врахуванням ризику недобракування становить 76%, а вірогідність електромагніто-акустичного методу – 87%.

Таблиця 4

Проведення контролю з використанням п'єзоелектричного методу

	Оператор 1	Оператор 2	Оператор 3	Оператор 4
Труба-зразок №1 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №2 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №3 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №4 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №5 (без дефектів)	- пер.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №6 (з дефектом в різьбовій частині)	- нед.	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.
Труба-зразок №7 (з дефектом в різьбовій частині)	- нед.	- нед.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №8 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №9 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №10 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №11 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №12 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	- пер.
Труба-зразок №13 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.
Труба-зразок №14 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	- пер.	+ пр.нз.
Труба-зразок №15 (з дефектом в різьбовій частині)	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №16 (з дефектом в різьбовій частині)	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №17 (з дефектом в зварному шві)	- нед.	- нед.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №18 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.

ПР.НЗ. – правильно незабраковані = 21

ПЕР. – перебраковані = 3

НЕД. – недобраковані = 17

ПР.ЗАБ. – правильно забраковані = 31

Таблиця 5

Проведення контролю з використанням ЕМА-методу

	Оператор 1	Оператор 2	Оператор 3	Оператор 4
Труба-зразок №1 (без дефектів)	+ пр.нз.	- пер.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №2 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №3 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №4 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №5 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №6 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.
Труба-зразок №7 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №8 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.
Труба-зразок №9 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №10 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №11 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №12 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	- пер.
Труба-зразок №13 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №14 (без дефектів)	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.	+ пр.нз.
Труба-зразок №15 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	- нед.
Труба-зразок №16 (з дефектом в різьбовій частині)	- нед.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №17 (з дефектом в зварному шві)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.
Труба-зразок №18 (з дефектом в різьбовій частині)	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.	+ пр.заб.

ПР.НЗ. – правильно незабраковані = 22

ПЕР. – перебраковані = 2

НЕД. – недобраковані = 9

ПР.ЗАБ. – правильно забраковані = 39

Таблиця 6

Матриця вірогідностей для альтернативного порівняння методів контролю

Методи контролю і оцінка його результатів для n_{Σ} зразків $n_{\Sigma} = n_{пр.нз.} + (n_{пр.з.} + n_{нед.} + n_{пер.}) =$ $= n_{пр.нз.} + n_{\Sigma H}$		Еталонний метод	
		Число придатних	Число непридатних
Пробний метод	+	$n_{пр.нз.}$ правильно незабраковані	$n_{нед.}$ недобраковані, помилка II роду, β
	-	$n_{пер.}$ перебраковані, помилка I роду, α	$n_{пр.заб.}$ правильно забраковані

Таблиця 7

Матриця вірогідностей для альтернативного порівняння п'єзоелектричного та ЕМА-методів акустичного контролю

Вихідні дані			Розрахунок вірогідності з урахуванням		
$n_{\Sigma}=72$	+	-	$\alpha+\beta$	лишень β	
П'єзоелектричний метод	+	21	17	$D_{\Sigma} = 0,72$ $\Delta D_{\Sigma} = 0,28$ $D_{\Sigma II} = 0,6$ $\Delta D_{\Sigma II} = 0,4$	$D_{\Sigma}(\beta) = 0,76$
	-	3	31		
ЕМА-метод	+	22	9	$D_{\Sigma} = 0,85$ $\Delta D_{\Sigma} = 0,15$ $D_{\Sigma II} = 0,78$ $\Delta D_{\Sigma II} = 0,22$	$D_{\Sigma}(\beta) = 0,87$
	-	2	39		

Висновки

1. Дістало подальшого розвитку використання фазомодульованих сигналів для вирішення задач неруйнівного контролю, а саме, використання в якості зондуючих - сигналів, кодованих кодом Баркера, для покращення характеристик електронно-акустичного тракту акустичних дефектоскопів з ЕМА-перетворювачами.

2. Експериментально досліджено характер залежності співвідношення сигнал/шум для систем акустичної дефектоскопії з використанням складномодульованих зондуючих сигналів від довжини коду, що цей сигнал формує. Встановлено, що при роботі на зразках труб із штучними дефектами, виготовленими за ГСТУ 320.02829777.002-95, співвідношення сигнал/шум, в залежності від довжини кодової послідовності, покращується на 8 - 17,5 dB.

3. Проведений натурний експеримент дає підстави вважати, що неруйнівний контроль в умовах бурової за допомогою запропонованих засобів дозволяє досягнути вірогідності контролю 87% на непідготовлених поверхнях труб у порівнянні з 76%, які були досягнені контролем з використанням п'єзоелектричних перетворювачів.

РОЗДІЛ 4

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ АКУСТИЧНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ

Існуючі і такі, що широко використовуються на сучасному етапі, методи ультразвукової дефектоскопії при контролі трубного господарства та обладнання підприємств нафтової та газової галузей є достатньо дослідженими, простими і, в односторонній мірі, малоінформативними. Проводячи практичну дефектоскопію існуючими засобами оператор-дефектоскопіст може з впевненістю констатувати наявність чи відсутність дефекту, а при більш глибоких дослідженнях отримати інформацію про координати його залягання, протяжність та глибину. Існують практичні широковідомі методи для отримання більш детальної інформації про дефект - його просторове положення, направленість, форму та об'єм. Не викликає особливих проблем і отримання просторової тривимірної картини дефекту. Але все це можна досягнути лише в умовах добре оснащених лабораторій і при значних затратах часу. Відповідно і фінансові затрати на проведення таких досліджень є достатньо високими. Все це робить неможливим застосування існуючих складних методів уточнюючого аналізу при проведенні практичного контролю нафтогазового обладнання та інструменту на підприємствах по видобутку нафти і газу, а особливо в польових умовах.

Тим не менше, необхідність в такому точному аналізі характеру дефектів на сьогоднішній день стає чим далі актуальнішою. Не секрет, що нафтогазовидобувні підприємства знаходяться у скрутному фінансовому положенні, власне, як і вся економіка нашої держави в цілому. Саме тому особливо гостро стоїть питання найбільш повного використання існуючих засобів та інструменту - інструмент повинен вилучатись з експлуатації лише тоді, коли спеціалісти в області дефектоскопії констатують його дійсну непридатність для подальшої експлуатації.

Далеко не всі дефекти, що виявляються в трубах нафтового сортамента можуть призвести до поломки труби. Деякі з них мають, скажімо, заводське походження

дефекти, що виникають в процесі виготовлення труби) і розташовані в такій зоні, або таким чином, що не будуть послаблювати конструкцію в значній мірі. Такі труби ще можна довгий час використовувати, хоча зараз в більшій мірі вони бракуються. І навпаки, дефект може мати зовсім незначні розміри, але може бути експлуатаційного походження і при подальшій експлуатації розвиватись надзвичайно швидко, що може призвести до аварії на бурових.

Такий стан справ сьогодні не може задовільняти нафтогазовидобувні підприємства. Необхідно проводити роботи по теоретичних і практичних дослідженнях з метою виявлення принципово нових способів і методів контролю.

Вирішення цієї проблеми лежить на шляху застосування сучасних інформаційних технологій, зокрема, теорії ідентифікації динамічних систем.

На підставі аналізу методик інструментальних досліджень можна однозначно тверджувати, що за своєю суттю процедура УЗ дефектоскопії наближається до процедури ідентифікації і повністю співпадає з нею у випадку застосування коротких зондуючих імпульсів, що описуються δ - функцією. При цьому об'єкт неруйнівного контролю ідентифікується як лінійна динамічна система у вигляді імпульсної перехідної функції. По суті має місце експериментальне визначення структури і (або) параметрів зихідного диференціального рівняння, яке описує розповсюдження в об'єкті акустичних хвиль, спотворених наявністю дефектів.

Для підтвердження цієї тези звернимо увагу на те, що радіоімпульс, який є відгуком на імпульсний зондуючий сигнал в процесі УЗ дефектоскопії, має коливний затухаючий характер.

Це дає підставу досліджуваний об'єкт неруйнівного контролю як динамічну систему апроксимувати принаймні лінійним диференціальним рівнянням другого порядку.

Математичною моделлю такого процесу є хвильове рівняння. При розв'язуванні такого рівняння за допомогою класичного методу розділення змінних (метод Фур'є) воно представляється у вигляді системи двох звичайних лінійних диференціальних рівнянь другого порядку, одне з яких є функцією часу, а друге - простору.

Оскільки під час процедури УЗ дефектоскопії радіоімпульси отримуються для

фіксованого за просторовою координатою положення випромінювача зондуючих імпульсів, то можна приймати до уваги тільки рівняння за часовою координатою. Це рівняння гармонічного осцилятора, яке описує вільні незатухаючі коливання. Проте, на практиці, при розповсюдженні акустичної хвилі спостерігається послаблення її амплітуди і розсіювання звукової енергії.

Тому в якості гомоморфної моделі ОНК при процедурі УЗ дефектоскопії слід приймати лінійне диференціальне рівняння, яке в лівій частині ще має член з першою похідною, а його коефіцієнти підлягають ідентифікації.

Отже, процес УЗ контролю з метою визначення характеру дефектів можна розглядати як процедуру параметричної ідентифікації.

Порівняно з відомими методиками УЗ спектрального визначення характеру дефектів згаданий вище метод має ту перевагу, що у відповідність кожному типу дефектів можна поставити строго обгрунтовану числову характеристику у вигляді коефіцієнтів диференціального рівняння, які визначаються за оптимальними в розумінні мінімуму похибки математичними процедурами обробки вимірювальної інформації.

Проте методи активної ідентифікації критичні до застосування тестових (зондуючих) сигналів. Останні повинні мати значну амплітуду для надійного виділення їх на фоні інтенсивних завад, але, в той же час без його руйнування. Діапазон зміни амплітуди сигналу в той же час повинен знаходитись в межах, де ОНК можна розглядати ще як лінійний або лінеаризований, так як існуючі методики в основному застосовують лінійні алгоритми обробки інформації.

Для підвищення інформативності про ОНК його треба досліджувати на протязі всього частотного спектру. Тому необхідно, щоб енергія зондуючого сигналу рівномірно розподілялась в часі і по всьому частотному спектру ОНК.

Наявність неконтрольованих завад не дає можливості досить точно визначати характеристики хвильового каналу у вигляді імпульсної перехідної функції (ІПФ) звичайними нестатистичними методами. Одним із способів, який дозволяє уникнути певних математичних труднощів при визначенні ІПФ, полягає в тому, що на вхід досліджуваного ОНК треба подавати зондуючий сигнал типу "білого шуму". В якості

одного із найкращих наближень таких сигналів, які задовільняють наведеним вище вимогам, доцільно використовувати дворівневі псевдовипадкові сигнали (ПВС), що мають властивості, близькі до властивостей сигналів "білого шуму", але являються детермінованими функціями часу. Перевагою зондуючих ПВС, зокрема дворівневих, є не тільки їх простота і зручність отримання, але й наявність добре розробленого математичного апарату, що дозволяє здійснювати аналіз і синтез таких сигналів.

Формування зондуючих сигналів може виконуватись в передавальній частині вимірювального тракту УЗ дефектоскопічної системи за допомогою генератора двійкових ПВС, коректуючої ланки, та саме акустичного перетворювача.

Для забезпечення працездатності приведеної вище системи необхідно попередньо задати множину коефіцієнтів диференціального рівняння, шляхом проведення попередніх дослідних робіт тобто, утворити "словник дефектів", де кожному дефекту відповідає своє значення коефіцієнтів диференційного рівняння. Результати подібної роботи наведені в праці [13]. Суть цієї роботи полягає у визначенні за допомогою наведеної методики УЗ параметричної ідентифікації вектора коефіцієнтів для відомих типів дефектів. Дефекти можуть бути штучними з наперед заданими параметрами або натуральними, істинні параметри яких визначаються за мікрошліфами, рентгенограмами, результатами металографії, тощо.

В апаратній реалізації пристрою для визначення характерів дефектів за наведеною вище методикою можна за допомогою методів комп'ютерної графіки передбачити візуалізацію отриманих результатів, тобто типів дефектів.

4.1. Дослідження математичних моделей перетворення тестових сигналів в акустичних інформаційно-вимірювальних системах.

4.1.1. Математичне моделювання хвильового каналу.

Розповсюдження акустичних хвиль в твердому тілі описується хвильовим рівнянням

$$\rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2} = (\Lambda + \mu) \cdot \nabla(\nabla \vec{U}) + \mu \cdot \nabla^2 \vec{U} \quad (4.1)$$

де ρ - густина;

\vec{U} - вектор зміщення частинок від положення рівноваги;

t - час;

Λ і μ - константи Ламе;

∇^2 - оператор Лапласа.

Вектор \vec{U} в твердому тілі розпадається на два вектори хвиль (4.1):

$$\frac{\partial^2 \vec{U}_l}{\partial t^2} - c_l^2 \cdot \nabla^2 \vec{U}_l = 0, \quad c_l = \sqrt{(\Lambda + 2\mu)/\rho} \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial^2 \vec{U}_t}{\partial t^2} - c_t^2 \cdot \nabla^2 \vec{U}_t = 0, \quad c_t = \sqrt{\mu/\rho} \quad (4.3)$$

де \vec{U}_l - вектор поздовжньої хвилі;

\vec{U}_t - вектор поперечної хвилі;

c_l , c_t - швидкість відповідно поздовжньої та поперечної хвиль.

В одномірному випадку, тобто, коли \vec{U} залежить тільки від однієї координати x ,

$$\frac{\partial^2 \overline{U}_l}{\partial t^2} = c_l^2 \frac{\partial^2 \overline{U}_l}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^2 \overline{U}_t}{\partial t^2} = c_t^2 \frac{\partial^2 \overline{U}_t}{\partial x^2} \quad (4.4)$$

Отже, рівняння (4.4) суть лінійні рівняння в частинних похідних другого порядку гіперболічного типу.

Відомо, що при розв'язуванні рівнянь (4.4) методом Фур'є [66] використовується для кожного з них еквівалентна система двох лінійних диференціальних рівнянь другого порядку, одне з яких залежить тільки від просторової координати x , а друге від часу t , тобто

$$\left. \begin{aligned} X'' + \lambda \cdot X &= 0, \\ T'' + c^2 \cdot \lambda \cdot T &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

де $X = f_1(x)$ і $T = f_2(t)$,

λ - параметр, що є власним значенням для даної крайової задачі,

c - швидкість акустичної хвилі.

Можна також застосувати метод Даламбера [66]. Тоді в загальному випадку рішення диференціального рівняння, наприклад, для поздовжньої хвилі, записаного для потенціалу Φ швидкості розповсюдження хвилі в додатньому напрямку координати x , має вигляд

$$\Phi = \Phi_1(x - c \cdot t),$$

де Φ_1 - довільна функція, що має двічі диференціюватися.

Задаючи конкретні крайові та початкові умови, специфічні для практичних задач акустичних вимірювань та дефектоскопії, тобто гармонічний вид зміни функції Φ на вході в хвильовий вимірювальний канал, та зробивши перехід від функції потенціалу

Щодо акустичного тиску p , можна отримати формулу розподілу акустичного тиску по просторовій координаті x після закінчення перехідного процесу в часі, інакше кажучи, для сталих коливань:

$$p = p_0 \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{(D/2)^2 + x^2} - x\right) \quad (4.6)$$

Або для великих віддалей

$$p = p_0 \frac{S}{\lambda \cdot x}, \quad (4.7)$$

де x - віддаль,

S - площа випромінювача,

λ - довжина хвилі,

p_0 - постійна амплітуда тиску на поверхні випромінювача,

D - розмір джерела звуку.

Розв'язки (4.6), (4.7) хвильового рівняння (4.2) нашли широке застосування для одержання аналітичних залежностей впливу різних флуктуацій фізичного поля об'єкту дослідження на параметри акустичної хвилі, тобто акустичний тиск. Зокрема, в акустичній дефектоскопії отримані аналітичні залежності (4.2), (4.4) впливу різних видів дефектів на величину акустичного тиску відбитої хвилі.

Зауважимо, що розв'язок (4.6) отриманий на основі спрощеної теорії акустичного поля для випадку стаціонарних хвильових рухів, що відповідають збуренням з гармонічною залежністю в часі. При цьому використовувався інтегральний метод рішення хвильової задачі за допомогою функцій Грина (Інтеграл Релея) в циліндричних або сферичних координатах.

На практиці частіше зустрічаються суттєво неперіодичні, настаціонарні хвильові явища. Для їх опису застосовується променевий метод, що ґрунтується на теорії геометричної оптики, тобто для розв'язку хвильового рівняння використовуються

Променеві ряди, що дає змогу моделювати імпульсні звукові поля (80).

В цьому випадку рішення хвильового рівняння для потенціалу швидкості φ

$$\nabla^2 \varphi = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

представляється наступним чином:

$$\varphi(\bar{X}, t) = \sum_{R=0}^{\infty} \varphi_R(\bar{X}) \frac{[t - \tau(\bar{X})]^{R+1}}{(R+1)!}, \quad (4.8)$$

де функція $\tau(\bar{X})$ описує розповсюдження фронту хвилі за допомогою рівняння

$$t - \tau(\bar{X}) = 0;$$

$R = 0, 1, 2, \dots$, \bar{x} - радіус-вектор.

Рішення хвильової задачі можна також записати у вигляді:

$$I(\bar{X}, \omega) \cdot e^{-j\omega t} = f_0(\omega) \cdot e^{-j\omega t} \left(\sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_m}{(iR)^m} \cdot e^{iR\psi(\bar{X})} \right) \quad (4.9)$$

де відтворена залежність хвильового процесу від часу (62).

Всяке гіперболічне рівняння в частинних похідних другого порядку можна перетворити в систему рівнянь в частинних похідних першого порядку (4.7).

Нехай хвильове рівняння має вигляд (4.4)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$$

де c - швидкість звуку.

Ввівши заміну змінних

$$y_1 = \partial U / \partial t, \quad y_2 = c \cdot (\partial U / \partial x),$$

Прийдемо до системи рівнянь в частинних похідних першого порядку

$$\begin{aligned} \partial y_1 / \partial t + c \cdot (\partial y_1 / \partial x) &= 0 \\ \partial y_2 / \partial t - c \cdot (\partial y_2 / \partial x) &= 0 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Використовуючи перетворення Лапласа по просторовій змінній

$$\overline{y_1}(s, t) = \int_0^{\infty} e^{-s \cdot x} \cdot y_1(x, t) dx,$$

Підержимо звичайне диференціальне рівняння

$$d \overline{y_1}(s, t) / dt - s \cdot c \cdot \overline{y_1}(s, t) = 0 \quad (4.11)$$

аналогічно

$$d \overline{y_2}(s, t) / dt - s \cdot c \cdot \overline{y_2}(s, t) = 0 \quad (4.12)$$

Акустичними вимірюваннями та аналітичними дослідженнями встановлена залежність акустичного тиску або інших параметрів хвильового процесу від величини флюктуацій фізичного поля в просторі та часі. В конкретному випадку такими флюктуаціями можуть бути дефекти тощо. Наприклад, (при відбитті ультразвукової хвилі від штучного дефекту типу сфери діаметром d

$$p' = p_0 \frac{\pi \cdot d \cdot R_{сф} \cdot dH_i}{\lambda_i \cdot r^2} \quad (4.13)$$

- ▣ p' - амплітуда акустичного тиску, що приймається перетворювачем;
- p_0 - амплітуда акустичного тиску, що випромінюється перетворювачем;
- $R_{сф}$ - радіус сфери поверхні сферичного-вигнутого перетворювача;
- dH_i - перепад товщини I-того кільця перетворювача;
- λ_i - довжина хвилі, що випромінюється I-тим кільцем;
- r - віддаль до дефекту.

Тобто, акустичний тиск p' є функцією просторової координати. Вид цієї функції змінюється в залежності від типу дефекту. Якщо для дефекту у вигляді сфери тиск обернено пропорційний квадрату віддалі r^2 , то для дефекту типу площини або двогранного кута - обернено пропорційний просто віддалі (4.4). Зауважимо, що залежність тиску від часу в даному випадку не враховувалась, проте для суттєво нестационарних хвильових процесів ця залежність спостерігається (див. (4.8), (4.9)).

З другої сторони функції (4.13), а також (4.8), (4.9) суть рішеннями відповідних хвильових рівнянь (4.4). При однакових граничних умовах, що завжди виконуються в експериментальних дослідженнях, функції (4.8), (4.9), і (4.13) залежать лишень від виду флуктуацій фізичного поля. Отже вихідні диференціальні хвильові рівняння, розв'язками яких є ці функції, змінюють свою форму або принаймі параметри в залежності від флуктуацій фізичного поля.

В літературі нам не зустрічались відомості про те, як змінюється вид хвильового рівняння під впливом конкретного фізичного поля, зокрема дефектів. Це пояснюється тим, що на практиці інтерес представляють характеристики саме флуктуацій фізичного поля, а не їх математичних моделей у вигляді диференціальних рівнянь. Проте такий зв'язок очевидний і в деяких випадках його доцільно приймати до уваги.

Так як хвильовим рівнянням (4.4) у відповідність становиться еквівалентна система (4.5) або (4.11), (4.12) звичайних лінійних диференціальних рівнянь, то можна говорити про те, що параметри цих рівнянь також залежать від виду флуктуацій

фізичного поля і зокрема дефектів.

Домовимося при вирішенні задач акустичних вимірювань і акустичної дефектоскопії за гомоморфну модель хвильового процесу приймати наступну систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} X'' + \lambda \cdot d_1 \cdot X &= 0 \\ T'' + c^2 \cdot \lambda \cdot d_2 \cdot T &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

де коефіцієнти d_1 і d_2 характеризують флуктуації фізичного поля.

Отже математичною моделлю взаємодії хвильового процесу акустичних пружних коливань з фізичним полем хвильового каналу можна вважати систему диференціальних рівнянь (4.14).

Очевидно, що ця модель не є абсолютно адекватною, але, як буде показано нижче, вона зручна для інтерпретації результатів ультразвукових вимірювань.

4.1.2 Аналіз методів обробки вимірювальних сигналів в схемах акустичного неруйнівного контролю

На практиці, в процесі акустичних вимірювань і, зокрема при акустичній (ультразвуковій) дефектоскопії, визначають параметри фізичного поля, що взаємодіє акустичною хвилею. Наприклад, визначають форму, розмір, орієнтацію та місце знаходження дефектів тощо.

Тобто, маючи фактичне вимірне значення амплітуди акустичного тиску відбитого сигналу (див. (4.13)) та враховуючи інші його характеристики (тривалість, форми тощо), намагаються визначити тип, розмір та місце знаходження дефекту. Іншими словами, на підставі вимірювальної інформації оцінюють параметри фізичного поля.

Якщо прийняти до уваги математичну модель (4.14), в якій коефіцієнти характеризують флуктуації фізичного поля, то можна говорити про процедуру ідентифікації хвильового процесу.

Інтерпретація акустичних вимірювань або акустичного контролю як процедури ідентифікації змінного в часі та просторі хвильового процесу доцільна для теоретичного обґрунтування самого способу кількісної оцінки параметрів фізичного поля. З іншої сторони, такий підхід до проблеми, наприклад, акустичної дефектоскопії дає можливість застосувати широкий арсенал сучасних методів ідентифікації.

У випадку акустичної (ультразвукової) дефектоскопії процедуру ідентифікації треба розуміти наступним чином.

1. Спочатку інструментальними методами отримують конкретну інформацію, наприклад, значення відношення амплітуд акустичних тисків прийнятого та випроміненого сигналів.
2. За спеціальною математично строго обґрунтованою методикою переходять від вимірних значень до коефіцієнтів математичної моделі (4.14).
3. Коефіцієнтам моделі згідно з іншою методикою ставлять у відповідність традиційні параметри дефектів, наприклад, форму та геометричні розміри.

У практиці ультразвукової дефектоскопії пункт 2, як правило, в повному обсязі не виконується: одразу переходять до пункту 3. Проте останні дослідження [39] показали, що з метою підвищення інформаційних можливостей акустичних методів неруйнівного контролю у відповідність дефектам можна ставити коефіцієнти лінійного диференціального рівняння.

Аналіз існуючих способів ультразвукового контролю показує, що в них завжди використовують ідентифікації динамічних процесів, а саме: застосовують зондуючі сигнали, а для обробки результатів вимірювань використовують частотні (амплітудні, фазові) або часові (імпульсні) характеристики.

Отже де-факто в практиці акустичного неруйнівного контролю завжди використовують прийоми ідентифікації, проте їх застосування не завжди обгрунтоване з точки зору теорії методів ідентифікації.

Розглянемо основні методи акустичного неруйнівного контролю. Останній полягає у вирішенні наступних двох задач: виявленні та класифікації дефектів, при цьому задача виявлення простіша та вирішується більш-менш успішно.

Щодо другої задачі, то сьогодні в практиці акустичного контролю найбільш розповсюджені моночастотні методи оцінки форми дефектів за непрямими ознаками [9], а також визначення розмірів дефектів за амплітудою відбитих сигналів [30] і по умовній тривалості. Проте ці методи дуже наближені і можуть спричиняти значні помилки при визначенні характеристик дефектів.

Одним із основних перспективних методів вирішення даної проблеми є акустичний спектральний метод, суть якого полягає в тому, що дефекти озвучують ультразвуковими коливаннями в широкій смузі частот. Джерелом інформації про дефект в цьому випадку є спектр відбитих від дефекту сигналів, який залежить від форми дефекта, відношення його розмірів та довжини хвилі ультразвука.

Традиційна методика інтерпретації результатів такого методу основана на аналізі амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) спектру згинальних коливань, що викликаються в досліджуваній структурі шляхом періодичних ударних впливів [13]. Основною перевагою такого методу є простота його апаратурної реалізації, яка допускає використання аналогових спектроаналізаторів. Проте йому властиві

недоліки, що знижують інформаційні можливості: недостатня чутливість, складність візуальної інтерпретації зміни вимірюваної та еталонної АЧХ, можлива неоднозначність тлумачення результатів оцінки дефектів.

В роботі [1] досліджені шляхи підвищення інформаційних можливостей акустичного методу дефектоскопії шаруватих структур, який ґрунтується на застосуванні більш точних фізико-математичних моделей сигналів, що реєструються, та більш досконалих методів їх обробки. Цього добиваються за рахунок аналізу імпульсних перехідних характеристик безпосередньо в часовій області, використанням загальної режекторної фільтрації вільних складових імпульсних перехідних характеристик в комплексній частотній площині, а також використанням інтегральних критеріїв прийняття рішень про ступінь дефектів.

Очевидно, що для одержання вичерпної інформації про шарувату структуру, її необхідно досліджувати по всій смузі допустимих частот, для чого треба застосовувати просторовий сигнал у вигляді білого шуму. Оскільки частотні діапазони шумів (об'єкта і апаратури та корисних сигналів) перекриваються, то при обробці результатів вимірювань доцільно застосовувати методи цифрової фільтрації.

Принципово нова система “Авгур 2.1” [2] обробки даних акустичного контролю дозволяє визначити розміри та орієнтацію дефектів не по максимальній амплітуді відбитого сигналу, як у звичайних дефектоскопах, а по його високоякісному зображенню. Суть цієї системи полягає в когерентній обробці даних, при якій враховується залежність величини відбитого сигналу як від просторової координати, так і від його часової затримки, а також враховується сама форма імпульсу. Тут використовується аналогово-цифрове перетворення сигналів, що дозволяє обробляти дані в цифровій формі. В якості зондуючих сигналів передбачені складні фазоманіпульзовані сигнали, які формуються за допомогою М-последовностей. Для підвищення якості зображень застосовуються різні способи фільтрації.

Проте складні фазоманіпульзовані сигнали за моделями М-последовностей різних довжин тут застосовані лише з метою збільшення абсолютної чутливості дефектоскопу. З метою підвищення точності визначення розмірів дефектів доцільно застосовувати Калмановську цифрову фільтрацію.

Аналіз вищенаведених методів акустичних вимірювань та акустичного контролю дає підстави зробити висновок, що з точки зору підвищення інформативності, точності та швидкодії власне процедури вимірювання або контролю ці методи повинні удосконалюватись. Наразі їм характерні наступні недоліки:

- *традиційні тестові сигнали не охоплюють всю смугу допустимих частот в досліджуваних об'єктах і неспроможні в повній мірі виявляти нелінійні впливи фізичного поля на хвильовий процес;*

- *спектральний частотний метод займає багато часу і не вичерпує весь частотний діапазон;*

- *слабка завадозахищеність.*

4.2 Обґрунтування доцільності застосування псевдовипадкових зондуючих сигналів.

4.2.1 Аналіз структури математичної моделі об'єкту дослідження, що підлягає ідентифікації.

В натуральних твердих матеріалах через їх неоднорідність та внаслідок перетворення звукової енергії в теплову спостерігається послаблення або затухання ультразвукових хвиль. Звуковий тиск в плоскій хвилі зменшується по експоненті в залежності від просторової координати. Часова структура сигналу на виході хвильового каналу також відображає неоднорідності нестационарного фізичного поля в досліджуваному матеріалі. Тому в ідеальному випадку для виявлення і класифікації дефектів або впливів фізичного поля необхідно ідентифікувати досліджуваний об'єкт одночасно по двох параметрах: просторовій координаті (або по всіх трьох) і часу. Приблизно такий підхід до виявлення дефектів реалізований в комп'ютерній системі з когерентною обробкою даних "Авгур 2.1" [2].

Традиційно переважна більшість існуючих дефектоскопічних систем і способів акустичної діагностики використовують часовий або частотний метод дослідження: імпульсні перехідні характеристики, амплітудно-частотні характеристики. Тобто ідентифікація здійснюється по часовій координаті, що відповідає другому рівнянню гомоморфної моделі 4.14. З метою підвищення інформативності про стан фізичного поля, зокрема дефектів, в даній роботі обмежимося ідентифікацією досліджуваних об'єктів на підставі структури, що описується вищезгаданим часовим рівнянням.

З достатньою для інженерної практики точністю рівняння $T'' + c^2 \cdot \lambda \cdot d_2 \cdot T = 0$ системи рівнянь (4.14) можна апроксимувати лінійним диференціальним рівнянням першого порядку. Таке допущення прийняте в дефектоскопії для найпростішого моделювання фізичного поля об'єкту дослідження [39]. Також відомо [39], що в ультразвукових інформаційно-вимірювальних системах по причині неоднорідності та нестационарності саме фізичного поля вимірювальні параметри хвильового процесу є випадковими функціями часу.

Тому спочатку будемо об'єкт дослідження традиційно розглядати як стаціонарний лінійний об'єкт з випадковою завадою.

Скористуємося іншою формою математичної моделі, яка придатна для опису динамічних властивостей як лінійних, так і нелінійних об'єктів дослідження. Ця форма полягає в представленні вихідного сигналу об'єкту ідентифікації у вигляді функціонального ряду Вольтера

$$y(t) = w_0 + \int_0^{\infty} w_1(\tau) \cdot x(t-\tau) + \\ + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} w_2(\tau_1 \tau_2) \cdot x(t-\tau_1) \cdot x(t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \dots \quad (4.15)$$

де w_0 , $w_1(\tau)$, $w_2(\tau_1 \tau_2)$ - ядра Вольтера нульового, першого, другого і т. д. порядку.

Спочатку скористуємось ядром першого порядку $w(\tau)$, що є лінійним ядром або реакцією лінійної системи на імпульсний вплив. В цьому випадку структурна схема досліджуваного об'єкту може бути приведена до вигляду рис. 4.1

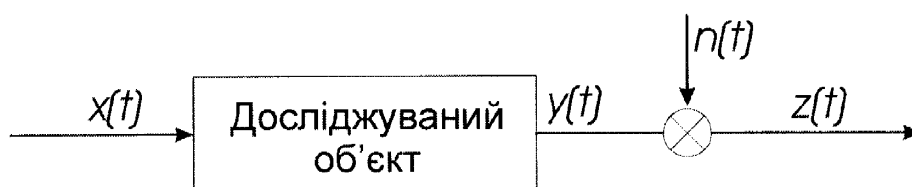


Рис. 4.1. Структурна схема досліджуваного об'єкту

На рис. 4.1 $x(t)$ - вхідний зондуєчий сигнал; $y(t)$ - вихідний сигнал; $n(t)$ - випадкова завада, що приведена до виходу об'єкту і яка враховує впливи всіх неконтрольованих випадкових впливів

$$z(t) = \int_0^{\infty} w(\tau) \cdot x(t - \tau) d\tau + n(t); \quad (4.16)$$

$w(\tau)$ - ядро Вольтера першого порядку або імпульсна перехідна функція, або вагова функція досліджуваного хвильового каналу.

Зразу зробимо суттєве зауваження, що математичний опис досліджуваного об'єкту (хвильового каналу) за допомогою імпульсної перехідної функції повністю еквівалентний опису за допомогою лінійного диференціального рівняння першого порядку.

Наявність в правій частині рівняння 16 доданка не дає можливості досить точно визначити характеристику хвильового каналу звичайними не статистичними методами. Застосування статистичних методів дозволяє уникнути цієї проблеми.

Якщо й представляють собою стаціонарні випадкові процеси, які некорельовані між собою, то має місце рівняння Вінера-Хопфа

$$R_{xz}(\tau) = \int_0^{\infty} w(t) \cdot R_{xx}(\tau - t) dt \quad (4.17)$$

де $R_{xx}(\tau)$ і $R_{xz}(\tau)$ - відповідно авто- і взаємкореляційна функції.

Тоді задача визначення імпульсної перехідної функції $w(t)$ полягає в обчисленні оцінок величин та по реалізаціям $z(t)$, які отримані в процесі озвучення досліджуваного об'єкту, і розв'язку інтегрального рівняння (17) відносно $w(t)$. Задача розв'язку вищезгаданого рівняння в загальному випадку, тобто при довільному вигляді $R_{xx}(\tau)$ і $R_{xz}(\tau)$, відноситься до класу некоректно поставлених задач.

Один із способів, який дозволяє уникнути вказаних труднощів, полягає в тому, що на вхід досліджуваного об'єкта подається зондуючий сигнал типу "білого шуму".

В такому випадку автокореляційна функція

$$R_{xx}(\tau) = k \cdot \delta(\tau), \quad (4.18)$$

де $\delta(\tau)$ - імпульсна функція, а рівняння 17 приймає вид

$$R_{xz}(\tau) = k \cdot w(\tau), \quad (4.19)$$

задача перестає бути некоректною.

Як відомо, на зонduючий сигнал накладаються обмеження по амплітуді. Треба щоб діапазон її зміни знаходився в межах, де об'єкт можна розглядати ще як лінійний. З другої сторони, зонduючі імпульси повинні мати значну амплітуду для надійного виділення їх на фоні інтенсивних завад, що мають місце в реальних об'єктах, де застосовується акустична дефектоскопія [117], [66].

Щоб задовільнити цим суперечливим вимогам, треба щоб енергія зонduючого сигналу рівномірно розподілялась в часі і по всьому частотному спектру.

Сигнали, що відповідають таким вимогам і мають властивості близькі до властивостей "білого шуму", але представляють собою детерміновані функції часу, називаються псевдовипадковими сигналами (ПВС).

Зауважимо, що для грубої оцінки імпульсної характеристики можна також використовувати синусоїдальні сигнали, наприклад [13], але в цьому випадку необхідно багаторазово міняти частоту входного впливу (зонduючого сигналу), щоб охопити весь частотний спектр досліджуваного об'єкту. По причині втрати часу на затухання перехідних процесів при зміні частот зонduючих сигналів методи, що ґрунтуються на гармонічних входних впливах, по затратах часу менш ефективні, ніж методи, які використовують ПВС, де потрібно лишень один період затухання. При цьому також треба пам'ятати, що гармонійні зонduючі сигнали або сигнали близькі по формі до них, не дають змоги отримати точні оцінки імпульсної характеристики в умовах інтенсивних завад.

Отже, з врахуванням високого рівня шумів в реальних умовах експлуатації досліджуваних об'єктів найпростіші дворівневі ПВС можна розглядати як одне із кращих наближень до сигналів "білого шуму", які доцільно застосувати в якості зонduючих сигналів в акустичній дефектоскопії. Перевагою зонduючих дворівневих ПВС є не лишень їх простота й зручність отримання, але також наявність добре

розробленого адекватного математичного апарату, що дозволяє проводити аналіз та синтез ПВС.

Враховуючи анізотропність та неоднорідність характеристик фізичних полів в реальних об'єктах, що підлягають акустичним методам дослідження, постає задача побудови математичної моделі, яка би враховувала і нелінійні властивості таких об'єктів. Побто в таких випадках, коли апріорі відомо, що для підвищення адекватності математичної моделі досліджуваного об'єкту необхідно враховувати нелінійності, можна користуватися функціональним рядом Вольтера 15 з кількістю членів, що не перевищує трьох.

$$w(\tau) = w_0 + \int_0^{\infty} w_1(\tau) \cdot x(t - \tau) d\tau + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} w_2(\tau_1, \tau_2) \cdot x(t - \tau_1) \cdot x(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \quad (4.20)$$

Математична модель (4.20) відповідає порівняно широкому класу нелінійних об'єктів, які в найпростішому випадку можна описати наступною системою рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dz}{dt} + z = x, \end{cases} \quad (4.21)$$

$$\begin{cases} y = z + z^2; \end{cases} \quad (4.22)$$

де рівняння (4.21) характеризує лінійну частину і рівняння (4.22) безінерційну нелінійну частину об'єкту.

Розв'язок для (4.21) може бути записаний у вигляді

$$z(t) = \int_0^{\infty} e^{-\tau} \cdot x(t - \tau) d\tau \quad (4.23)$$

Підставивши (4.23) в (4.22), одержимо:

$$y(\tau) = \int_0^{\infty} e^{-\tau} \cdot x(t - \tau) d\tau + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-(\tau_1 + \tau_2)} \cdot x(t - \tau_1) \cdot x(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \quad (4.24)$$

Звідки видно, що вибрану нелінійну структуру досліджуваного об'єкту можна повністю описати за допомогою двох ядер Вольтера $w_1(\tau)$ і $w_2(\tau_1, \tau_2)$, які визначаються наступними виразами:

$$w_1(\tau) = e^{-\tau} \quad (4.25)$$

$$w_2(\tau_1, \tau_2) = e^{-(\tau_1 + \tau_2)} \quad (4.26)$$

Ці ядра можуть бути визначені експериментально шляхом вимірювання відповідних кореляційних функцій.

Можна показати, що і в цьому випадку в якості зондуючих сигналів доцільно використовувати псевдовипадкові сигнали, але вже багаторівневі, наприклад, трійкові. Це дає змогу при однаковій потужності з двійковим сигналом збільшити амплітуду трійкового приблизно в 1,2 рази, що створює більш сприятливі умови для ідентифікації. При цьому зберігається однаковий розподіл спектральної густини цих сигналів в межах одного частотного діапазону.

4.2.2. Обґрунтування можливості застосування псевдовипадкових сигналів.

У випадку апроксимації досліджуваного об'єкту лінійною моделлю (4.16) можна скористатися рівнянням Вінера-Хопфа (4.17).

Для реальних об'єктів його можна записати у вигляді

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^T g(U) \cdot R_{xx}(\tau - U) dU \quad (4.27)$$

де

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{q \cdot T} \int_0^{q \cdot T} y(t) \cdot x(t - \tau) dt \quad (4.28)$$

$$R_{xx}(\tau \cdot U) = \frac{1}{q \cdot T} \int_0^{q \cdot T} x(t - U) \cdot x(t - \tau) dt, \quad (4.29)$$

$$(q = 1, 2, 3, \dots, x(t - \tau) = x(t)),$$

- період, який більший часу заспокоєння об'єкту від впливу зондуєчого сигналу.

Автокореляційна функція псевдовипадкового двійкового сигналу ПВДС на $R_{xx}(t - \tau)$ протязі одного періоду зондуєчого сигналу $T = M \cdot \Delta$, де M - період відповідної M -послідовності, що утворює цей сигнал, Δ - тривалість тактового інтервалу, може бути представлена з врахуванням властивостей ПВДС у наступному вигляді:

$$R_{xx}(t - \tau) = R_{xx}^0(t - \tau) - \frac{d^2}{M} \quad (4.30)$$

де d - амплітуда двійкового сигналу.

$R_{xx}^0(t - \tau)$ - апроксимуємо дельта-функцією,

тобто

$$R_{xx}^0(t - \tau) \approx A \cdot \delta(t - \tau) \quad (4.31)$$

Можна показати, що

$$A = \frac{M + 1}{M} \cdot d^2 \cdot \Delta, \quad \tau \neq 0$$

і

$$A = \frac{M + 1}{M} \cdot d^2 \cdot \frac{\Delta}{2}, \quad \tau = 0 \quad (4.32)$$

З врахуванням (4.28), (4.30) і (4.31) отримаємо

$$R_{xy}(\tau) = A \cdot g(\tau) - \frac{d^2}{M} \int_0^{M \cdot \Delta} g(t) dt \quad (4.33)$$

Тоді для визначення ординат імпульсної перехідної функції можна запропонувати формули

$$g(\tau) = \frac{M \cdot (R_{xy}(\tau) + B)}{d^2 \cdot (M + 1) \cdot \Delta}, \quad \tau \neq 0 \quad (4.34)$$

$$g(0) = \frac{2 \cdot M \cdot (R_{xy}(0) + B)}{(M + 1) \cdot d^2 \cdot \Delta} \quad (4.35)$$

де $B = R_{xy}(\tau_B)$, тобто значення R_{xy} кінці періоду зондуєчого сигналу ($\tau = \tau_B$).

Таким чином показано, що для визначення ординат імпульсної перехідної функції об'єкту при застосуванні вхідного зондуючого ПВДС достатньо експериментальним шляхом визначити взаємно кореляційну функцію вихідного сигналу з вхідним ПВДС.

У випадку нелінійної апроксимації об'єкту дослідження, як показано вище (24), (25), (26), ядра Вольтера $w_1(\tau)$ і $w_2(\tau_1, \tau_2)$ також можна визначити експериментально шляхом обчислення або прямого вимірювання вихідних кореляційних функцій.

Якщо в якості вхідного сигналу застосувати трійковий псевдовипадковий сигнал ПВДС, то при певних спрощеннях отримуємо вираз для ординат ядра першого порядку

$$w_1(\tau) = \frac{3}{2(M+1) \cdot \Delta^2} \int_0^{M \cdot \Delta} x(t - \tau) \cdot y(t) dt \quad (4.36)$$

Аналогічно, з врахуванням властивостей ПВДС, при певних обґрунтованих спрощеннях, не приводячи математичні виклади, можна показати, що для визначення ординат ядра другого порядку має місце формула

$$w_2(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{8 \cdot 3^{k-2} \cdot \Delta^3} \int_0^{M \cdot \Delta} x(t - \tau_1) \cdot x(t - \tau_2) \cdot y(t) dt, \quad \tau_1 \neq \tau_2 \quad (4.37)$$

де k - порядок примітивного поліному, що утворюється відповідну M - послідовність.

4.2.3 Аналіз похибок застосування зонduючих псевдовипадкових сигналів.

Дамо оцінку як систематичній похибці, що обумовлена прийнятою апроксимацією (31), так і випадковій, що викликана наявністю шумів в досліджуваних об'єктах.

Виконавши аналіз, можна переконатись, що відносна похибка, яка обумовлена відмінністю автокореляційної функції ПВДС від дельта-функції, залежить від динамічних властивостей досліджуваного об'єкту $g(\tau)$ і довжини тактового інтервалу Δ .

$$\delta = \frac{\max \left| \frac{d^2 g(\tau)}{d\tau^2} \right|}{\max |g(\tau)|} \cdot \frac{\Delta^2}{12}, \quad \tau \neq 0$$

$$\text{і} \quad \delta = \frac{\left| \frac{dg(0)}{d\tau} \right|}{\max |g(\tau)|} \cdot \frac{\Delta}{3} \quad \text{при } \tau = 0 \quad (4.38)$$

Спрощений вираз середньоквадратичної похибки, що обумовлена наявністю шуму, при визначенні ординат імпульсної перехідної функції, коли використовуються ПВДС, буде мати вигляд:

$$\sigma = \frac{1}{\Delta} \cdot \sqrt{\frac{R_{nn}(0)}{R_{xx}(0) \cdot q \cdot M}}, \quad (4.39)$$

де $R_{nn}(0)$ - значення автокореляційної функції шуму $n(t)$ при $t = 0$.

Із формули (39) слідує:

- середньоквадратична похибка пропорційна відношенню середньоквадратичних значень збурення (шуму) і зонduючого сигналу;

- збільшення періоду M і тривалості тактового інтервалу Δ с призводить до меншення похибки;

- похибка може бути зменшена в \sqrt{q} разів, якщо усереднення виконувати на протязі q періодів ПВДС.

4.3. Рекомендації щодо технічної реалізації псевдовипадкових зондуючих сигналів.

4.3.1 Рекомендації для вибору параметрів зондуючих ПВДС.

Із намагання зменшити як систематичну, так і випадкову похибки застосування ПВДС можна прийти до наступних висновків.

1. Амплітуда ПВДС a повинна приймати найбільше значення, яке тільки допускається для досліджуваного об'єкта, так як величина $R_{xx}(0) = a^2$ входить в знаменник формули (4.39).

2. Тривалість тактового інтервалу рекомендується вибирати із умови

$$\Delta \leq \frac{0,6 \cdot \pi}{\omega_{zp}} \quad (4.40)$$

де ω_{zp} - гранична частота пропускання об'єкта, яка оцінюється із апріорних даних.

Для початкових досліджень величину Δ можна дещо збільшувати, щоб після відпрацювання методики дослідження її можна було уточнювати шляхом зменшення.

3. Період ПВДС $M \cdot \Delta$ повинен бути більшим за час T заспокоєння об'єкта від впливу зондуючого сигналу.

$$M \geq \frac{T}{\Delta} \quad (4.41)$$

Конкретне значення R вибирається із чисел типу $2^k - 1$ як найближче більше до визначеного по формулі (41). k - порядок примітивного поліному, що утворює відповідну M - послідовність.

4.3.2 Синтез зондуєчих псевдовипадкових двійкових сигналів.

Рекомендації розробляються стосовно ультразвукових інформаційно-вимірювальних систем з п'єзоелектричним перетворювачем (ПЕП).

Розглянемо синтез ПВДС, які задаються в часовій формі, тобто у вигляді прямокутних імпульсів однакової амплітуди для моделі центрованої M -послідовності, що формуються за допомогою одиничної функції (функції Хевісайда) (рис. 4.2).

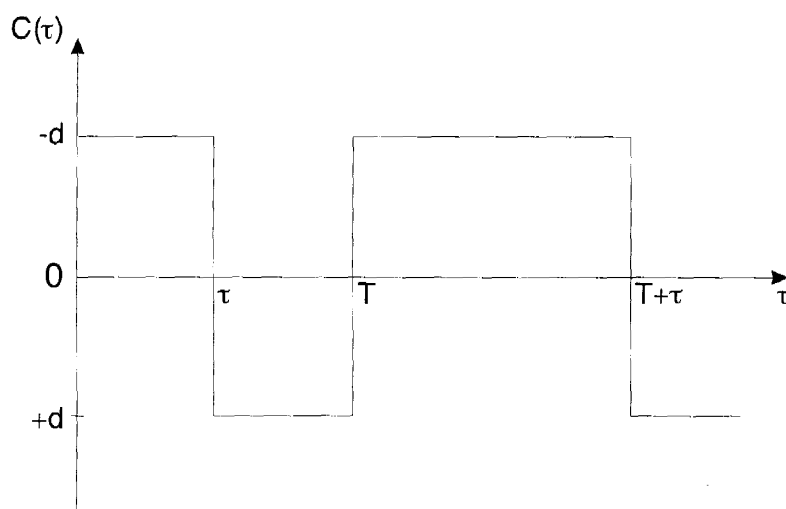


Рис. 4.2. Приклад імпульсного сигналу прямокутної форми (ПВДС)

Задача розглядається на рівні розробки та обґрунтування структурної схеми передавальної частини вимірювального каналу і алгоритму вибору параметрів відповідних ланок цього каналу.

Наведений на рисунку 4.2 ПВДС, як і будь-який інший, тобто реакцію випромінювача, можна представити в області зображень по Лапласу наступним чином:

$$C(p) = \frac{d}{p} (1 - 2 \cdot e^{-p\tau} + e^{-p \cdot 2\tau} + e^{-pT} - e^{-p(T+\tau)} + \dots)$$

Тоді, щоб визначити вираз для вхідного впливу $U_{\text{вх}}(p)$ на ПЕП, можна записати очевидне співвідношення для зображень

$$C(p) = k \cdot U_{\text{вх}}(p) \cdot \eta(p), \quad (4.42)$$

де $\eta(p)$ - зображення по Лапласу імпульсної перехідної ПЕПа;

k - постійний коефіцієнт.

Звідки

$$U_{\text{вх}}(p) = k \frac{C(p)}{\eta(p)}, \quad (4.43)$$

Визначення вхідного впливу на підставі останнього виразу (4.43) у випадку ПЕПа з великим коефіцієнтом електромеханічного зв'язку k , пов'язане з електричними сигналами на стільки складної форми, що їх неможливо практично генерувати радіотехнічними засобами.

Щоб обійти ці труднощі, скористуємося підходом [13], який дозволяє виключити вплив коефіцієнта електромеханічного зв'язку. Тобто пропонується передавальна частина каналу, яка включає в себе генератор ПВДС, коректуючу ланку та ПЕП (рис. 4.3).

На рис. 4.3 прийнято, що передаточна функція випромінювача для пластинчатого ПЕП:

$$K_B(p) = K'_B(p) \cdot F(p), \quad (4.44)$$

$$K'_B(p) = \frac{l_{33} \cdot d_{02}}{2l_0} \cdot \frac{1 - d_{10} \cdot e^{-\tau_0 p} - v_{01} \cdot e^{-2\tau_0 p}}{1 - v_{01}'' \cdot v_{02}'' \cdot e^{-2\tau_0 p}}, \quad (4.45)$$

передаточна функція випромінювача з малим коефіцієнтом електромеханічного зв'язку $k \ll 1$.

$$d_{02} = \frac{2 \cdot z_0}{z_2 + z_0}, \quad d_{10} = \frac{2 \cdot z_0}{z_1 + z_0}, \quad r_{01} = \frac{z_1 - z_0}{z_1 + z_0}, \quad r_{02} = \frac{z_2 - z_0}{z_2 + z_0};$$

коректуюча ланка

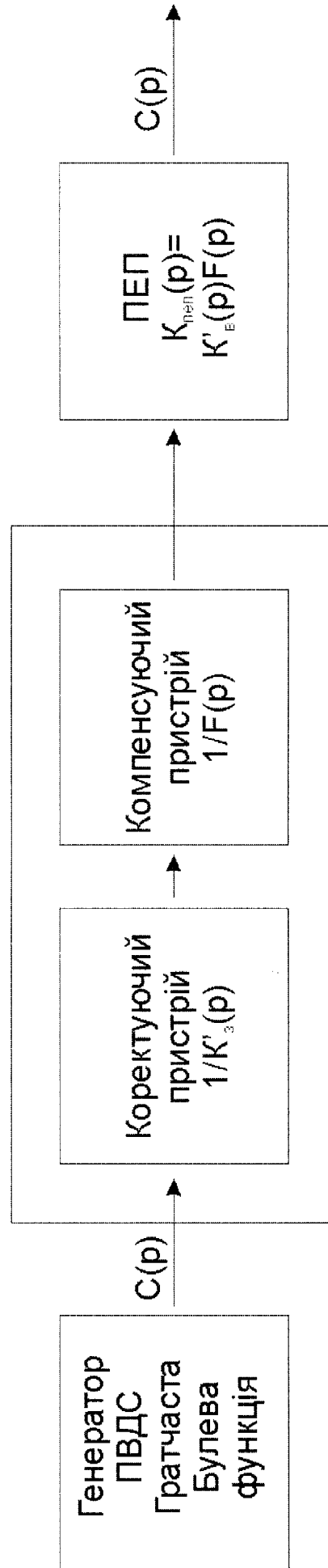


Рис. 4.3. Структурна схема передавальної частини каналу
ультразвукової інформаційно-вимірноювальної системи

$$F(p) = \frac{1}{p \cdot C_0 [Z_r(p) + Z_{ex}(p)]} - \text{функція, що оцінює вплив } k_t \quad (4.46)$$

Вхідний електричний імпеданс перетворювача визначається виразом

$$Z_{ex}(p) = \frac{1}{p \cdot C_0} \left[1 - \frac{h_{33}^2}{p \cdot C_0 \cdot Z_0} \cdot \frac{(k_1 + k_2 + 2) - 4e^{-2\tau_0 p} - (k_1 + k_2 - 2) \cdot e^{-2\tau_0 p}}{(1 + k_1 + k_2 + k_1 \cdot k_2) - (1 - k_1 - k_2 + k_1 \cdot k_2) \cdot e^{-2\tau_0 p}} \right], \quad (4.47)$$

де $h_{33} = e_{33} / \epsilon_{33}$ - п'єзопостійна деформації, $\tau_0 = l_0 / V_{II}^D$ - час поширення поздовжньої хвилі через п'єзоелемент.

Решта величин, що входять у вищенаведені формули (4.46), (4.47), показана на рис. 4.4.

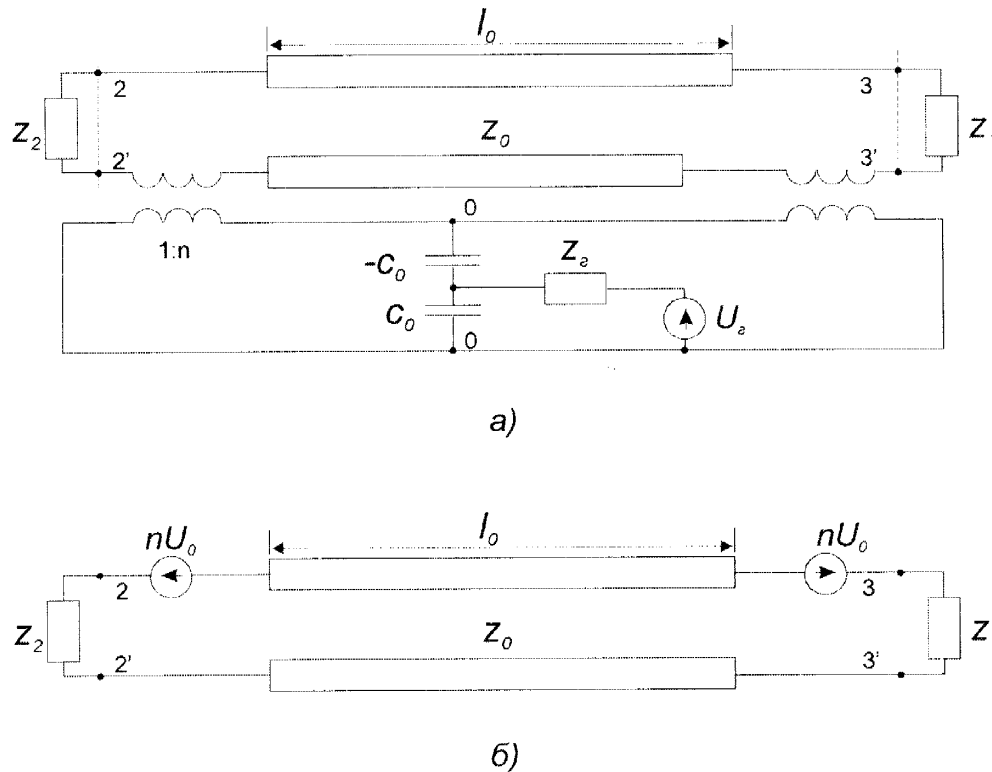


Рис.4.4. Перетворення еквівалентної схеми ПЕП:

а - вихідна схема;

б - схема випромінювача, що живиться від генератора напруги

В даному конкретному випадку розглядається ПЕП із однієї п'єзоелектричної пластинки, який здійснює поздовжні коливання по товщині і навантажений із задньої сторони демпфером, а з передньої - об'єктом вимірювання.

Отже, щоб реалізувати передавальну частину каналу ІВС згідно з рисунку 3, необхідно лише знати наступні характеристики п'єзопластинки:

A_0 - площа електроду, м²;

C_{33}^D - пружна постійна, Па;

e_{33} - п'єзоелектрична постійна;

$\epsilon_{33}^S / \epsilon_0$ - відносна діелектрична проникливість, ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²));

h_{33} - п'єзоелектрична постійна деформації;

l_0 - товщина пластинки, м;

V - швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі, м/с,

$$(V = V_n^D = \sqrt{C_{33}^D / \rho});$$

ρ - густина матеріалу пластинки, кг/м³;

Z_0 - хвильовий акустичний опір п'єзоматеріалу для поздовжньої хвилі, кг/(м²·с), ($Z = \rho \cdot V$);

також

Z_1 - хвильовий акустичний опір демпфера, кг/(м²·с);

Z_2 - те ж об'єкту вимірювання, кг/(м²·с);

$Z_r(p)$ - внутрішній імпеданс генератора напруги, від якого живиться ПЕП.

При цьому

$$C_0 = \frac{A_0 \cdot \epsilon_{33}^S}{l_0}; \quad Z_0 = A_0 \cdot \rho \cdot V_n^D; \quad k_1 = \frac{Z_1}{Z_0} \quad \text{і} \quad k_2 = \frac{Z_2}{Z_0}. \quad (4.48)$$

На підставі запропонованої структурної схеми на рисунку 4.3 можна шляхом синтезу електричних аналогів (еквівалентних схем) перетворювачів або їх схем розміщення реалізувати коректуючу ланку, і компенсуючий пристрій - згідно з

принципами відтворення лінійних та нелінійних електричних ланцюгів. Коректуючу ланку можна реалізувати і цифровим пристроєм.

Щодо можливості технічної реалізації генератора ПВДС, то приклад структурної схеми такого пристрою наведений на рис. 4.5.

ПВДС можна генерувати за допомогою пристрою, який складається із елементів затримки, схем множення і схем додавання по **mod2**. В цей пристрій, який будемо називати генератором ПВДС, повинні бути заведені також синхронізуючі імпульси, що задають тривалість тактового інтервалу (тактові імпульси).

В якості елементів затримки можна використати **D**-тригери, сукупність яких представляє зсувний регістр, що виконує послідовний зсув інформації, яка зберігається в регістрі, вліво або вправо при наявності сигналу синхронізації. Оскільки в математичній моделі ПВДС $x(t)$ коефіцієнти приймають значення “0” або “1”, то схема множення представляє собою просто наявність з’єднання, якщо коефіцієнт, рівний “одиниці”, або відсутність, якщо він рівний “нулеві”. Зсувний регістр охоплюється зворотнім зв’язком, в якому повинна використовуватись операція додавання по **mod2**. Схему додавання по **mod2** можна реалізувати згідно з алгоритмом

$$a \oplus b = (a \vee b) \wedge (\bar{a} \vee \bar{b}),$$

де **V** - функція диз’юнкції і **Λ** - функція кон’юнкції.

Наприклад, структурна схема генератора ПВДС, що утворюється характеристичним поліномом $P(z) = Z^5 + Z^2 + 1$, наведена на рисунку 4.5. Згідно формули цього поліному в схемі передбачене додавання по **mod2** сигналів, затриманих на 2 і 5 тактових імпульси.

Схема працює наступним чином. В початковий момент всі тригери переводяться в стан “1” (на схемі це не показано). Тобто на виходах **Q** всіх тригерів буде “1”. Тоді на вході схеми додавання по **mod2** буде ПВДС $x_1(t) = “0”$ ($1 \oplus 1 = 0$). Після першого синхронізуючого імпульсу на виході **Q** тригера 1 з’явиться “0”, бо на вході **S** першим був “0”. А на виходах решти тригерів “одиниця” зберігається. Тому знову $x_2(t) = “0”$. Після другого синхроімпульсу на виході тригера 1 встановлюється “0”, на виході

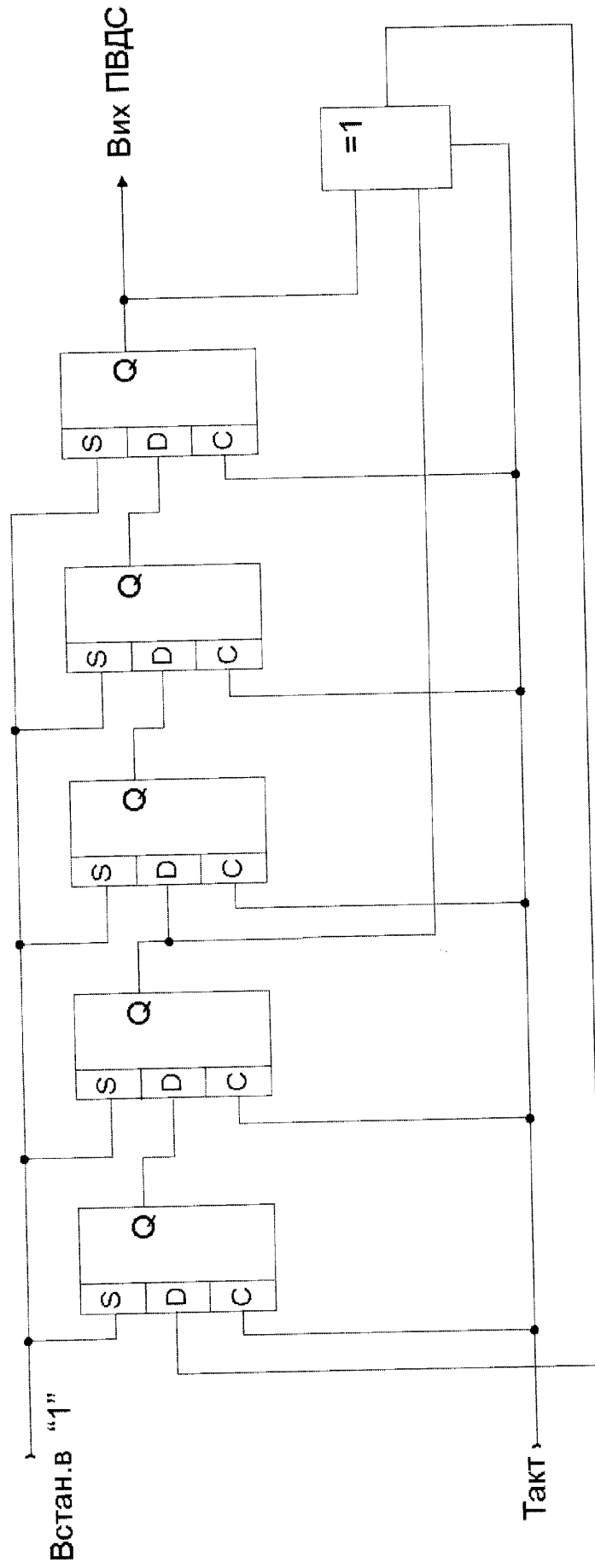


Рис. 4.5. Структурна схема генератора псевдовипадкових двійкових сигналів для випадку

$$P(z) = z^5 + z^2 + 1$$

тригера 2 - "0", а на виходах решти тригерів - "1". В результаті цього $x_3(t) = 1$ ($0 \oplus 1 = 1$). Можна говорити, що в даному регістрі після другого синхроімпульсу записалося слово "00111". Після чергового синхроімпульсу це слово зсуватиметься праворуч на один розряд, а на місце крайнього лівого розряду буде поступати значення ПВДС $x_4(t)$, отримане на попередньому такті. Керуючись таким алгоритмом роботи цієї схеми, можна переконатись, що через 31 тактовий синхроімпульс вичерпається послідовність ПВДС в межах першого періоду і після 31 такту почнеться генерація сигналів другого періоду. В результаті на виході схеми додавання по **mod2** ми отримаємо наступну послідовність: "001101001 0000101011101100011111". Звичайно тут записана тільки математична модель реального сигналу. Але, якщо пропустити цю послідовність через найпростіший формуючий пристрій, в якому виконувалось би запам'ятовування значень **M**-послідовності на протязі наступного тактового інтервалу, то на виході цього пристрою одержимо деякий імпульсний сигнал прямокутної форми (див. рис. 4.2).

Розглянемо випадок ПЕПа з малим коефіцієнтом електромеханічного зв'язку. Тоді для створення в об'єкті вимірювання ПВДС згідно з моделлю **M**-послідовності скористуємося методикою [14], [15]. Сигнал вхідного впливу на ПЕП, необхідний для створення ПВДС, можна записати у вигляді

$$U_{ex}(t) = \sum_{i=1}^M U_i [t - (i-1)\tau_0], \quad (4.49)$$

де **M** - період (кількість тактових імпульсів),

$\tau_0 = 2\pi n / \omega$ - тактовий інтервал або тривалість імпульсу, що рівний цілому числу періодів синусоїдальної напруги;

$U_i(t)$ - вплив, що створює на виході ПЕПа прямокутні імпульси з синусоїдальним наповненням і заданою початковою фазою.

$$A(t) = A_0 [\sin \omega t \cdot H(t) - \sin \omega(t - \tau_0) \cdot H(t - \tau_0)] \quad (4.50)$$

Гут A_0 - амплітуда; $H(t)$ - одинична функція. Згідно з (14) цей вплив визначається формулою

$$U(t) = \frac{A_0}{\omega} [A_1 \sin(\omega t + \varphi) + a_0] \cdot [H(t) - H(t - \tau_0)],$$

де A_1 і φ вираховується через елементи еквівалентної схеми ПЕПа і внутрішній опір генератора.

Тобто для отримання акустичного сигналу у вигляді прямокутного імпульсу з синусоїдальним заповненням на вузькосмуговий п'єзоперетворювач необхідно подати прямокутний відеоімпульс з амплітудою $A_0 \cdot a_a / \omega$ і накладеною на нього синусоїдою з амплітудою $A_0 \cdot A_1 / \omega$.

4.3.3. Алгоритм визначення взаємкореляційної функції.

Для визначення ординат імпульсної перехідної функції згідно з формулами (4.34), (4.35) і (4.36) необхідно мати значення взаємкореляційної функції $R_{xy}(\tau)$. Її можна отримати інструментальним методом за допомогою корелометра або шляхом математичної обробки вхідних та вихідних сигналів.

Процедура визначення взаємкореляційної функції показана на рис. 4.6.

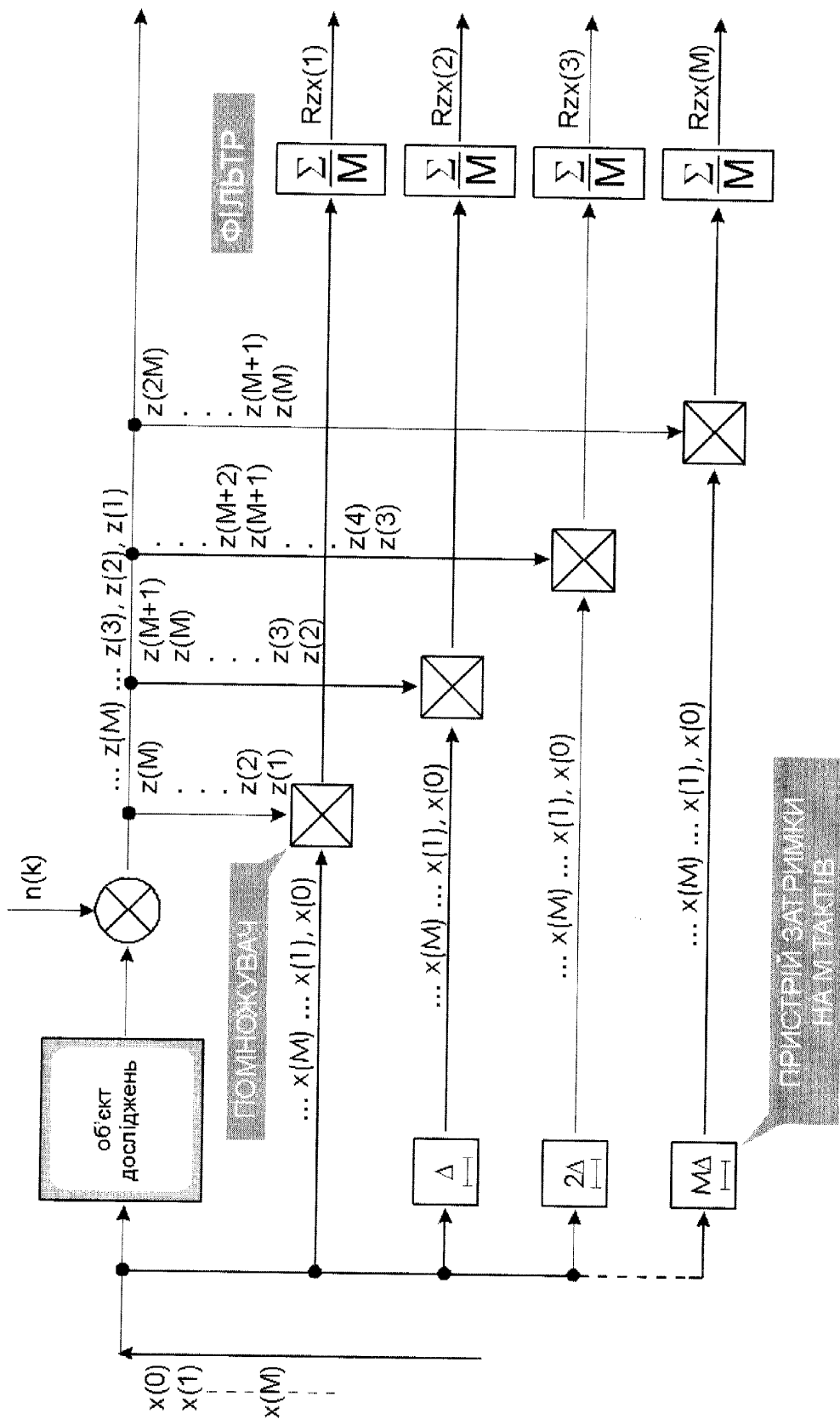


Рис. 4.6. Схема визначення взаємно кореляційної функції.

Δ - тактовий інтервал, $x(k)$ - ПВДС, $n(k)$ - випадкова завада;

R_{zx} - взаємно кореляційна функція

Висновки

1. З метою підвищення інформативності акустичного неруйнівного контролю було запропоновано процедуру параметричної ідентифікації дефектів.

2. Теоретично встановлено, що при застосуванні зондуючих псевдовипадкових сигналів:

- середньоквадратична похибка пропорційна відношенню середньоквадратичних значень збурення (шуму) і зондуючого сигналу;

- збільшення періоду і тривалості тактового інтервалу призводить до зменшення похибки;

- похибка може бути зменшена в \sqrt{q} разів, якщо усереднення виконувати на протязі q періодів псевдовипадкового двійкового сигналу.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача - розроблено комплекс технічних засобів і технологій, які дозволяють підвищити вірогідність та інформативність результатів ультразвукового контролю трубних виробів.

2. В результаті аналізу умов роботи існуючих методів та засобів акустичного неруйнівного контролю трубних виробів встановлено та класифіковано за рівнем значимості фактори, що зменшують вірогідність результатів контролю. Запропоновано для зменшення впливу вказаних чинників на вірогідність контролю використання в якості первинних перетворювачів сигналу спеціально спроектованих електромагніто-акустичних перетворювачів (ЕМАП).

3. З метою забезпечення стійкості ЕМАП до механічного впливу було розроблено принципово нові конструкції зносостійких перетворювачів для генерування та прийому зсувової хвилі по нормалі і під заданим кутом до поверхні контролю. На конструкції перетворювачів подано заявки на міжнародні патенти в Європейське патентне бюро.

4. Для проведення теоретичних досліджень характеру зміни акустичних полів в залежності від фізичних параметрів дефектів була розроблена математична модель перетворення тестових сигналів в акустичних інформаційно-вимірювальних системах, що дало можливість розробити метод інтерпретації результатів акустичних вимірювань.

5. Теоретично досліджено та експериментально підтверджено доцільність використання складних зондуючих сигналів (фазомодульований код Баркера) для підвищення чутливості електронно-акустичного тракту акустичних дефектоскопічних систем з первинними електромагніто-акустичними перетворювачами, що дає можливість однозначно виявляти дефекти з малими геометричними розмірами. При цьому співвідношення сигнал/шум для умов, коли сигнал є маскований шумом, покращується на 8-17,5 дБ в залежності від довжини кодової послідовності.

6. З метою підвищення інформативності акустичного неруйнівного контролю було запропоновано процедуру параметричної ідентифікації дефектів. Встановлено, що нелінійну структуру досліджуваного об'єкту (дефекту) можна описати у вигляді

функціонального ряду Вольтера та адитивної випадкової завади. Отримано теоретичні вирази для визначення ординат ядра першого та другого порядків. Ці ядра можуть бути визначені експериментально шляхом вимірювання відповідних кореляційних функцій.

Показано, що в якості зондуючих сигналів при параметричній ідентифікації дефектів доцільно використовувати багаторівневі псевдовипадкові сигнали, трійкові. Це дає змогу при однаковій потужності з двійковим сигналом збільшити амплітуду трійкового приблизно в 1,2 рази, що створює більш сприятливі умови для ідентифікації типів дефектів.

7. Експериментально встановлено, що неруйнівний контроль в умовах бурової за допомогою запропонованих засобів дозволяє досягнути вірогідності контролю 87% на непідготовлених поверхнях труб у порівнянні з 76%, що досягаються контролем з використанням п'єзоелектричних перетворювачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ахметшин А. М., Погорелов А. А. Акустическая дефектоскопия слоистых структур на основе обобщенной режекторной фильтрации регистрируемых сигналов. - Дефектоскопия, 1993, №7, с. 23-31.
2. Бадалян В. Г., Базулин Е. Г. и др. Компьютерная система "Авгур 2.1." - Дефектоскопия, 1993, №7, с. 3-16.
3. Баштанников Л.А. Неразрушающий контроль бурильных и обсадных колонн в практике отечественного и зарубежного бурения. М., 1988. – 40 с.
4. Белоцерковский В.И., Камышина Е.В., Ежов В.Н. Дефекты насосно-компрессорных труб и способы их устранения. - Тр. ВНИИТнефть, Куйбышев, 1983, с. 106 - 108.
5. Белый В.Е., Щедрин И.Ф., Мокроусов А.С., Аладинский В.В., Маханев В.О. Оценка точности измерения размеров усталостных трещин стандартным ультразвуковым дефектоскопом. Резервы повышения точности //Труды 14-й Рос. научн.-техн.конф. "Неразрушающий контроль и диагностика". – М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 88
6. Білик С.Ф. Герметичність і прочність резьбових з'єдинень труб нафтяного сортаменту. – М.: Недра, 1981. – 351 с.
7. Білокур І.П. Підвищення ефективності неруйнуючого контролю. //Збірн. наук. праць 2-ї Укр.наук.-техн.конф. "Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (НКТД-97). Дніпропетровськ, 12-16 травня 1997 р. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О.Патона, 1997. – С. 259 – 260.
8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука. - 719 с.
9. Буденков Г.А., Булатова Е.Г., Недзвецкая О.В. Ультразвуковой контроль тонкостенных изделий // Дефектоскопия. - 1996. - № 8. – С. 59 - 63
10. Буйло С.И. Вероятностно-информационные аспекты достоверности результатов неразрушающего контроля и диагностики прочности твердых тел. // Дефектоскопия. – 1996. - № 5. – С. 20 -25

11. Вісков О.В. Зносостійкий електромагніто-акустичний перетворювач для неперервної товщинометрії труб нафтового сортаменту // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. - № 4(5). – С. 30-32.
12. Волченко В.Н. Вероятность и достоверность оценки качества металлопродукции. - М.: Металлургия, 1979. - 88 с.
13. Вopilкин А. Х., Ермолов И. Н., Стасеев В. Г. Спектральный ультразвуковой метод определения характера дефектов. - М.: Машиностроение, 1979, 59 с., ил.
14. Выборнов В.И. Ультразвуковая дефектоскопия. – М.: Металлургия, 1974. – 240 с.
15. Герасименко Ю.И., Игуменцев Е.А. Диагностика и прогнозирование ресурса технологического оборудования нефтегазового комплекса // Збірн. наук. праць 2-ї Укр. наук.-техн.конф. “Неруйнівний контроль та технічна діагностика” (НКТД-97). Дніпропетровськ, 12-16 травня 1997 р. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О.Патона, 1997. – С. 170 – 171
16. Гмырин С.Я. Зависимость погрешности ультразвуковой толщинометрии от параметров и структуры переходного слоя // Дефектоскопия. - 1998. № 2. - С. 52 - 60.
17. ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. Изд-во стандартов, 1987. - 38 с.
18. ГОСТ 26266-90 Контроль неразрушающий. Преобразователи ультразвуковые. Общие технические требования
19. ГОСТ 632-80 Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия. Введ. 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 1982
20. ГОСТ 633-80 Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия. Введ. 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 1980
21. ГСТУ 320.02829777.001-95 Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях. – Введ. вперше; Введ. 01.01.96. – К.: Держнафтогазпром, 1996. – 18 с.

22. ГСТУ 320.02829777.002-95 Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації. – Введ. вперше; Введ. 01.03.97. – К.: Держнафтогазпром, 1997. – 102 с.
23. Гурвич А.К., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. – К.: Техніка, 1972. – 460 с.
24. Гурвич А.К., Кренинг М., Марков А.А., Захарова О.Ф. Специфика выявления зеркально-теневым методом дефектов в виде трещин продольными и поперечными ультразвуковыми волнами при различных режимах возбуждения. //Труды 14-й Рос. Научн.-техн.конф. “Неразрушающий контроль и диагностика” . – М.: Изд-во МГУ, 1997. - С. 98
25. Домаркас В. И., Кажис Р. И. Ю., Машонис А. П. О возбуждении ультразвуковых импульсов заданной формы. - В сб.: Тр. 8-й Всес. акустической конф. М., 1973, с. 37-40.
26. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – Введ. вперше; Введ. 01.01.95. – К.: Держстандарт України, 1995
27. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. Введ. вперше; Введ. 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 52 с.
28. ДСТУ 3921.2-2000 Забезпечення якості засобами вимірювальної техніки. Частина 2. Настанови щодо контролю процесів вимірювань. - К.: Держстандарт України, 2000. - 10 с.
39. Дымкин Г.Я., Коншина В.Н. Аттестация методик УЗК по показателям достоверности // В мире неразрушающего контроля. - 2000. № 1. - С. 30 - 32.
30. Ермолов И. Н., Щербинский В. Г. Измерение величины дефектов при ультразвуковой дефектоскопии. - Дефектоскопия, 1967, №1, с. 17-23.
31. Ермолов И.Н. Амплитуда эхосигнала от угловых отражателей // Дефектоскопия. - 1997. № 1. - С. 3 - 11
32. Ермолов И.Н. Эхосигнал от угловых отражателей глубиной 0.5 - 3 мм // Дефектоскопия. - 1997. № 4. - С. 12-17

33. Ермолов И.Н., Щербаков А.А. Измерение диаграммы направленности в дополнительной плоскости // Дефектоскопия. – 1996. - № 110. – С. 3 - 10
34. Заславский В.А., Каденко И.И. Роль и место методов неразрушающего контроля для обеспечения надежности и долговечности сложных систем с высокой ценой отказа // Неразрушающий контроль. - 1999. - № 1. - С. 15 - 22.
35. Зінчак Я.М., Вісков О.В., Кійко Л.М. Сервісні пристрої для ультразвукової дефектоскопії обладнання в польових умовах // Матеріали науково-технічної конф. „Сучасні прилади, матеріали та технології для технічної діагностики й неруйнівного контролю нафтогазового, хімічного та енергетичного обладнання, сучасний підхід до підготовки спеціалістів з НК і ТД”. - Івано-Франківськ: - 1996. – С. 22-24.
36. Игуменцев Е.А., Кобзев В.А. Основные положения по техническому диагностированию трубопроводов для транспортировки газа, нефти и других продуктов // Труды Междунар. научн.-техн. конф. “Современные приборы, материалы и технологии для технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного оборудования. Элементная база и комплектующие приборов НК. Подготовка специалистов в сфере неразрушающего контроля и технической диагностики” . – Харьков: ХТУРЭ - 1998. - С. 187 –190
37. Иогансен К.В. Спутник буровика: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 294 с
38. Кажис Р. И. Ю. О формировании псевдослучайных кодовых последовательностей пьезоэлектрическими преобразователями. - Изв. вузов ЛитССР. Радиоэлектроника, 1976, т. 12, №1, с. 130-140.
39. Кажис Р.И. Ю. Ультразвуковые информационно-измерительные системы. - Вильнюс: Мокслас, 1986. - 216 с.: ил.
40. Карпаш О., Зінчак Я., Криничний П. Неруйнівний контроль та технічна діагностика в нафтогазовій галузі. // Збірн. наук. праць 6-ї Міжнар. наук.-практ. конф. ”Нафта і газ України – 2000” – Івано-Франківськ: Факел, 2000. - С. 256 –

41. Карпаш О.М. Криничний П.Я., Вісков О.В. Можливість застосування електромагніто-акустичних перетворювачів для неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту в польових умовах // Матеріали III наук.-техн. конф. та вист. „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання”. - Івано-Франківськ: - 2002. – С. 67-69.
42. Карпаш О.М. Методи та засоби забезпечення роботоздатності трубних колон. Дис. докт. техн. наук: 05.15.07. – Івано-Франківськ, 1996.
43. Карпаш О.М. Повышение работоспособности бурильных труб с коническими стабилизирующими поясками. Дис. канд.техн.наук: 05.04.07. – Москва, 1983
44. Карпаш О.М., Даниляк Я.Б, Кійко Л.М. Про один з підходів до прогнозування ресурсу труб нафтового сортаменту // Тези наук.-техн.конф. професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу. – Ч. 2. – Івано-Франківськ. - 1997
45. Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Вісков О.В. Проблеми підвищення якості нафтогазового обладнання та інструменту // Матеріали 4-ї спеціал. конф. „Сучасні прилади, матеріали та технології для неруйнівного контролю та технічної діагностики промислового обладнання”. - Івано-Франківськ: - 1999. – С. 63-64.
46. Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Кійко Л.М. Діагностика та безпека бурового і нафтогазового обладнання та інструменту / Доп. Міжнар. наук.-техн. конф. «Надійність машин та прогнозування їх ресурсу». - Івано-Франківськ. - 2000. - С. 20 – 25
47. Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Кійко Л.М., Цюцяк І.І., Козоріз А.В. Надання послуг з неруйнівного контролю та технічної діагностики в світлі вимог системи якості НВФ «Зонд»// Тези. доп. на 4 Міжнар. наук.-техн. конф. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання». - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. - С. 67 - 71

48. Карпаш О.М., Івасів В.М., Вісков О.В. До визначення оптимальних періодів неруйнівного контролю бурильних труб // *Методи та прилади контролю якості*. – 1997. - №1. – С. 13-14.
49. Карпаш О.М., Кійко Л.М., Даниляк Я.Б. До питання оцінки фактичного стану різьбових з'єднань трубних колон // *Збірн. наук. праць 2-ї Укр. наук.-техн. конф. “Неруйнівний контроль та технічна діагностика” (НКТД-97)*. Дніпропетровськ, 12-16 травня 1997 р. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О.Патона, 1997. – С. 179 – 180
50. Карпаш О.М., Кійко Л.М., Даниляк Я.Б., Молодецький І.А. Про один з підходів до контролю якості різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 1996. № 4. – С. 58 - 61
51. Карпаш О.М., Кійко Л.М., Криничний П.Я., Зінчак Я.М. Комплекс засобів для неруйнівного контролю та технічної діагностики трубних колон. // *Тези доп. на II Укр. наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль та технічна діагностика»*. - Дніпропетровськ, 1997. - 4 с.
52. Карпаш О.М., Криничний П.Я., Вісков О.В, Молчанов М.О. Мобільні засоби комплексного неруйнівного контролю якості труб нафтового сортамента // *Матеріали 4-ї міжнар. наук.-практ. конф. „Нафта і газ України”*. - Івано-Франківськ: - 2000. – С. 257-258.
53. Карпаш О.М., Криничний П.Я., Вісков О.В. ЕМА-товщиномір з підвищеною чутливістю // *Збірник наукових праць «Фізичні методи та засоби контролю середовища, матеріалів та виробів» (Леотест 2001)*. - Київ-Львів: - 2001. – С. 38-41.
54. Карпаш О.М., Криничний П.Я., Вісков О.В. Застосування електромагніто-акустичного методу неруйнівного контролю // *Методи та прилади контролю якості*. – 2000. - №6. – С. 19-20.
55. Карпаш О., Криничний П., Крижанівський Є., Мигаль І., Рибчич І., Зінчак Я. *Неруйнівний контроль труб нафтового сортаменту: Навч. підруч.* - Івано-Франківськ.: Факел, 2001. - 380 с.: іл.

56. Карпаш О.М., Степура О.І., Вісков О.В. До питання підвищення точності вимірювань в процесі ультразвукової дефектоскопії // Збірник наукових праць «Фізичні методи та засоби контролю середовища, матеріалів та виробів» (Леотест 2000). - Київ-Львів. – 2000. – С. 25-27.
57. Карпаш О.М., Степура О.І., Вісков О.В. Ультразвукова ідентифікація параметрів дефекта // Матеріали 2-ї загальноукр. конф. „Неруйнівний контроль та технічна діагностика”. - Дніпропетровськ: - 1997. – С. 188.
58. Качанов В.К. Использование радиолокационных сигналов и методов их обработки в ультразвуковой дефектоскопии композиционных материалов // ТД и НК, 1995, №2. – С. 3-17
59. Кійко Л.М. Стосовно підходів до прогнозування ресурсу труб нафтового сортаменту // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 1997. - № 34. - Т. 6. - С. 206 - 211
60. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. - Івано-Франківськ: Видавництво «Факел», Івано-Франківськ, 2002. - 400 с.
61. Королёв М. В. Периодический пьезодатчик для ультразвуковых дефектоскопов. - Дефектоскопия, 1973, №4, с. 12-18.
62. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. Н. Геометрическая оптика неоднородных сред. - М.: Наука, 1980. - 304 с.
63. Криничний П.Я., Карпаш О.М., Кійко Л.М. Ультразвукова дефектоскопія різевих з'єднань обважнених бурильних труб в зібраному стані // Методи та прилади контролю якості. – 2000. - № 6. – С. 9 - 12
64. Кубарев А.И. Технический контроль и испытания. Требования стандартов ИСО серии 9000 к контролю и испытаниям // Контроль. Диагностика. - М.: ВНИИНМАШ. - 1999. - № 6. - С. 41 - 50
65. Кулиничев Г.П., Торопчина И.В., Панова Г.В. Аварийные разрушения обсадных труб, обусловленные поверхностными дефектами. - Тр. ВНИИТнефть, 1980, Куйбышев, с. 82 - 85.

66. Лепендин Л. Ф. Акустика: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1978. - 448 с., ил.
67. Малыгин И.В. Коды, коды, коды... // Технология и средства связи. – 1999. - № 3. – С. 53 – 57
68. Мамедов А.А. Нарушение обсадных колонн при освоении и эксплуатации скважин и способы их предотвращения. - М.: Недра, 1974. - 200 с.
69. Методы акустического контроля металлов / Алешин Н.П., Белый В.Е., Вopilкин А.Х. и др. / Под ред. Н.П.Алешина. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
70. Механіка руйнівань і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під загальною ред. В.В. Панасюка. Т. 5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З.Т. Назарчука. - Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2001. - 1134 с.
71. Мигаль И.Г. Исследование и разработка технических средств обнаружения дефектов в резьбовых соединениях буровых труб при бурении глубоких скважин. Дис. канд.техн.наук: 05.15.10. – Ивано-Франковск, 1980
72. Нафта і газ України // Артемчук І.О., Барановський М.І., Білик С.Ф. та ін. – К.: Наукова думка, 1997. – 380 с.
73. Національна програма “Нафта і газ України” до 2010 року. – К.: 1993. – 62 с.
74. Неразрушающий контроль материалов и изделий. Справочник. Под ред. Г.С.Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
75. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Акустические методы контроля: Практик. пособие/И.Н.Ермолов, Н.П.Алешин, А.И.Потапов // Под ред. В.В.Сухорукова. – М.: Высш.шк., 1991. – 283 с.
76. Пат. РФ 1792530, G 01 N 29/04. Способ ультразвукового контроля конических резьбовых соединений с упорными уступами / О.М.Карпаш, Я.М.Зинчак, П.Я.Криничный, И.Г.Мигаль, Я.М.Бажалук и Л.Н.Кийко. - № 4934690/28; Заявлено 29.03.91; Опубл. 30.01.93, Бюл. № 4. – 4 с.
77. Пат. України 4039, G 01 N 29/04. Спосіб ультразвукового контролю конічних різьбових з'єднань з упорними виступами // О.М.Карпаш, Я.М.Зінчак,

П.Я.Криничний, І.Г.Мигаль, Я.М.Бажалук та Л.М.Кійко. - № 94220181; Заявлено 18.03.93

78. Перлик В.И., Гладкий Э.Г. Влияние результатов неразрушающего контроля на оценку показателя безотказности механических систем //Збірн. наук. праць 2-ї Укр. наук.-техн.конф. “Неруйнівний контроль та технічна діагностика” (НКТД-97). Дніпропетровськ, 12-16 травня 1997 р. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О.Патона, 1997. – С. 130 – 131
79. Планирование научного эксперимента. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1976. - 76 с.
80. Подильчук Ю.Н., Рубцов Ю.К. Лучевые методы в теории распространения волн. - Киев: Наук. думка, 1988. - 220 с.
81. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х кн. Под ред. Клюева В.В. Кн. 2. –М.: Машиностроение, 1976. – 326 с.
82. Пустовойтенко Н.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. – М.: Недра, 1988. – 279 с.
83. Рей У. Методы управления технологическими процессами. - М.: Мир, 1983, - 368 с., ил.
84. Розробка керівного нормативного документу “Інструкція по проведенню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту”: Звіт про НДР (проміжний) / НВФ “Зонд”. - № держреєстрації 0195U008513. – Івано-Франківськ, 1995. – 55 с.
85. «Розробка, виготовлення та впровадження експериментального зразка комплексної установки неруйнівного контролю трубних колон при видобутку нафти. Звіт про НДР (проміжн.) / НВФ «Зонд». № ДР 0193U032812. - Івано-Франківськ, 1998. - 88 с.
86. Сароян А.Е. Теория и практика работы буровой колонны.– М.: Недра, 1990. – 263 с.
87. СТ СЭВ 545-77 Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений

88. Степура А.І., Карпаш О.М., Висков А.В. Идентификация параметров дефектов с применением специальных зондирующих сигналов // Материалы II Междунар. конф. «Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике», - Минск: - 1998. – С. 315-317.
89. Степура А.П., Вьюниченко В.Н., Загорулько В.С. Распространение ультразвуковых колебаний в стенке трубы при произвольной ориентации плоскости ввода преобразователя под углом к образующим //Труды Междунар. научн.-техн.конф. “Современные приборы, материалы и технологии для технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного оборудования. Элементная база и комплектующие приборов НК. Подготовка специалистов в сфере неразрушающего контроля и технической диагностики” . – Харьков: ХТУРЭ. - 1998. 484 с.
90. Субботин С.С. Дефектоскопия нефтяного оборудования. – М.: Недра, 1975
91. Сунцов М.М. Система нормативных документов по неразрушающему контролю // Неразрушающий контроль. - 1999. - № 1. - С. 24 - 31
92. Суригала Я., Пухович О., Братичак М. Значення нафти в паливно-енергетичній економіці// Нафтова і газова промисловість. 1999. - № 2. – С. 3 - 6.
93. Троїцький В.О., Загребельний В.І. Розробка технологій, методів і сучасних засобів технічної діагностики та неруйнівного контролю // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 1997. - № 4. - С. 8 – 12
94. Трубы нефтяного сортамента: Справочник / Под общей ред. А.Е.Сарояна. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 488 с.
95. ТУ-АФ-001Н-2000 Надання послуги “Атестація фахівців з неруйнівного контролю”. Технічні умови. – Івано-Франківськ: НВФ “Зонд”. – 2000.
96. ТУ-АФ-001П-2000 Послуга “Атестація фахівців з неруйнівного контролю”. Технічні умови. – Івано-Франківськ: НВФ “Зонд”. – 2000.
97. ТУ-НК-ТНС-001Н-99 Надання послуги “Неруйнівний контроль та технічна діагностика труб нафтового сортаменту”. Технічні умови.
98. ТУ-НК-ТНС-001П-99 Послуга “Неруйнівний контроль та технічна діагностика труб нафтового сортаменту”. Технічні умови. – Івано-Франківськ: НВФ “Зонд”.

– 1999 г. – 16 с.

99. Уваров В.И., Тароянц С.С., Кашеев Н.А. и др. Современные проблемы контроля бесшовных толстостенных труб на отечественных металлургических заводах //Дефектоскопия. – 1999. - № 8. – С. 78 - 85
100. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав. ред. И.П.Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
101. Ультразвуковой контроль материалов. Справочное издание. Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. - М.: Металлургия, 1991, 752 с.
102. Шевалдыкин В.Г. Способ адаптации к качеству поверхности изделий при ультразвуковой толщинометрии металлов. //Труды 14-й Рос. научн.-техн.конф. “Неразрушающий контроль и диагностика” . – М.: Изд-во МГУ, 1997. - С. 112
103. Шпагин Д.А., Марков А.А., Федоренко С.В., Шестаков А.И. Оптимизация углов ввода акустических колебаний при ультразвуковом контроле изделий сложной конфигурации //Труды 14-й Рос.научн.-техн.конф. “Неразрушающий контроль и диагностика”. – М.: Изд-во МГУ, 1997. - С. 103
104. Штарман С. Спектральные методы и ультразвуковое испытание. //Труды Междунар. научн.-техн.конф. “Современные приборы, материалы и технологии для технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного оборудования. Элементная база и комплектующие приборов НК. Подготовка специалистов в сфере неразрушающего контроля и технической диагностики” . – Харьков: ХТУРЭ. - 1998. С. 15 –21 .
105. Щербаков А.А., Данилов В.Н. Об использовании вероятностных критериев в методиках ультразвукового контроля оборудования // Дефектоскопия. № 5. - С. 60 - 67.
106. Щербинский В.Г. Влияние акустической прозрачности стохастического контактного слоя на выявляемость дефектов при ультразвуковом контроле // Труды Междунар. научн.-техн.конф. “Современные приборы, материалы и технологии для технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного оборудования. Элементная база и комплектующие приборов НК. Подготовка специалистов в сфере неразрушающего контроля и

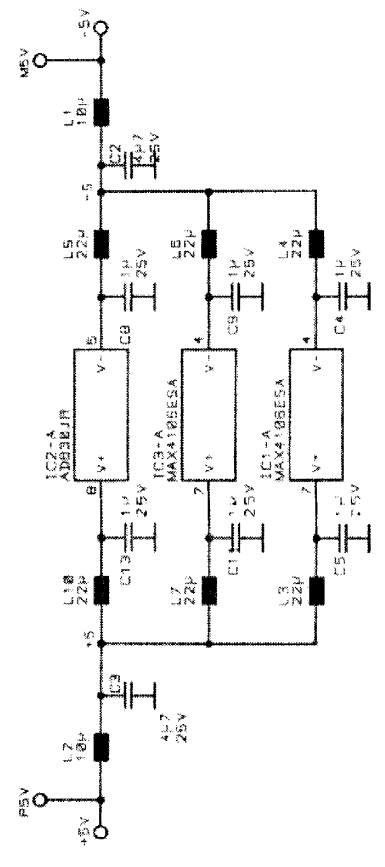
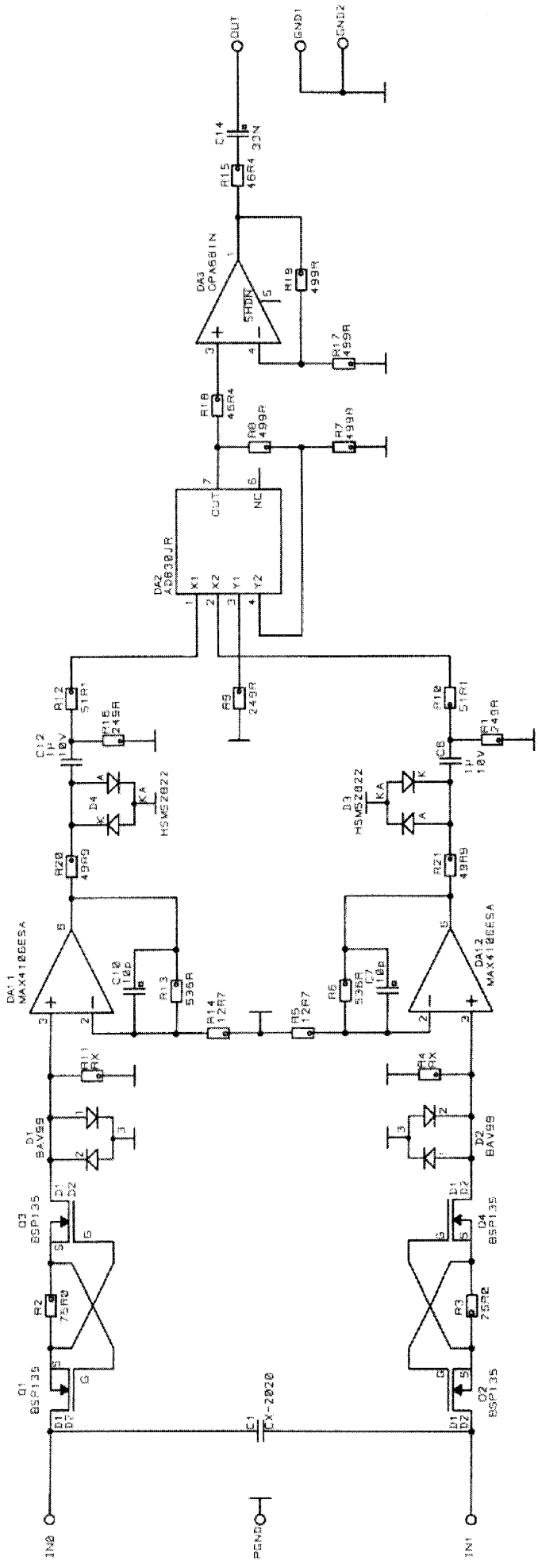
технической диагностики” . – Харьков: ХТУРЭ, 1998. - С. 167 –170.

107. Щербюк Н.Д., Якубовский Н.В. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей. – М.: Недра, 1974. – 265 с.
108. Эрлих Г.М. Эксплуатация бурильных труб. – М.: Недра, 1969. – 312 с
109. Яремійчук Р.С., Данилюк М.О., Загороднюк П.О. Про доцільність сервісного обслуговування процесу будівництва свердловин в Україні. //Збірн. наук. праць 6-ї Міжнар. наук.-практ. конф.”Нафта і газ України – 2000”. – Том 3. – Івано-Франківськ: Факел. - 2000. – С. 374
110. Bemus L.V., Kroning M., Regn J., Ermert H., Pokoph G. Detection and imaging of defects especially materials with small UT Transducers using broad-band holography. - Rev. of Progr. In Quant. Nondest.Eval., 1989, v. 8A, p. 575-581.
111. Bray, Don E., Stanley R.K.: Nondestructive evaluation: a tool for design, manufacturing, and service. New York: McGraw-Hill Book Company 1989
112. Ermert H., Karg R. Multifrequency acoustical holography. - IEEE Trans. Sonic a.. Ultras., 1979, SU-26, N 4, p. 279-286.
113. Fortunko, C.M., Schramm, R.E.: Evaluation of pipeline girth welds using low-frequency horizontally polarized waves. J. of Nondestructive Evaluation, Vol. 3, No. 3, 1982
114. Giacoletto L.J. (Ed): Electronics designers handbook. New York: McGraw-Hill Book Company 1977
115. Kawashima K. Experiments with two types of electromagnetic ultrasonic transducers. - J. Acoust. Soc. Amer., 1976, 60, №2, p. 365-373
116. Kawashima K., McClung R. Electromagnetic ultrasonic transducer for generating and detecting longitudinal waves (with a small amount of radially polarized transverse wave). - Mater. Eval., 1976, 34, №4, p.81-90
117. Krautkraemer, J., Krautkraemer, H.: Ultrasonic Testing of Materials. Second edition. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1977
118. Recommended Practice for Care and Use of Casing and Tubing. API recommended practice 5C1(RP 5C1), fifteenth edition, May 31, 1987

119. Rynone, W., Jr.: Linear active circuits-design and analysis. Dedham: Artech House 1986
120. Thurston, R.N., Pierce, Allan D. (Ed's.): Physical Acoustics. Ultrasonic Instruments and Devices II. Reference for modern instrumentation, techniques, and technology. San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press. Vol. XXIV: 1999
121. Viktorov, A.I.: Rayleigh and Lamb Waves. Physical Theory and Applications. New York: Plenum press 1967.
122. VITROVAC-6025Z. Tape-wound amorphous cores for Mag Amp Chokes. Data Sheet 00103. Vacuumschmelze GMBH & Co. KG.
123. Wandler fur Ultraschall Prufung. Mehrkanal Ultraschall Prufung System mit EMA-Wandler Einsatz "ElektroMagnetische UltraSchall - EMUS". Technische Daten. // Deutsche Fraunhofer Gesellschaft. Institute fur Zerstorungsfrei Prufverfahren (IZFP), 1998.

ДОДАТОК А

Принципова електрична схема вхідного підсилювача



ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Коефіцієнт підсилення по напрузі, к	-	40
Полоса пропускання, не гірше	-	85 МГц
Вхідний опір при відкритому вхідному ключі, не менше	-	1 МОм
Опір електронного ключа у відкритому стані, не більше	-	80 Ом
Захист вхідних каскадів від високої напруги, не менше	-	5 кВ
Час встановлення, не менше	-	35 нс
Максимальна швидкість наростання сигналу, не менше	-	275 В/мкс

Вхідний підсилювач являє собою високоомний відеопідсилювач диференційного сигналу з перетворенням його в однополярний відносно потенціалу "землі". Мікросхеми DA1.1, DA1.2 служать для підсилення вхідного диференційного сигналу по напрузі, з коефіцієнтом підсилення $k = 40$. Мікросхема DA2 - перетворює сигнал з диференційного в однополярний, а DA3 служить в якості повторювача сигналу для узгодження його з наступними каскадами.

З метою захисту вхідних ланок мікросхем DA1.1, DA1.2 від дії високої напруги в схему введено дві пари паралельних зустрічно включених діодів D1, D2 які відсікають (шунтують) на "землю" сигнал, амплітуда якого перевищує 0,3 В.

Оскільки в момент генерування УЗК генерувальною частиною ЕМАП в приймальному контурі виникає струм з амплітудою, порядку 1 кВ, що призводить до спрацювання діодів D1, D2, і, практично, шунтування приймального контура на "землю", амплітудно-частотні та резонансні характеристики приймального, а отже й генерувального контурів (оскільки це зв'язані контури) різко змінюються, що призводить до різкої зміни параметрів ЕМАП в цілому. З метою унеможливлення подібної ситуації в схему введено вхідні електронні ключі на елементах Q1-R2-Q3, Q2-R3-Q4.

ДОДАТОК Б

**Лист-підтвердження
про прийняття до розгляду заявки на патент
"Електромагніто-акустичний зносостійкий перетворювач лінійно-
поляризованої зсувової хвилі"
Європейським Патентним Бюро**



Fraunhofer-PST Leonrodstraße 68 D-80636 München

Herrn
Ing.-Phys. Oleksandr Viskov
Bruchwiesenanlage 4, 405-5

66125 Saarbrücken

Institutsleitung
Dr.-Ing. Manfred Paulus

Leonrodstraße 68
D-80636 München

Telefon +49 (0) 89 / 12 05-02

Florian Nierhaus
Telefon +49 (0) 89 / 12 05-405
Telefax +49 (0) 89 / 12 05-467
florian.nierhaus@pst.fraunhofer.de

Ihr Zeichen

Ihre Nachricht vom

Unsere Zeichen
02F41122-IZFP
NI/HW

München,
9. Oktober 2002

Ihre Erfindungsmeldung:

**Elektromagnetischer Ultraschall-
Senkrechtprüfkopf für linear polarisierte
Transversalwellen**

Eingangstag in der Patentabteilung:
PST-Fall-Nummer:

02.10.2002
02F41122-IZFP

Erklärung der Inanspruchnahme

Sehr geehrter Herr Viskov,

Ihren Anteil von 40,00 % an der Erfindung, wie sie in der genannten Erfindungsmeldung beschrieben ist, nehmen wir im Auftrag des Vorstandes der Fraunhofer-Gesellschaft gemäß §6 des Gesetzes über Arbeitnehmererfindungen vom 25.07.1957 **unbeschränkt in Anspruch**.

Damit sind alle Rechte an der Dienstleistung auf die Fraunhofer-Gesellschaft übergegangen.

Bitte bestätigen Sie uns den Erhalt der Inanspruchnahmeerklärung durch Rücksendung der unterschriebenen Empfangsbestätigung.

Mit freundlichen Grüßen


Dr. Helmut Schubert
Fraunhofer-Gesellschaft
Patentabteilung


Florian Nierhaus

Anlage: Empfangsbestätigung

cc: Dipl.-Ing. Siegfried Kraus, IZFP

Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft
Uni.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. em. Dr. h.c.
Hans-Jörg Bullinger, Präsident
Dr. rer. Pol. Alfred Gossner
Dr. jur. Dirk-Meints Pöller
Prof. Dr. Dennis Tschirtzis

PCT

ANTRAG

Der Unterzeichnete beantragt, daß die vorliegende internationale Anmeldung nach dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens behandelt wird.

Vom Anmeldeamt auszufüllen

Internationales Aktenzeichen

Internationales Anmeldedatum

Name des Anmeldeamts und "PCT International Application"

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts (falls gewünscht)
(max. 12 Zeichen)
F102R224PCT

Feld Nr. I BEZEICHNUNG DER ERFINDUNG

Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf

Feld Nr. II ANMELDER

Name und Anschrift: (Familiennamen, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e. V.
Hansastr. 27c
D-80686 München
DE

Diese Person ist
gleichzeitig Erfinder

Telefonnr.:

Telefaxnr.:

Fernschreibnr.:

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Feld Nr. III WEITERE ANMELDER UND/ODER (WEITERE) ERFINDER

Name und Anschrift: (Familiennamen, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

SALZBURGER, Hans-Jürgen
Zu den Grenzsteinen 41
D-66539 Neunkirchen
DE

Diese Person ist:

nur Anmelder

Anmelder und Erfinder

nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Weitere Anmelder und/oder (weitere) Erfinder sind auf einem Fortsetzungsblatt angegeben.

Feld Nr. IV ANWALT ODER GEMEINSAMER VERTRETER; ODER ZUSTELLANSCHRIFT

Die folgende Person wird hiermit bestellt/ist bestellt worden, um für den (die) Anmelder vor den zuständigen internationalen Behörden in folgender Eigenschaft zu handeln als: Anwalt gemeinsamer Vertreter

Name und Anschrift: (Familiennamen, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben.)

RÖSLER Uwe
Landsberger Str. 480a
D-81241 München
DE

Telefonnr.:
089/820 4771 20

Telefaxnr.:
089/820 4771 21

Fernschreibnr.:

Zustellanschrift: Dieses Kästchen ist anzukreuzen, wenn kein Anwalt oder gemeinsamer Vertreter bestellt ist und statt dessen im obigen Feld eine spezielle Zustellanschrift angegeben ist.

Fortsetzung von Feld Nr. III WEITERE ANMELDER UND/ODER (WEITERE) ERFINDER

Wird keines der folgenden Felder benutzt, so sollte dieses Blatt dem Antrag nicht beigelegt werden.

Name und Anschrift: *(Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)*

VISKOV Alexander
Bruchwiesenanlage 4, 405/5
D-66125 Saarbrücken
DE

Diese Person ist:

- nur Anmelder
 Anmelder und Erfinder
 nur Erfinder *(Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)*

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Name und Anschrift: *(Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)*

Diese Person ist:

- nur Anmelder
 Anmelder und Erfinder
 nur Erfinder *(Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)*

Staatsangehörigkeit (Staat):

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Name und Anschrift: *(Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)*

Diese Person ist:

- nur Anmelder
 Anmelder und Erfinder
 nur Erfinder *(Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)*

Staatsangehörigkeit (Staat):

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Name und Anschrift: *(Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)*

Diese Person ist:

- nur Anmelder
 Anmelder und Erfinder
 nur Erfinder *(Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)*

Staatsangehörigkeit (Staat):

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Weitere Anmelder und/oder (weitere) Erfinder sind auf einem zusätzlichen Fortsetzungsblatt angegeben.

Feld Nr. V BESTIMMUNG VON STAATEN

Die folgenden Bestimmungen nach Regel 4.9 Absatz a werden hiermit vorgenommen (*bitte die entsprechenden Kästchen ankreuzen; wenigstens ein Kästchen muß angekreuzt werden*):

Regionales Patent

- AP ARIPO-Patent:** GH Ghana, GM Gambia, KE Kenia, LS Lesotho, MW Malawi, SD Sudan, SL Sierra Leone, SZ Swasiland, TZ Vereinigte Republik Tansania, UG Uganda, ZW Simbabwe und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Harare-Protokolls und des PCT ist
- EA Eurasisches Patent:** AM Armenien, AZ Aserbaidshan, BY Belarus, KG Kirgisistan, KZ Kasachstan, MD Republik Moldau, RU Russische Föderation, TJ Tadschikistan, TM Turkmenistan und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- EP Europäisches Patent:** AT Österreich, BE Belgien, CH und LI Schweiz und Liechtenstein, CY Zypern, DE Deutschland, DK Dänemark, ES Spanien, FI Finnland, FR Frankreich, GB Vereinigtes Königreich, GR Griechenland, IE Irland, IT Italien, LU Luxemburg, MC Monaco, NL Niederlande, PT Portugal, SE Schweden und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- OA OAPI-Patent:** BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Zentralafrikanische Republik, CG Kongo, CI Côte d'Ivoire, CM Kamerun, GA Gabun, GN Guinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauretanien, NE Niger, SN Senegal, TD Tschad, TG Togo und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat der OAPI und des PCT ist (*falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben*)

Nationales Patent (*falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben*):

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> AE Vereinigte Arabische Emirate <input type="checkbox"/> AL Albanien <input type="checkbox"/> AM Armenien <input type="checkbox"/> AT Österreich <input type="checkbox"/> AU Australien <input type="checkbox"/> AZ Aserbaidshan <input type="checkbox"/> BA Bosnien-Herzegowina <input type="checkbox"/> BB Barbados <input type="checkbox"/> BG Bulgarien <input type="checkbox"/> BR Brasilien <input type="checkbox"/> BY Belarus <input checked="" type="checkbox"/> CA Kanada <input type="checkbox"/> CH und LI Schweiz und Liechtenstein <input type="checkbox"/> CN China <input type="checkbox"/> CR Costa Rica <input type="checkbox"/> CU Kuba <input type="checkbox"/> CZ Tschechische Republik <input type="checkbox"/> DE Deutschland <input type="checkbox"/> DK Dänemark <input type="checkbox"/> DM Dominica <input type="checkbox"/> EE Estland <input type="checkbox"/> ES Spanien <input type="checkbox"/> FI Finnland <input type="checkbox"/> GB Vereinigtes Königreich <input type="checkbox"/> GD Grenada <input type="checkbox"/> GE Georgien <input type="checkbox"/> GH Ghana <input type="checkbox"/> GM Gambia <input type="checkbox"/> HR Kroatien <input type="checkbox"/> HU Ungarn <input type="checkbox"/> ID Indonesien <input type="checkbox"/> IL Israel <input type="checkbox"/> IN Indien <input type="checkbox"/> IS Island <input type="checkbox"/> JP Japan <input type="checkbox"/> KE Kenia <input type="checkbox"/> KG Kirgisistan <input type="checkbox"/> KP Demokratische Volksrepublik Korea <input type="checkbox"/> KR Republik Korea <input type="checkbox"/> KZ Kasachstan <input type="checkbox"/> LC Saint Lucia <input type="checkbox"/> LK Sri Lanka | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> LR Liberia <input type="checkbox"/> LS Lesotho <input type="checkbox"/> LT Litauen <input type="checkbox"/> LU Luxemburg <input type="checkbox"/> LV Lettland <input type="checkbox"/> MA Marokko <input type="checkbox"/> MD Republik Moldau <input type="checkbox"/> MG Madagaskar <input type="checkbox"/> MK Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien <input type="checkbox"/> MN Mongolei <input type="checkbox"/> MW Malawi <input type="checkbox"/> MX Mexiko <input type="checkbox"/> NO Norwegen <input type="checkbox"/> NZ Neuseeland <input type="checkbox"/> PL Polen <input type="checkbox"/> PT Portugal <input type="checkbox"/> RO Rumänien <input type="checkbox"/> RU Russische Föderation <input type="checkbox"/> SD Sudan <input type="checkbox"/> SE Schweden <input type="checkbox"/> SG Singapur <input type="checkbox"/> SI Slowenien <input type="checkbox"/> SK Slowakei <input type="checkbox"/> SL Sierra Leone <input type="checkbox"/> TJ Tadschikistan <input type="checkbox"/> TM Turkmenistan <input type="checkbox"/> TR Türkei <input type="checkbox"/> TT Trinidad und Tobago <input type="checkbox"/> TZ Vereinigte Republik Tansania <input type="checkbox"/> UA Ukraine <input type="checkbox"/> UG Uganda <input checked="" type="checkbox"/> US Vereinigte Staaten von Amerika <input type="checkbox"/> UZ Usbekistan <input type="checkbox"/> VN Vietnam <input type="checkbox"/> YU Jugoslawien <input type="checkbox"/> ZA Südafrika <input type="checkbox"/> ZW Simbabwe |
|--|---|

Kästchen für die Bestimmung von Staaten, die dem PCT nach der Veröffentlichung dieses Formblatts beigetreten sind:

-
-

Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen: Zusätzlich zu den oben genannten Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der im Zusatzfeld genannten Bestimmungen, die von dieser Erklärung ausgenommen sind. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt. (*Die Bestätigung (einschließlich der Gebühren) muß beim Anmeldeamt innerhalb der Frist von 15 Monaten eingehen.*)

Feld Nr. VI PRIORITÄTSANSPRUCH		<input type="checkbox"/> Weitere Prioritätsansprüche sind im Zusatzfeld angegeben.		
Anmeldedatum der früheren Anmeldung (Tag/Monat/Jahr)	Aktenzeichen der früheren Anmeldung	Ist die frühere Anmeldung eine:		
		nationale Anmeldung: Staat	regionale Anmeldung:* regionales Amt	internationale Anmeldung: Anmeldeamt
Zeile (1) 19. Dezember 2002 (19.12.2002)	102 59 409.0	DE		
Zeile (2)				
Zeile (3)				

Das Anmeldeamt wird ersucht, eine beglaubigte Abschrift der oben in der (den) Zeile(n) _____ bezeichneten früheren Anmeldung(en) zu erstellen und dem internationalen Büro zu übermitteln (nur falls die frühere Anmeldung(en) bei dem Amt eingereicht worden ist(sind), das für die Zwecke dieser internationalen Anmeldung Anmeldeamt ist)

* Falls es sich bei der früheren Anmeldung um eine ARIPO-Anmeldung handelt, so muß in dem Zusatzfeld mindestens ein Staat angegeben werden, der Mitgliedstaat der Pariser Verbandsübereinkunft zum Schutz des gewerblichen Eigentums ist und für den die frühere Anmeldung eingereicht wurde.

Feld Nr. VII INTERNATIONALE RECHERCHENBEHÖRDE

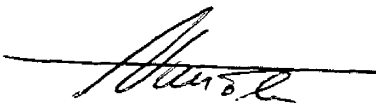
Wahl der internationalen Recherchenbehörde (ISA) (falls zwei oder mehr als zwei internationale Recherchenbehörden für die Ausführung der internationalen Recherche zuständig sind, geben Sie die von Ihnen gewählte Behörde an; der Zweibuchstaben-Code kann benutzt werden):	Antrag auf Nutzung der Ergebnisse einer früheren Recherche; Bezugnahme auf diese frühere Recherche (falls eine frühere Recherche bei der internationalen Recherchenbehörde beantragt oder von ihr durchgeführt worden ist):
ISA /	Datum (Tag/Monat/Jahr) Aktenzeichen Staat (oder regionales Amt)

Feld Nr. VIII KONTROLLISTE; EINREICHUNGSSPRACHE

Diese internationale Anmeldung enthält die folgende Anzahl von Blättern:	Dieser internationalen Anmeldung liegen die nachstehend angekreuzten Unterlagen bei:
Antrag : 4	1. <input checked="" type="checkbox"/> Blatt für die Gebührenberechnung
Beschreibung (ohne Sequenzprotokollteil) : 12	2. <input type="checkbox"/> Gesonderte unterzeichnete Vollmacht
Ansprüche : 3	3. <input type="checkbox"/> Kopie der allgemeinen Vollmacht; Aktenzeichen (falls vorhanden):
Zusammenfassung : 1	4. <input type="checkbox"/> Begründung für das Fehlen einer Unterschrift
Zeichnungen : 2	5. <input type="checkbox"/> Prioritätsbeleg(e), in Feld Nr. VI durch folgende Zeilennummer gekennzeichnet:
Sequenzprotokollteil der Beschreibung :	6. <input type="checkbox"/> Übersetzung der internationalen Anmeldung in die folgende Sprache:
Blattzahl insgesamt : 22	7. <input type="checkbox"/> Gesonderte Angaben zu hinterlegten Mikroorganismen oder anderem biologischen Material
	8. <input type="checkbox"/> Protokoll der Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenzen in computerlesbarer Form
	9. <input checked="" type="checkbox"/> Sonstige (einzeln auflisten): Scheck Nr. 60146236
Abbildung der Zeichnungen, die mit der Zusammenfassung veröffentlicht werden soll (Nr.):	Sprache, in der die internationale Anmeldung deutsch eingereicht wird:

Feld Nr. IX UNTERSCHRIFT DES ANMELDERS ODER DES ANWALTS

Der Name jeder unterzeichnenden Person ist neben der Unterschrift zu wiederholen, und es ist anzugeben, sofern sich dies nicht eindeutig aus dem Antrag ergibt, in welcher Eigenschaft die Person unterzeichnet.


(Uwe Rösler)

Vom Anmeldeamt auszufüllen

1. Datum des tatsächlichen Eingangs dieser internationalen Anmeldung:	2. Zeichnungen <input type="checkbox"/> eingegangen: <input type="checkbox"/> nicht eingegangen:
3. Geändertes Eingangsdatum aufgrund nachträglich, jedoch fristgerecht eingegangener Unterlagen oder Zeichnungen zur Vervollständigung dieser internationalen Anmeldung:	
4. Datum des fristgerechten Eingangs der angeforderten Richtigstellungen nach Artikel 11(2) PCT:	
5. Internationale Recherchenbehörde (falls zwei oder mehr zuständig sind): ISA/	6. <input type="checkbox"/> Übermittlung des Recherchenexemplars bis zur Zahlung der Recherchegebühr aufgeschoben

Vom Internationalen Büro auszufüllen

Datum des Eingangs des Aktenexemplars beim Internationalen Büro:
--

Rösler Patentanwaltskanzlei

urpatent®

Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren
- z. Hd. Herrn Kraus -
Universität Gebäude 37

66123 Saarbrücken

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.*

Patentanwälte,
European Patent Attorneys,
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120
Telefax: +49/(0)89/820 477 121
email: ur@urpatent.com
12.12.2003, Rö/He

Internationale Patentanmeldung PCT/EP03/13856

Anmelder: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten
Forschung e. V., Hansastr. 27c, 80686 München
Bezeichnung: Elektromagnetischer Ultraschallprüfkopf
Unser Zeichen: F102R224PCT
Ihr Zeichen: 02F41122-IZFP

Sehr geehrter Herr Kraus,

Bezug nehmend auf mein Schreiben an Sie vom 03.12.2003 übersende ich Ihnen in der Anlage die offizielle Empfangsbescheinigung für die obengenannte Patentanmeldung. Aus der Empfangsbescheinigung gehen das amtliche Aktenzeichen sowie die Bestätigung des Anmeldetages hervor:

amtliches Aktenzeichen: PCT/EP03/13856

Anmeldetag: 06.12.2003.

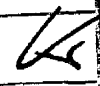
U. H. Saarbrücken
H. Viskov

Sobald sich in dieser Angelegenheit etwas Neues ergibt, werde ich Ihnen wieder berichten.

Mit freundlichen Grüßen


Uwe Rösler

Anlage: wie erwähnt

Angelegenheit	40112	
Kategorie	LS	
Eingang	15. DEZ. 2003 	
Anwort	Termin	Rückspr.
Ablage	WV	n. ALB

089 / 2399 - 0
Tx 523 656 epmu d
Fax 089 / 2399 - 4465

EPA / EPO / OEB : D-80298 München

Rösler, Uwe
Landsberger Str. 480a
D-81241 München

EINGEGANGEN

am 1. Dez. 2003

Nr. der Anmeldung / Application No. / Demande de brevet no PCT/EP 03 / 133 56
Tag des Eingangs / Date of receipt / Date de réception 06.12.2003
Zeichen des Anmelders / Vertreter - Applicant / Representative ref. no. - Référence du demandeur ou du mandataire F102R224PCT

Anmelder / Applicant / Demandeur : **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der ...** Datum / Date **08.12.03**

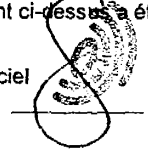
Empfangsbescheinigung / Receipt for documents / Récépissé de documents

Das Europäische Patentamt bescheinigt hiermit den Empfang folgender Dokumente:
The European Patent Office hereby acknowledges the receipt of the following:
L'Office européen des brevets accuse réception des documents indiqués ci-dessous:

A.	Internationale Anmeldung / International application / Demande internationale	Stückzahl / No. of copies / Nombre d'exemplaires		
<input checked="" type="checkbox"/>	Antrag / Request / Requête	1	<input type="checkbox"/>	Kopie der allgemeinen Vollmacht Copy of general power of attorney Copie du pouvoir général
<input checked="" type="checkbox"/>	Beschreibung (ohne Sequenzprotokollteil) Description (excluding sequence listing part) Description (sauf partie réservée au listage des séquences	3	<input type="checkbox"/>	Prioritätsbeleg(e) Priority document(s) Document(s) de priorité
<input checked="" type="checkbox"/>	Patentansprüche / Claim(s) / Revendication(s)	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Blatt für die Gebührenberechnung Fee calculation sheet Feuille de calcul des taxes
<input checked="" type="checkbox"/>	Zusammenfassung / Abstract / Abrégé	3	<input type="checkbox"/>	Abbuchungsauftrag Debit order Ordre de débit
<input checked="" type="checkbox"/>	Zeichnung(en) / Drawing(s) / Dessin(s)	3		Währung/Currency/Monnaie Betrag/Amount/Montant
<input type="checkbox"/>	Sequenzprotokollteil der Beschreibung Sequence listing part of description Partie de la description réservée au listage des séquences		<input checked="" type="checkbox"/>	Scheck Cheque Chèque
<input type="checkbox"/>	Diskette / Disquette		<input type="checkbox"/>	Sonstige Unterlagen (einzeln auflisten) Other documents (specify) Autres documents (préciser)
	Beigefügte Dokumente / Accompanying documents / Eléments joints			1.777,00 Ausfüllung freigestellt / Optional / facultatif
<input type="checkbox"/>	Gesonderte unterzeichnete Vollmacht Separate signed power of attorney Pouvoir distinct signé	0		

Die genannten Unterlagen sind am oben genannten Tag eingegangen. Die in der Kontrollliste (Feld VIII) des PCT-Antragformulars RO/101 angegebenen Blattzahlen wurden bei Eingang nicht geprüft. Die Anmeldung hat ebenfalls oben angeführte Anmeldenummer erhalten / The items were received on the date indicated above. No check was made on receipt that the number of sheets indicated in the check list (field VIII) of the PCT Request Form RO/101 were correct. The application has been assigned the above-indicated application number / Les documents mentionnés ont été reçus à la date indiquée. L'exactitude du nombre de feuilles indiqué au bordereau (cadre VIII) du formulaire de requête PCT RO/101 n'a pas été contrôlée lors du dépôt. Le numéro figurant ci-dessus a été attribué à la demande de brevet.

Unterschrift / Amtsstempel / Signature / Official Stamp / Signature / Cachet officiel


 European Patent Office
 Office européen des brevets
 D-80298 München
G. Wagner

ДОДАТОК В

**Лист-підтвердження
про прийняття до розгляду заявки на патент
"Електромагніто-акустичний зносостійкий перетворювач
горизонтально-поляризованої зсувової хвилі
з феромагнітними магнітопроводами"
Європейським Патентним Бюро**



Fraunhofer Patentstelle für die
Deutsche Forschung

Fraunhofer-PST, Leonrodstraße 68, D-80636 München

Herrn
Ing.-Phys. Oleksandr Viskov
Bruchwiesenanlage 4, 405-5

66125 Saarbrücken

Institutsleitung
Dr.-Ing. Manfred Paulus

Leonrodstraße 68
D-80636 München

Telefon +49 (0) 89 / 12 05-02

Florian Nierhaus
Telefon +49 (0) 89 / 12 05-405
Telefax +49 (0) 89 / 12 05-467
florian.nierhaus@pst.fraunhofer.de

Ihr Zeichen

Ihre Nachricht vom

Unsere Zeichen
02F41121-IZFP
NI/HW

München,
10. Oktober 2002

Ihre Erfindungsmeldung:

**Elektromagnetische SH-Wellen-Wandler mit
ferromagnetischen Flußleitstücken**

Eingangstag in der Patentabteilung:

02.10.2002

PST-Fall-Nummer:

02F41121-IZFP

Erklärung der Inanspruchnahme

Sehr geehrter Herr Viskov,

Ihren Anteil von 10,00 % an der Erfindung, wie sie in der genannten Erfindungsmeldung beschrieben ist, nehmen wir im Auftrag des Vorstandes der Fraunhofer-Gesellschaft gemäß §6 des Gesetzes über Arbeitnehmererfindungen vom 25.07.1957 **unbeschränkt in Anspruch**.

Damit sind alle Rechte an der Diensterfindung auf die Fraunhofer-Gesellschaft übergegangen.

Bitte bestätigen Sie uns den Erhalt der Inanspruchnahmeerklärung durch Rücksendung der unterschriebenen Empfangsbestätigung.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Heimit Schubert
Fraunhofer-Gesellschaft
Patentabteilung

Florian Nierhaus

Anlage: Empfangsbestätigung

cc: Dipl.-Ing. Siegfried Kraus, IZFP

Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e. h. Dr. h. c.
Hans-Jörg Bullinger, Präsident
Dr. rer. Pol. Alfred Gossner
Dr. jur. Dirk-Joelents Polter
Prof. Dr. Dennis Tschirtz

PCT

ANTRAG

Der Unterzeichnete beantragt, daß die vorliegende internationale Anmeldung nach dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens behandelt wird.

Vom Anmeldeamt auszufüllen

Internationales Aktenzeichen

Internationales Anmeldedatum

Name des Anmeldeamts und "PCT International Application"

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts (falls gewünscht)
(max. 12 Zeichen) F102R223PCT

Feld Nr. I BEZEICHNUNG DER ERFINDUNG

Elektromagnetischer Ultraschallwandler

Feld Nr. II ANMELDER

Name und Anschrift: (Familiennamen, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Hansastr. 27c
D-80686 München
DE

Diese Person ist gleichzeitig Erfinder

Telefonnr.:

Telefaxnr.:

Fernschreibnr.:

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Feld Nr. III WEITERE ANMELDER UND/ODER (WEITERE) ERFINDER

Name und Anschrift: (Familiennamen, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

HÜBSCHEN, Gerhard
Lorisingartenstr. 11
D-66740 Saarlouis
DE

Diese Person ist:

nur Anmelder

Anmelder und Erfinder

nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Weitere Anmelder und/oder (weitere) Erfinder sind auf einem Fortsetzungsblatt angegeben.

Feld Nr. IV ANWALT ODER GEMEINSAMER VERTRETER; ODER ZUSTELLANSCHRIFT

Die folgende Person wird hiermit bestellt/ist bestellt worden, um für den (die) Anmelder vor den zuständigen internationalen Behörden in folgender Eigenschaft zu handeln als: Anwalt gemeinsamer Vertreter

Name und Anschrift: (Familiennamen, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben.)

RÖSLER, Uwe
Landsberger Str. 480a
D-81241 München
DE

Telefonnr.:
089/820 4771 20

Telefaxnr.:
089/820 4771 21

Fernschreibnr.:

Zustellanschrift: Dieses Kästchen ist anzukreuzen, wenn kein Anwalt oder gemeinsamer Vertreter bestellt ist und statt dessen im obigen Feld eine spezielle Zustellanschrift angegeben ist.

Fortsetzung von Feld Nr. III WEITERE ANMELDER UND/ODER (WEITERE) ERFINDER

Wird keines der folgenden Felder benutzt, so sollte dieses Blatt dem Antrag nicht beigelegt werden.

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

NIESE, Frank
Marktstr. 6
D-66125 Saarbrücken
DE

Diese Person ist:

- nur Anmelder
- Anmelder und Erfinder
- nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

VISKOV, Alexander
Bruchwiesenanlage 4, 405-5
D-66125 Saarbrücken
DE

Diese Person ist:

- nur Anmelder
- Anmelder und Erfinder
- nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):
DE

Sitz oder Wohnsitz (Staat):
DE

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

Diese Person ist:

- nur Anmelder
- Anmelder und Erfinder
- nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Name und Anschrift: (Familienname, Vorname; bei juristischen Personen vollständige amtliche Bezeichnung. Bei der Anschrift sind die Postleitzahl und der Name des Staats anzugeben. Der in diesem Feld in der Anschrift angegebene Staat ist der Staat des Sitzes oder Wohnsitzes des Anmelders, sofern nachstehend kein Staat des Sitzes oder Wohnsitzes angegeben ist.)

Diese Person ist:

- nur Anmelder
- Anmelder und Erfinder
- nur Erfinder (Wird dieses Kästchen angekreuzt, so sind die nachstehenden Angaben nicht nötig.)

Staatsangehörigkeit (Staat):

Sitz oder Wohnsitz (Staat):

Diese Person ist Anmelder für folgende Staaten: alle Bestimmungsstaaten alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme der Vereinigten Staaten von Amerika nur die Vereinigten Staaten von Amerika die im Zusatzfeld angegebenen Staaten

Weitere Anmelder und/oder (weitere) Erfinder sind auf einem zusätzlichen Fortsetzungsblatt angegeben.

Feld Nr. V BESTIMMUNG VON STAATEN

Die folgenden Bestimmungen nach Regel 4.9 Absatz a werden hiermit vorgenommen (*bitte die entsprechenden Kästchen ankreuzen; wenigstens ein Kästchen muß angekreuzt werden*):

Regionales Patent

- AP ARIPO-Patent:** GH Ghana, GM Gambia, KE Kenia, LS Lesotho, MW Malawi, SD Sudan, SL Sierra Leone, SZ Swasiland, TZ Vereinigte Republik Tansania, UG Uganda, ZW Simbabwe und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Harare-Protokolls und des PCT ist
- EA Eurasisches Patent:** AM Armenien, AZ Aserbaidtschan, BY Belarus, KG Kirgisistan, KZ Kasachstan, MD Republik Moldau, RU Russische Föderation, TJ Tadschikistan, TM Turkmenistan und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- EP Europäisches Patent:** AT Österreich, BE Belgien, CH und LI Schweiz und Liechtenstein, CY Zypern, DE Deutschland, DK Dänemark, ES Spanien, FI Finnland, FR Frankreich, GB Vereinigtes Königreich, GR Griechenland, IE Irland, IT Italien, LU Luxemburg, MC Monaco, NL Niederlande, PT Portugal, SE Schweden und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- OA OAPI-Patent:** BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Zentralafrikanische Republik, CG Kongo, CI Côte d'Ivoire, CM Kamerun, GA Gabun, GN Guinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauretanien, NE Niger, SN Senegal, TD Tschad, TG Togo und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat der OAPI und des PCT ist (*falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben*)

Nationales Patent (*falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben*):

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> AE Vereinigte Arabische Emirate | <input checked="" type="checkbox"/> LR Liberia |
| <input checked="" type="checkbox"/> AL Albanien | <input checked="" type="checkbox"/> LS Lesotho |
| <input checked="" type="checkbox"/> AM Armenien | <input checked="" type="checkbox"/> LT Litauen |
| <input checked="" type="checkbox"/> AT Österreich | <input checked="" type="checkbox"/> LU Luxemburg |
| <input checked="" type="checkbox"/> AU Australien | <input checked="" type="checkbox"/> LV Lettland |
| <input checked="" type="checkbox"/> AZ Aserbaidtschan | <input checked="" type="checkbox"/> MA Marokko |
| <input checked="" type="checkbox"/> BA Bosnien-Herzegowina | <input checked="" type="checkbox"/> MD Republik Moldau |
| <input checked="" type="checkbox"/> BB Barbados | <input checked="" type="checkbox"/> MG Madagaskar |
| <input checked="" type="checkbox"/> BG Bulgarien | <input checked="" type="checkbox"/> MK Die ehemalige jugoslawische Republik
Mazedonien |
| <input checked="" type="checkbox"/> BR Brasilien | <input checked="" type="checkbox"/> MN Mongolei |
| <input checked="" type="checkbox"/> BY Belarus | <input checked="" type="checkbox"/> MW Malawi |
| <input checked="" type="checkbox"/> CA Kanada | <input checked="" type="checkbox"/> MX Mexiko |
| <input checked="" type="checkbox"/> CH und LI Schweiz und Liechtenstein | <input checked="" type="checkbox"/> NO Norwegen |
| <input checked="" type="checkbox"/> CN China | <input checked="" type="checkbox"/> NZ Neuseeland |
| <input checked="" type="checkbox"/> CR Costa Rica | <input checked="" type="checkbox"/> PL Polen |
| <input checked="" type="checkbox"/> CU Kuba | <input checked="" type="checkbox"/> PT Portugal |
| <input checked="" type="checkbox"/> CZ Tschechische Republik | <input checked="" type="checkbox"/> RO Rumänien |
| <input checked="" type="checkbox"/> DE Deutschland | <input checked="" type="checkbox"/> RU Russische Föderation |
| <input checked="" type="checkbox"/> DK Dänemark | <input checked="" type="checkbox"/> SD Sudan |
| <input checked="" type="checkbox"/> DM Dominica | <input checked="" type="checkbox"/> SE Schweden |
| <input checked="" type="checkbox"/> EE Estland | <input checked="" type="checkbox"/> SG Singapur |
| <input checked="" type="checkbox"/> ES Spanien | <input checked="" type="checkbox"/> SI Slowenien |
| <input checked="" type="checkbox"/> FI Finnland | <input checked="" type="checkbox"/> SK Slowakei |
| <input checked="" type="checkbox"/> GB Vereinigtes Königreich | <input checked="" type="checkbox"/> SL Sierra Leone |
| <input checked="" type="checkbox"/> GD Grenada | <input checked="" type="checkbox"/> TJ Tadschikistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> GE Georgien | <input checked="" type="checkbox"/> TM Turkmenistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> GH Ghana | <input checked="" type="checkbox"/> TR Türkei |
| <input checked="" type="checkbox"/> GM Gambia | <input checked="" type="checkbox"/> TT Trinidad und Tobago |
| <input checked="" type="checkbox"/> HR Kroatien | <input checked="" type="checkbox"/> TZ Vereinigte Republik Tansania |
| <input checked="" type="checkbox"/> HU Ungarn | <input checked="" type="checkbox"/> UA Ukraine |
| <input checked="" type="checkbox"/> ID Indonesien | <input checked="" type="checkbox"/> UG Uganda |
| <input checked="" type="checkbox"/> IL Israel | <input checked="" type="checkbox"/> US Vereinigte Staaten von Amerika |
| <input checked="" type="checkbox"/> IN Indien | |
| <input checked="" type="checkbox"/> IS Island | |
| <input checked="" type="checkbox"/> JP Japan | <input checked="" type="checkbox"/> UZ Usbekistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> KE Kenia | <input checked="" type="checkbox"/> VN Vietnam |
| <input checked="" type="checkbox"/> KG Kirgisistan | <input checked="" type="checkbox"/> YU Jugoslawien |
| <input checked="" type="checkbox"/> KP Demokratische Volksrepublik Korea | <input checked="" type="checkbox"/> ZA Südafrika |
| | <input checked="" type="checkbox"/> ZW Simbabwe |
| <input checked="" type="checkbox"/> KR Republik Korea | Kästchen für die Bestimmung von Staaten, die dem PCT nach der
Veröffentlichung dieses Formblatts beigetreten sind: |
| <input checked="" type="checkbox"/> KZ Kasachstan | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> LC Saint Lucia | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> LK Sri Lanka | |

Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen: Zusätzlich zu den oben genannten Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der im Zusatzfeld genannten Bestimmungen, die von dieser Erklärung ausgenommen sind. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt. (*Die Bestätigung (einschließlich der Gebühren) muß beim Anmeldeamt innerhalb der Frist von 15 Monaten eingehen.*)

Anmeldedatum der früheren Anmeldung (Tag/Monat/Jahr)	Aktenzeichen der früheren Anmeldung	Ist die frühere Anmeldung eine:		
		ationale Anmeldung: Staat	regionale Anmeldung: * regionales Amt	internationale Anmeldung: Anmeldeamt
Zeile (1) 20. Dezember 2002 (20.12.2002)	102 59 891.6	DE		
Zeile (2)				
Zeile (3)				

Das Anmeldeamt wird ersucht, eine beglaubigte Abschrift der oben in der (den) Zeile(n) _____ bezeichneten früheren Anmeldung(en) zu erstellen und dem internationalen Büro zu übermitteln (nur falls die frühere Anmeldung(en) bei dem Amt eingereicht worden ist(sind), das für die Zwecke dieser internationalen Anmeldung Anmeldeamt ist)

* Falls es sich bei der früheren Anmeldung um eine ARIPO-Anmeldung handelt, so muß in dem Zusatzfeld mindestens ein Staat angegeben werden, der Mitgliedstaat der Pariser Verbandsübereinkunft zum Schutz des gewerblichen Eigentums ist und für den die frühere Anmeldung eingereicht wurde.

Feld Nr. VII INTERNATIONALE RECHERCHENBEHÖRDE

Wahl der internationalen Recherchenbehörde (ISA) (falls zwei oder mehr als zwei internationale Recherchenbehörden für die Ausführung der internationalen Recherche zuständig sind, geben Sie die von Ihnen gewählte Behörde an; der Zweibuchstaben-Code kann benutzt werden):	Antrag auf Nutzung der Ergebnisse einer früheren Recherche; Bezugnahme auf diese frühere Recherche (falls eine frühere Recherche bei der internationalen Recherchenbehörde beantragt oder von ihr durchgeführt worden ist):
SA /	Datum (Tag/Monat/Jahr) Aktenzeichen Staat (oder regionales Amt)

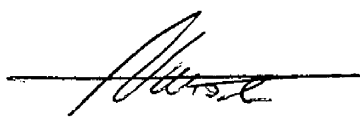
Feld Nr. VIII KONTROLLISTE; EINREICHUNGSSPRACHE

Diese internationale Anmeldung enthält die folgende Anzahl von Blättern:	Dieser internationalen Anmeldung liegen die nachstehend angekreuzten Unterlagen bei:
Antrag : 4	1. <input checked="" type="checkbox"/> Blatt für die Gebührenberechnung
Beschreibung (ohne Sequenzprotokollteil) : 14	2. <input type="checkbox"/> Gesonderte unterzeichnete Vollmacht
Ansprüche : 5	3. <input type="checkbox"/> Kopie der allgemeinen Vollmacht; Aktenzeichen (falls vorhanden):
Zusammenfassung : 1	4. <input type="checkbox"/> Begründung für das Fehlen einer Unterschrift
Zeichnungen : 7	5. <input type="checkbox"/> Prioritätsbeleg(e), in Feld Nr. VI durch folgende Zeilennummer gekennzeichnet:
Sequenzprotokollteil der Beschreibung :	6. <input type="checkbox"/> Übersetzung der internationalen Anmeldung in die folgende Sprache:
Blattzahl insgesamt : 31	7. <input type="checkbox"/> Gesonderte Angaben zu hinterlegten Mikroorganismen oder anderem biologischen Material
	8. <input type="checkbox"/> Protokoll der Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenzen in computerlesbarer Form
	9. <input checked="" type="checkbox"/> Sonstige (einzeln auführen): Scheck Nr. 60146237

Abbildung der Zeichnungen, die mit der Zusammenfassung veröffentlicht werden soll (Nr.):	Sprache, in der die internationale Anmeldung eingereicht wird:
	deutsch

Feld Nr. IX UNTERSCHRIFT DES ANMELDERS ODER DES ANWALTS

Der Name jeder unterzeichnenden Person ist neben der Unterschrift zu wiederholen, und es ist anzugeben, sofern sich dies nicht eindeutig aus dem Antrag ergibt, in welcher Eigenschaft die Person unterzeichnet.


(Uwe Rösler)

Vom Anmeldeamt auszufüllen

1. Datum des tatsächlichen Eingangs dieser internationalen Anmeldung:	2. Zeichnungen <input type="checkbox"/> eingegangen: <input type="checkbox"/> nicht eingegangen:
3. Geändertes Eingangsdatum aufgrund nachträglich, jedoch fristgerecht eingegangener Unterlagen oder Zeichnungen zur Vervollständigung dieser internationalen Anmeldung:	
4. Datum des fristgerechten Eingangs der angeforderten Richtigstellungen nach Artikel 11(2) PCT:	
5. Internationale Recherchenbehörde (falls zwei oder mehr zuständig sind): ISA /	6. <input type="checkbox"/> Übermittlung des Recherchenexemplars bis zur Zahlung der Recherchegebühr aufgeschoben

Vom Internationalen Büro auszufüllen

Datum des Eingangs des Aktenexemplars beim Internationalen Büro:
--

Rösler

Patentanwaltskanzlei

urpatent®

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren
- z. Hd. Herrn Kraus -
Universität Gebäude 37

66123 Saarbrücken

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.*

Patentanwälte,
European Patent Attorneys,
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120
Telefax: +49/(0)89/820 477 121
email: ur@urpatent.com
12.12.2003, Rös/He

Internationale - Patentanmeldung PCT/EP03/13857

Anmelder: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten
Forschung e. V., Hansastr. 27c, 80686 München
Bezeichnung: Elektromagnetischer Ultraschallwandler
Unser Zeichen: F102R223PCT
Ihr Zeichen: 02F41121-IZFP

Sehr geehrter Herr Kraus,

Bezug nehmend auf mein Schreiben an Sie vom 03.12.2003 übersende ich Ihnen in der Anlage die offizielle Empfangsbescheinigung für die obengenannte Patentanmeldung. Aus der Empfangsbescheinigung gehen das amtliche Aktenzeichen sowie die Bestätigung des Anmeldetages hervor:

amtliches Aktenzeichen: **PCT/EP03/13857**

Anmeldetag: **06.12.2003.**

Sobald sich in dieser Angelegenheit etwas Neues ergibt, werde ich Ihnen wieder berichten.

Mit freundlichen Grüßen


Uwe Rösler

φ H. Hübschen
H. Weise
H. Viskov

Anlage: wie erwähnt



✉ EPA / EPO / OEB
D - 80298 München
☎ 089 / 2399 - 0
Tx 523 656 epmu d
Fax 089 / 2399 - 4465

Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

EPA / EPO / OEB : D-80298 München

Rösler, Uwe
Landsberger Str. 480a
D-81241 München

EINGEGANGEN

am 1. Dez. 2003

Nr. der Anmeldung / Application No. / Demande de brevet no

PCT/EP 03 / 138 57

Tag des Eingangs / Date of receipt / Date de réception

06.12.2003

Zeichen des Anmelders / Vertreter - Applicant / Representative
ref. no. - Référence du demandeur ou du mandataire

F102R223PCT

Anmelder / Applicant / Demandeur : **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der ...** Datum / Date **08.12.03**

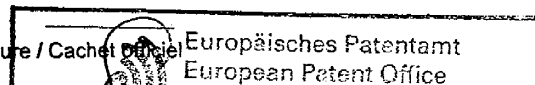
Empfangsbescheinigung / Receipt for documents / Récépissé de documents

Das Europäische Patentamt bescheinigt hiermit den Empfang folgender Dokumente:
The European Patent Office hereby acknowledges the receipt of the following:
L'Office européen des brevets accuse réception des documents indiqués ci-dessous:

A. Internationale Anmeldung / International application / Demande internationale	Stückzahl / No. of copies / Nombre d'exemplaires		
<input checked="" type="checkbox"/> Antrag / Request / Requête	1	<input type="checkbox"/> Kopie der allgemeinen Vollmacht Copy of general power of attorney / Copie du pouvoir général	
<input checked="" type="checkbox"/> Beschreibung (ohne Sequenzprotokollteil) Description (excluding sequence listing part) Description (sauf partie réservée au listage des séquences	3	<input type="checkbox"/> Prioritätsbeleg(e) Priority document(s) Document(s) de priorité	0
<input checked="" type="checkbox"/> Patentansprüche / Claim(s) / Revendication(s)	3	<input checked="" type="checkbox"/> Blatt für die Gebührenberechnung Fee calculation sheet Feuille de calcul des taxes	
<input checked="" type="checkbox"/> Zusammenfassung / Abstract / Abrégé	3	<input type="checkbox"/> Abbuchungsauftrag Debit order Ordre de débit	Währung/Currency/Mon Betrag/Amount/Montant
<input checked="" type="checkbox"/> Zeichnung(en) / Drawing(s) / Dessin(s)	3		
<input type="checkbox"/> Sequenzprotokollteil der Beschreibung Sequence listing part of description Partie de la description réservée au listage des séquences			1.979,00
<input type="checkbox"/> Diskette / Disquette		<input checked="" type="checkbox"/> Scheck Cheque Chèque	Ausfüllung freigestellt / Optional / facultatif
		<input type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen (einzeln auflühren) Other documents (specify) Autres documents (préciser)	
B. Beigefügte Dokumente / Accompanying documents / Eléments joints			
<input type="checkbox"/> Gesonderte unterzeichnete Vollmacht Separate signed power of attorney Pouvoir distinct signé	0		

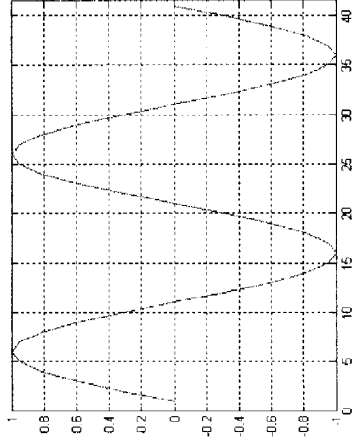
Die genannten Unterlagen sind am oben genannten Tag eingegangen. Die in der Kontrollliste (Feld VIII) des PCT-Antragformulars RO/10 angegebenen Blattzahlen wurden bei Eingang nicht geprüft. Die Anmeldung hat ebenfalls oben angeführte Anmeldenummer erhalten / The said items were received on the date indicated above. No check was made on receipt that the number of sheets indicated in the check list (box VIII) of the PCT Request Form RO/101 were correct. The application has been assigned the above-indicated application number / Les documents mentionnés ont été reçus à la date indiquée. L'exactitude du nombre de feuilles indiqué au bordereau (cadre VIII) du formulaire de requête PCT RO/101 n'a pas été contrôlée lors du dépôt. Le numéro figurant ci-dessus a été attribué à la demande de brevet.

Unterschrift / Amtsstempel / Signature / Official Stamp / Signature / Cachet officiel

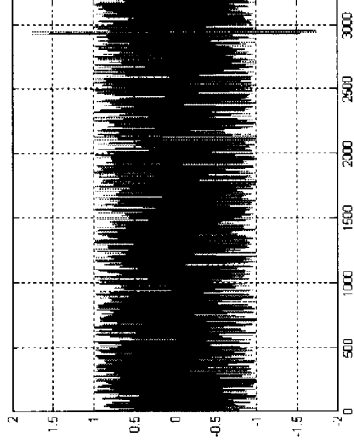


ДОДАТОК Г

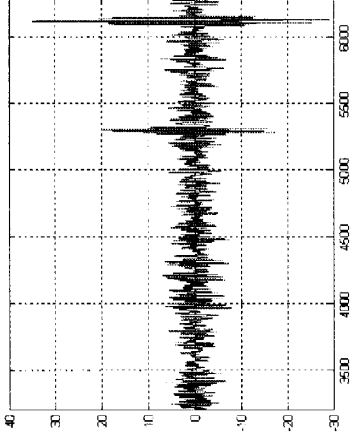
Результати експериментальних досліджень з використання фазомодульованих сигналів, кодованих за кодом Баркера, для підвищення чутливості ЕМАП та покращення завадостійкості електро-акустичного тракту акустичних дефектоскопічних систем.



Фазомодульований сигнал
(++)

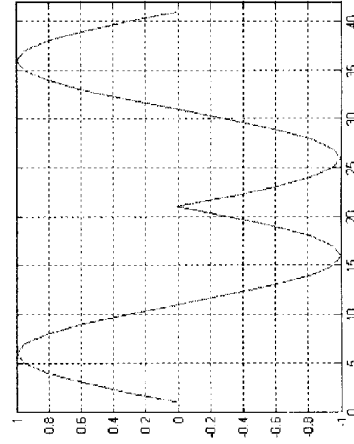


Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача

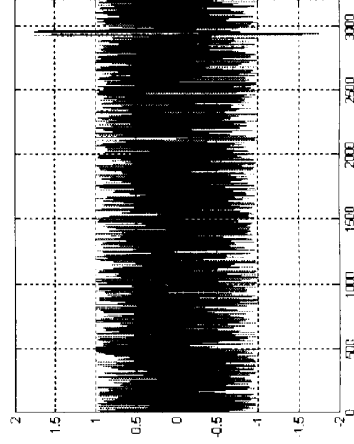


Сигнал
на виході автокорелятора

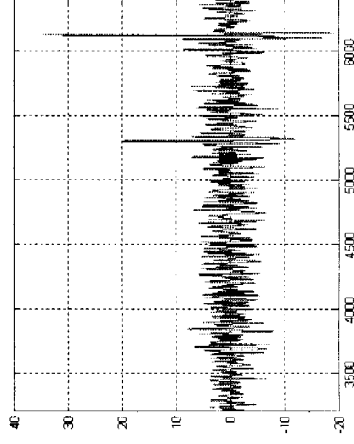
Рис. Г.1 - Виявлення корисного сигналу (з використанням двоелементної послідовності Баркера)



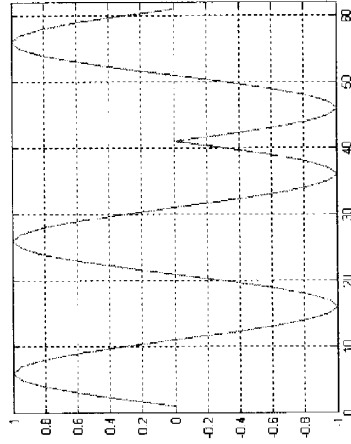
Фазомодульований сигнал
(+-)



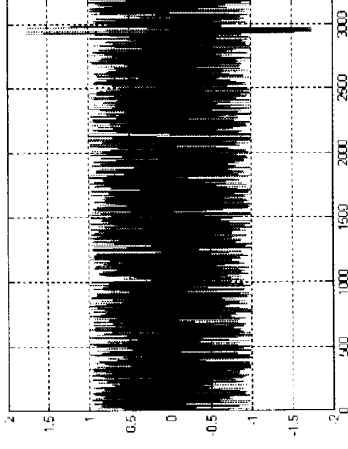
Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача



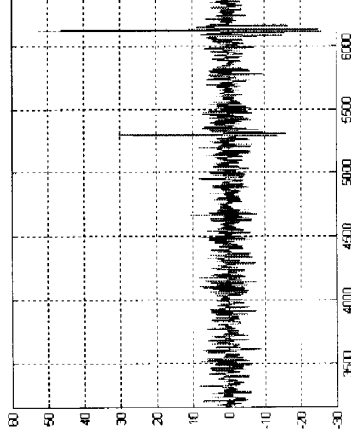
Сигнал
на виході автокорелятора



Фазомодульований сигнал
(+++)

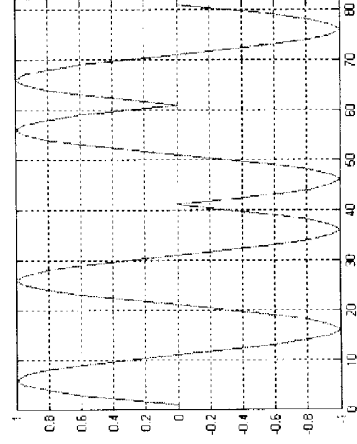


Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача



Сигнал
на виході автокорелятора

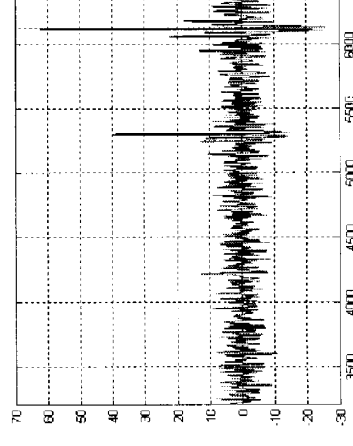
Рис. Г.3 - Виявлення корисного сигналу (з використанням трьохелементної послідовності Баркера)



Фазомодульований сигнал
(+++)

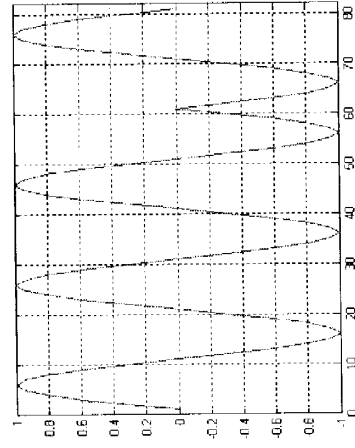


Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача

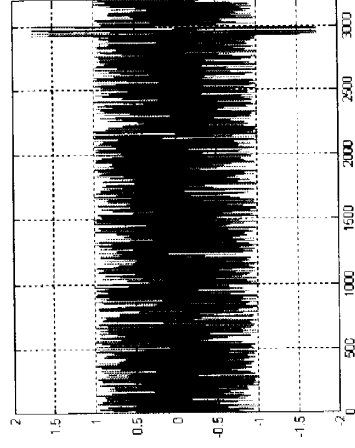


Сигнал
на виході автокорелятора

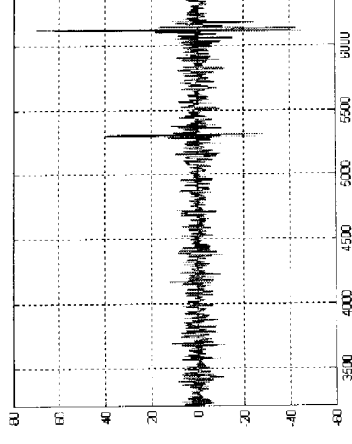
Рис. Г.4 - Виявлення корисного сигналу (з використанням послідовності Баркера)



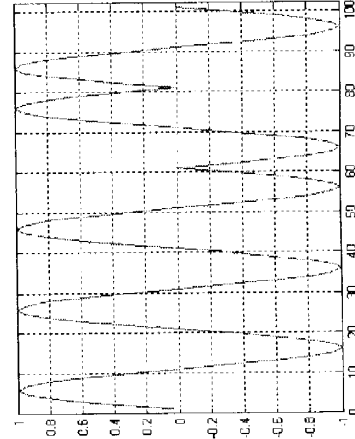
Фазомодульований сигнал
(+++--)



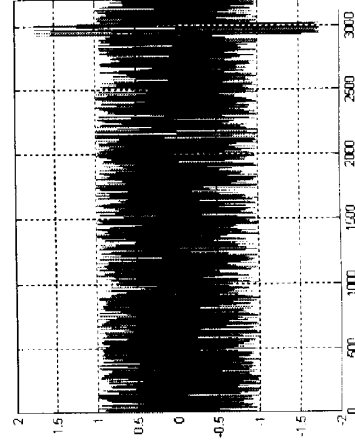
Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача



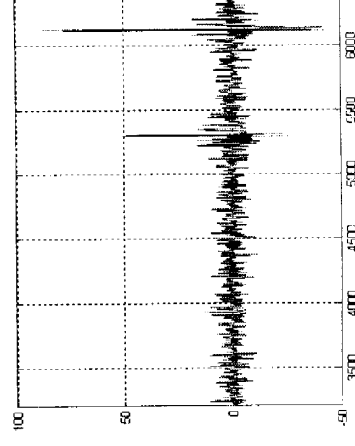
Сигнал
на виході автокорелятора



Фазомодульований сигнал
(+++--)

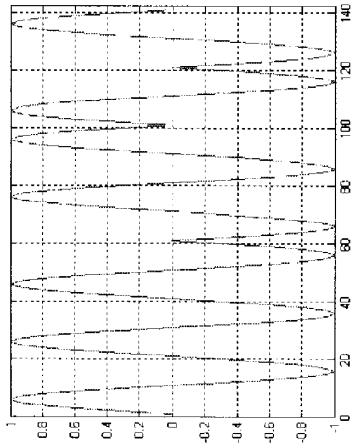


Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача

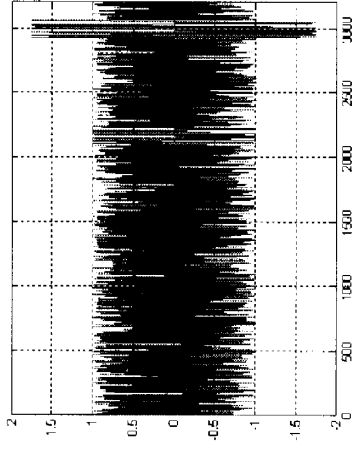


Сигнал
на виході автокорелятора

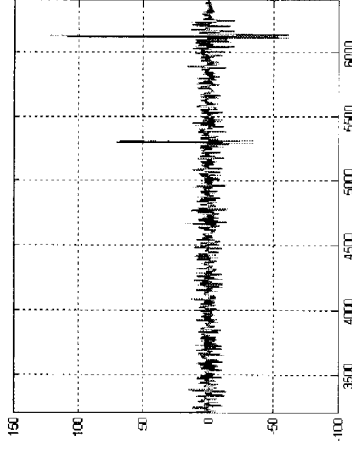
Рис. Г.5 - Виявлення корисного сигналу (з використанням чотирьохелементної послідовності Баркера)



Фазомодульований сигнал
(++++---)

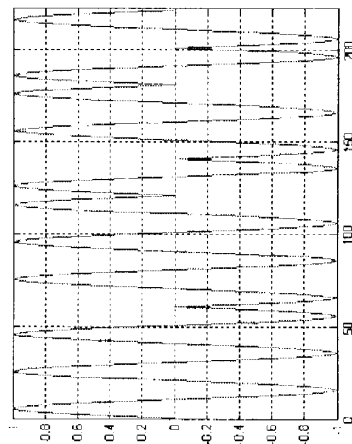


Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача

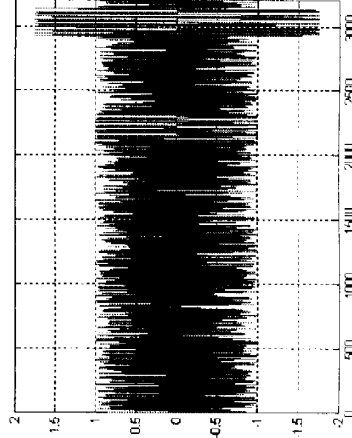


Сигнал
на виході автокорелятора

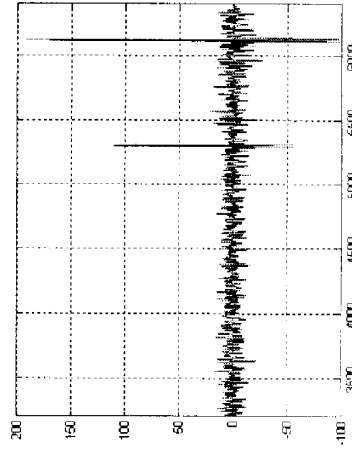
Рис. Г.7 - Виявлення корисного сигналу (з використанням семиелементної послідовності Баркера)



Фазомодульований сигнал
(++++---)

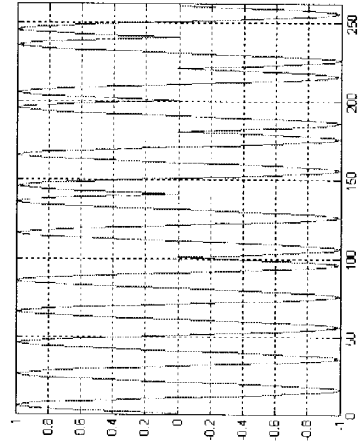


Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача

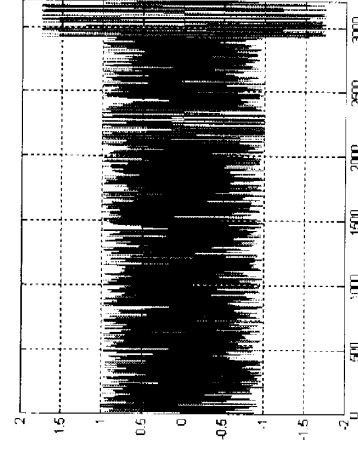


Сигнал
на виході автокорелятора

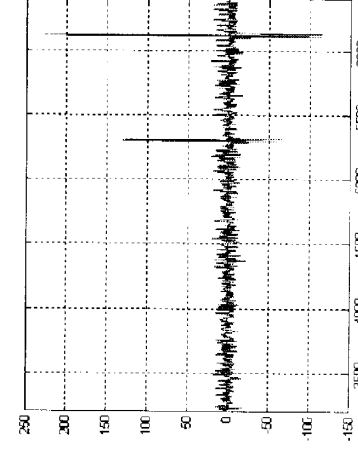
Рис. Г.8 - Виявлення корисного сигналу (з використанням семиелементної послідовності Баркера)



Фазомодульований сигнал
(+++++-----+--+--+)



Радіочастотний сигнал,
отриманий від ЕМА-перетворювача



Сигнал
на виході автокорелятора

Рис. Г.9 - Виявлення корисного сигналу (з використанням тринадцятиелементної послідовності Баркера)

ДОДАТОК Д

**Акт про проведення неруйнівного контролю бурильних труб
в умовах бурової №133 "Великі Бубни" Долинського УБР**



АКТ № _____
 про проведення неруйнівного контролю
 бурових труб

Підприємство-замовник ДУБР

Буровий майстер Угринівський та представник служби НК Вісков
 склали цей акт про те, що « 22 » 06 2003 р. на буровій № 133 В.Б.
 (розвідувальній, експлуатаційній) при вибої ТБПВ-127 проведена дефектоскопія бурових тру
ОБТ-178/164 ОБТ 203/14К

та з'єднувальних елементів типу _____
 Кількість перевірених труб: 134 штук; 268 кінців; _____ м.
 Кількість перевірених з'єднувальних елементів _____ штук; _____ м.
 Підлягає вилученню з колони 12 труб загальною довжиною _____ м.
 Підлягає вилученню з колони _____ з'єднувальних елементів загальною довжиною _____

№ п/п	Номер комплекту, найменування та типорозмір труби	Місце в компоновці (№ свічі, № труби)	Причина вилучення
1	ТБПВ-127	1 св. 4 тр. (М)	Тріщина в різьбі
2	— // —	4 св. 2 тр. (Н)	— // —
3	— // —	9 св. 1 тр. (Н)	— // —
4	— // —	9 св. 3 тр. (М)	— // —
5	— // —	12 св. 2 тр. (М)	— // —
6	— // —	18 св. 2 тр. (Н)	Тріщина в зварному шві
7	— // —	24 св. 3 тр. (Н)	Тріщина в різьбі частини
8	— // —	25 св. 2 тр. (М)	— // —
9	— // —	28 св. 3 тр. (Н)	— // —
10	— // —	33 св. 3 тр. (М)	— // —
11	— // —	38 св. 1 тр. (Н)	— // —
12	— // —	38 св. 2 тр. (Н)	— // —

Обладнання, що використовувалося при проведенні контролю:

1. МД 2-12 зав. № 7057 дата повірки « 10 » 2002 р.
тип _____
2. _____ зав. № _____ дата повірки « _____ » _____ 200__ р.
тип _____
3. _____ зав. № _____ дата повірки « _____ » _____ 200__ р.
тип _____

Контроль проводили:

Спеціаліст ІІ рівня по УТ методу, посвідчення № 356 Вісков (прізвище, ім'я, по-батькові)
 Спеціаліст ІІ рівня по УТ методу, посвідчення № 696 Комісарук (прізвище, ім'я, по-батькові)
 Спеціаліст _____ рівня по _____ методу, посвідчення № _____ Гарасевич (прізвище, ім'я, по-батькові)
Власіанук (прізвище, ім'я, по-батькові)

Початок роботи 10 год 30 хв., закінчення роботи 18 год 00 хв.

Крім того, час контролю ОБТ: початок роботи 18 год 00 хв., закінчення роботи 23 год 00 хв.

Віддаль до місця проведення контролю _____ км.

Обсяги та терміни виконання робіт відповідають умовам договору № _____

Представник служби НК,
 керівник робіт
Вісков
 (прізвище, ім'я, по-батькові)

Представник
 (найменування підприємства-замовника)
ДУБР
Угринівський
 (прізвище, ім'я, по-батькові)