



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94758 (13) C2

(51) МПК

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

G01N 29/26 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБІВ УЛЬТРАЗВУКОМ

1

2

(21) a200900665

(22) 25.06.2007

(24) 10.06.2011

(86) PCT/FR2007/001048, 25.06.2007

(31) 0605923

(32) 30.06.2006

(33) FR

(46) 10.06.2011, Бюл.№ 11, 2011 р.

(72) БІЗІО БЕРНАР, FR, ЛЕЗАЖ ФРЕДЕРІК, FR,
ПЕТІ СЕБАСТЬЄН, FR, ДЕТШ СІЛЬВЕН, FR

(73) В Е М ФРАНС, FR

(56) UA 88978 C2; 10.12.2009

FR 2796153 A1; 12.01.2001

WO 95/03526 A; 02.02.1995

(57) 1. Пристрій, що утворює допоміжний експлуатаційний інструмент для неруйнівного контролю металургійних виробів, таких як труби або інші довгомірні вироби, в ході і в кінці виготовлення, причому цей згаданий інструмент призначений для одержання інформації про можливі дефекти труби на основі зворотних сигналів, які, в результаті селективного збудження (70) випромінюючих ультразвукових датчиків згідно з вибраним часовим законом, вловлюються (73) приймальними ультразвуковими перетворювачами, які утворюють компонування з вибраною геометрією, встановлене з ультразвуковим зв'язком з трубою за допомогою рідкого середовища, при відносному русі повороту/поступального переміщення між трубою і компонуванням перетворювачів, причому згаданий експлуатаційний інструмент відрізняється тим, що містить: конвертер (891; 892), виконаний з можливістю селективно виділяти цифрове представлення можливих ехосигналів у вказаних часових вікнах залежно від відносного руху повороту/поступального переміщення і з можливістю одержувати зображення (901; 902) можливих дефектів в трубі, фільтр (921; 922), виконаний з можливістю визначати в зображеннях (901; 902) зони (Zcur) передбачуваного дефекту, а також властивості кожного передбачуваного дефекту,

комбінаторний пристрій (960), встановлений для підготовки цифрових вхідних робочих сигналів на основі вибірки (951; 952) з зображень, відповідної зони (Zcur) передбачуваного дефекту, властивостей передбачуваного дефекту в цій же зоні, одержуваних від фільтра (921; 922), і даних контексту (740),

щонайменше одне компонування типу нейронної мережі (970), яке приймає вхідні робочі сигнали, що надходять від комбінаторного пристрою (960), цифровий каскад (992) прийняття рішення і сигналізації, працюючий на основі вихідного сигналу компонування типу нейронної схеми (970), і автомат (994) сортування і маркування, встановлений для відділення і маркування труб, визначених як некондиційні цифровим каскадом (992) прийняття рішення і сигналізації.

2. Пристрій за п. 1, призначений для роботи з двома компонуваннями ультразвукових перетворювачів (P11, P12; P21, P22) з вибраною геометрією, забезпечених ультразвуковим зв'язком, по суті, згідно з дзеркальною симетрією напряду своїх відповідних ультразвукових променів, який **відрізняється** тим, що згаданий експлуатаційний інструмент містить два конвертери (891, 892), відповідно призначені для цих двох компонувань ультразвукових перетворювачів (P11, P12; P21, P22), і тим, що комбінаторний пристрій (960) встановлений для селективної роботи на ехосигналах внутрішнього поверхневого шару або на ехосигналах зовнішнього поверхневого шару, або на ехосигналах, що з'являються в масі труби, і одночасно на даних, пов'язаних з одним або іншим з двох компонувань перетворювачів.

3. Пристрій за одним з пп. 1 і 2, який **відрізняється** тим, що конвертер (891; 892) встановлений для селективного виділення цифрового представлення можливих максимумів ехосигналів у визначених часових вікнах, відповідних ехосигналам внутрішнього поверхневого шару, ехосигналам зовнішнього поверхневого шару, а також ехосигналам, що надходять з маси труби, відповідно, і тим, що комбінаторний пристрій (960) встановлений для селе-

(13) C2

(11) 94758

(19) UA

ктивної роботи на ехосигналах внутрішнього поверхневого шару або на ехосигналах зовнішнього поверхневого шару, або на ехосигналах, що з'являються в масі.

4. Пристрій за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що комбінаторний пристрій (960) приймає щонайменше один вхідний сигнал (9511; 9521), пов'язаний з екстремумом амплітуди зображення в зоні передбачуваного дефекту.

5. Пристрій за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що фільтр (921; 922) встановлений для визначення, як властивостей кожного передбачуваного дефекту, його нахилу і його довжини, тоді як комбінаторний пристрій (960) приймає відповідні вхідні сигнали нахилу дефекту (931) і довжини дефекту (932).

6. Пристрій за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що фільтр (921; 922), комбінаторний пристрій (960), нейронна схема (970) і цифровий каскад (992) прийняття рішення і сигналізації встановлені для неодноразової роботи на послідовності зон (Zcur) передбачуваного дефекту, визначених згаданим фільтром (921; 922).

7. Пристрій за п. 6, який **відрізняється** тим, що фільтр (921; 922), комбінаторний пристрій (960), нейронна схема (970) і цифровий каскад (992) прийняття рішення і сигналізації встановлені для альтернативної роботи на внутрішньому поверхневому шарі і на зовнішньому поверхневому шарі труби.

8. Пристрій за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що згадане компонування типу нейронної схеми містить:

першу нейронну схему (NC121-NC123), виконану з можливістю оцінки природи дефекту серед попередньо визначеної множини класів, і

другу нейронну схему (NC141-NC143), виконану з можливістю оцінки серйозності дефекту.

9. Пристрій за п. 8, який **відрізняється** тим, що згадані дві нейронні схеми мають вхідні сигнали, які відрізняються:

вхідним сигналом (9512; 9522) числа сусідніх максимумів для першої нейронної схеми, і

вхідним сигналом (9513; 9523) ширини ехосигналу для другої нейронної схеми.

10. Пристрій за одним з пп. 8 і 9, який **відрізняється** тим, що вихідні сигнали двох нейронних схем комбінують для підвищення точності прогнозування.

11. Пристрій за одним з попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що випромінювання і прийом ультразвукових сигналів здійснюються кожного разу одним і тим же перетворювачем щонайменше для частини компонування датчиків.

12. Пристрій неруйнівного контролю труб в ході або в кінці виготовлення, який **відрізняється** тим, що містить:

компонування ультразвукових перетворювачів з вибраною геометрією, встановлене з ультразвуковим зв'язком з трубою за допомогою рідкого середовища, при відносному русі повороту/поступального переміщення між трубою і компонуванням перетворювачів, схеми для селективного збудження (70) цих перетворювальних елементів згідно з вибраним часо-

вим законом і для збору (73) уловлюваних ними зворотних сигналів, і

допоміжний експлуатаційний інструмент за одним з попередніх пунктів.

13. Спосіб неруйнівного контролю металургійних виробів, таких як труби або інші довгомірні вироби, в ході і в кінці виготовлення, який включає наступні етапи:

а) передбачають компонування ультразвукових перетворювачів з вибраною геометрією, встановлене з ультразвуковим зв'язком з трубою за допомогою рідкого середовища при відносному русі повороту/поступального переміщення між трубою і компонуванням перетворювачів,

б) згідно з вибраним часовим законом селективно збуджують (70) ці перетворювальні елементи,

в) збирають (73) уловлювані ними зворотні сигнали з метою селективного аналізу цих зворотних сигналів (760-766) і витягання з них інформації про передбачувані дефекти труби,

який **відрізняється** тим, що додатково включає наступні етапи:

г) селективно виділяють цифрове представлення можливих ехосигналів у відповідних часових вікнах залежно від відносного руху повороту/поступального переміщення (891; 892), і виділяють зображення (901; 902) можливих дефектів в трубі,

д) фільтрують (921; 922) зображення (901; 902) відповідно до вибраних критеріїв фільтрування для визначення зон (Zcur) передбачуваного дефекту, а також властивостей кожного передбачуваного дефекту,

е) формують (960) цифрові вхідні робочі сигнали нейронної схеми на основі вибірки (951; 952) з зображень, відповідної зоні (Zcur) передбачуваного дефекту, властивостей передбачуваного дефекту в цій же зоні, одержуваних з фільтра (921; 922), і даних контексту (740),

ж) сформовані (960) таким чином вхідні сигнали застосовують щонайменше в одному компонуванні типу нейронної схеми (970),

з) вихідний сигнал компонування типу нейронної схеми (970) обробляють в цифровому вигляді згідно з вибраними критеріями прийняття рішення для одержання прийняття рішення і/або сигналізації (922), і

і) відділяють і маркують (994) труби, визначені як некондиційні на етапі з).

14. Спосіб за п. 13, в якому:

на етапі а) передбачають два компонування ультразвукових перетворювачів (P11, P12; P21, P22) з вибраною геометрією, встановлених з ультразвуковим зв'язком, по суті, згідно з дзеркальною симетрією на пряму їх відповідних ультразвукових променів,

який **відрізняється** тим, що етапи г)-і) здійснюють одночасно на сигналах, одержуваних від одного і іншого з цих двох компонувань перетворювачів.

15. Спосіб за одним з пп. 13 і 14, який **відрізняється** тим, що:

на етапі г) згадані позначені відповідні часові вікна містять щонайменше деякі вікна групи, відповідної ехосигналам внутрішнього поверхневого шару, ехосигналам зовнішнього поверхневого шару, а також ехосигналам, що надходять з маси труби.

16. Спосіб за одним з пп. 13-15, який **відрізняється** тим, що:

на етапі д) вибрані критерії фільтрування включають щонайменше критерій наявності дефекту, критерій нахилу дефекту і критерій довжини дефекту.

Даний винахід стосується неруйнівного контролю матеріалів, особливо труб, під час виготовлення.

У цей час відомі пропозиції, які будуть розглянуті нижче і які полягають у використанні нейронних мереж в рамках неруйнівного контролю матеріалів. Однак ці існуючі рішення не можуть працювати в промисловому середовищі на обладнанні, яке вже знаходиться в експлуатації, в режимі реального часу і одночасно забезпечувати «з льоту» класифікацію дефектів за їх природою, щоб можна було швидко усувати виникаючі проблеми на фазі виробництва.

Задачею винаходу є поліпшення цієї ситуації шляхом системи, яка може:

- бути використана в промисловому середовищі і легко встановлюватися на обладнанні, вже існуючому в цьому середовищі,
- бути використана в режимі реального часу, тобто яка може здійснювати швидку діагностику (з достатньою швидкістю, щоб не сповільнювати швидкість загального виробництва), і
- яка дозволяє одержувати класифікацію дефектів за їх природою так, щоб визначати їх серйозність і розпізнавати технічну причину виникнення дефекту і швидко усувати, таким чином, проблему на фазі виробництва.

Згідно з першим аспектом даного винаходу, пропонується пристрій, який створює допоміжний експлуатаційний інструмент для неруйнівного контролю труб (або інших металевих виробів) в ході і в кінці виготовлення. Такий інструмент призначений для одержання інформації про можливі дефекти труби. Згідно з вибраним часовим законом селективно збуджують передавальні ультразвукові датчики. Зворотні сигнали вловлюються приймальними ультразвуковими датчиками, які утворюють компонування з вибраною геометрією, встановлене з ультразвуковим зв'язком з трубою за допомогою рідкого середовища. Нарешті, між трубою і компонуванням перетворювачів відбувається, загалом, відносний рух повороту/поступального переміщення.

Допоміжний експлуатаційний інструмент, що пропонується, містить:

- конвертер, виконаний з можливістю селективного виділення цифрового представлення можливих ехосигналів в позначених часових вікнах залежно від відносного руху повороту/поступального переміщення і одержання зображення можливих дефектів труби,
- фільтр, виконаний з можливістю визначення в зображеннях зон передбачуваного дефекту, а також властивостей кожного передбачуваного дефекту,
- комбінаторний пристрій, встановлений для підготовки цифрових вхідних сигналів нейронної схеми на основі вибірки з зображень, відповідної

17. Спосіб за одним з пп. 13-16, який **відрізняється** тим, що:

етапи е) і ж) повторюють неодноразово для кожного дефекту, виявленого на етапі д).

зоні передбачуваного дефекту, властивостей передбачуваного дефекту в цій же зоні, одержуваних від фільтра, і даних контексту,

- щонайменше одну нейронну схему, яка приймає вхідні сигнали від комбінаторного пристрою,
- цифровий каскад прийняття рішення і сигналізації, працюючий на основі вихідного сигналу нейронної схеми, і
- автоматичний пристрій сортування і маркування, встановлений для відділення і маркування труб, визначених як некондиційні цифровим каскадом прийняття рішення і сигналізації.

Винахід може також застосовуватися на рівні пристрою неруйнівного контролю труб (або інших металевих виробів) в ході або в кінці виготовлення, який містить:

- компонування ультразвукових перетворювачів з вибраною геометрією, встановлене з ультразвуковим зв'язком з трубою за допомогою рідкого середовища і відносним рухом повороту/поступального переміщення між трубою і компонуванням перетворювачів,
- схеми для селективного збудження цих перетворювальних елементів згідно з вибраним часовим законом і для збору уловлюваних ними зворотних сигналів, і
- визначений вище і детально описаний нижче допоміжний експлуатаційний інструмент.

Інший аспект винаходу пояснюється способом неруйнівного контролю труб (або інших металевих виробів) в ході і в кінці виготовлення, який включає наступні етапи:

- а) передбачають компонування ультразвукових перетворювачів з вибраною геометрією, встановлене з ультразвуковим зв'язком з трубою за допомогою рідкого середовища і відносним рухом повороту/поступального переміщення між трубою і компонуванням перетворювачів,
- б) згідно з вибраним часовим законом селективно збуджують ці перетворювальні елементи,
- в) збирають уловлювані ними зворотні сигнали з метою селективного аналізу цих зворотних сигналів і одержання інформації про вірогідні дефекти труби.

Запропонований спосіб додатково включає наступні етапи:

- г) селективно виділяють цифрове представлення можливих ехосигналів у відповідних часових вікнах залежно від відносного руху повороту/поступального переміщення і одержують зображення можливих дефектів в трубі,
- д) фільтрують зображення відповідно до вибраних критеріїв фільтрування для визначення зон передбачуваного дефекту, а також властивостей кожного передбачуваного дефекту,
- е) формують цифрові вхідні сигнали нейронної схеми на основі вибірки з зображень, відповідної

зоні передбачуваного дефекту, властивостей передбачуваного дефекту в цій же зоні і даних контексту,

ж) застосовують сформовані таким чином вхідні сигнали щонайменше до однієї нейронної схеми,

з) вихідний сигнал нейронної схеми обробляють в цифровому вигляді згідно з вибраними критеріями прийняття рішення для одержання прийняття рішення і/або сигналізації, і

і) відділяють і маркують труби, визначені як некондиційні на етапі з).

Інші аспекти винаходу будуть розглянуті в нижченаведеному тексті опису даної патентної заявки.

Інші відмітні ознаки і переваги винаходу будуть більш очевидні з нижченаведеного докладного опису з посиланнями на прикладені креслення, на яких:

Фіг.1 - схематичний вигляд в перспективі труби, яка має дефекти або недоліки, звані еталонами.

Фіг.2 - схематичний вигляд збоку, що ілюструє приклад установки типу «контролю з обертовою головкою» на трубі в кінці виготовлення.

Фіг.3А-3С - детальний вигляд різних типів вимірювання товщини і контролю подовжніх і поперечних дефектів.

Фіг.4 - принципова електронна схема, пов'язана з ультразвуковим датчиком під час неруйнівного контролю в класичній установці.

Фіг.5А і 5В - вигляд з кінця і вигляд збоку особливого типу комірки неруйнівного контролю, звичайно званої «обертовою головкою», представленої схематично.

Фіг.6 - показує складність ультразвукових траєкторій в трубі на простому прикладі.

Фіг.6А і 6В - схематичні часові діаграми ультразвукових сигналів відповідно для датчика з похилим кутом падіння і для датчика з нормальним (перпендикулярним) кутом падіння.

Фіг.7 - графік, що показує класичне представлення селективності контрольної установки.

Фіг.8 - принципова електронна схема, пов'язана з ультразвуковим датчиком під час неруйнівного контролю, в прикладі установки, виконаної з можливістю застосування винаходу.

Фіг.8А - більш детальна функціональна схема частини, показаної на Фіг.8.

Фіг.9 - схематична копія екрана з двома оцифрованими ультразвуковими зображеннями потенційних дефектів в трубі.

Фіг.10А-10Д - схематичні представлення різних типів дефектів по класифікації API (American Petroleum Institute), які утворюють вихідні дані нейронної мережі, що визначає тип дефекту.

Фіг.11 - більш детальна функціональна схема іншої частини, показаної на Фіг.8.

Фіг.12 - послідовна діаграма, що ілюструє обробку послідовних потенційних дефектів в зображенні.

Фіг.13 - функціональна схема системи фільтрів, використовуваних відповідно до даного винаходу.

Фіг.14 - функціональна схема монтажу з нейронною мережею, що визначає тип дефекту в тру-

бі.

Фіг.15 - функціональна схема монтажу з нейронною мережею, що визначає міру глибини дефекту в трубі.

Фіг.16 - функціональна схема моделі нейрона.

Фіг.17 - приклад функції передачі елементарного нейрона.

Фіг.18 - загальна схема установки, яка використовує винахід для виявлення недоліків за допомогою різних типів датчиків.

Креслення містять елементи певного характеру. Тому вони дозволяють не тільки краще зрозуміти даний винахід, але також, у разі необхідності, сприяють його визначенню.

У подальшому тексті даного опису ультразвуковий датчик може бути рівнозначно позначений термінами «датчик» або «щуп», або «перетворювач», добре відомими фахівцям.

Відомі приклади застосування нейронних мереж

Використання нейронних мереж в рамках неруйнівного контролю матеріалів було розглянуто в багатьох публікаціях, які в своїй більшості є в основному теоретичними і які будуть розглянуті нижче.

У статті "Localisation and Shape Classification of Defects using the Finite Element Method and the Neural Networks" ZAOUI, MARCHAND and RAZEK (NDT.NET - серпень 1999 р., том IV, реферат 8) сформульовані пропозиції в даній сфері. Однак ці пропозиції стосуються лабораторних робіт, і описане застосування не може бути використане на лінії в промисловому середовищі. Крім того, тут розглядається тільки виявлення за допомогою струмів Фуко, що в більшості випадків є недостатнім.

У статті "Automatic Detection of Defect in Industrial ultrasound images using a neural Network", Lawson and Parker (Proc. of Int. Symposium on Lasers, Optics, and Vision for Productivity in Manufacturing I (Vision Systems: Applications), червень 1996, Proc. of SPIE, том 2786, стор. 37-47, 1996) описане застосування обробки зображень і нейронних мереж з метою інтерпретації того, що називають "scan TOFD". Так званий спосіб TOFD (Time of Flight Diffraction) полягає у відмічанні положень ультразвукового датчика, в яких ним можна спостерігати заломлення променя на краях дефекту, що дозволяє надалі одержати розмірну характеристику дефекту. Цей спосіб є складно пристосовуваним до вже існуючого обладнання неруйнівного контролю, зокрема, в промисловому середовищі.

Стаття "Shape Classification of Flaw Indications in 3-Dimensional ultrasonic Images", Dunlop and McNab (IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology, липень 1995, том 142, випуск 4, стор. 307-312) стосується діагностики в сфері корозії трубопроводу. Система дозволяє здійснювати неруйнівний контроль по глибині і проводити дослідження в трьох вимірюваннях і в режимі реального часу. Однак система є дуже повільною. Це робить відносно важким її використання в промисловому середовищі.

У статті "Application of neuro-fuzzy techniques in oil pipelines ultrasonic nondestructive testing",

Ravanbod (NDT&E International 38 (2005), стор. 643-653) запропоновано поліпшити алгоритми виявлення дефекту за рахунок використання елементів нечіткої логіки з'єднаних нейронної мережею. Однак, технології, що вивчаються тут, також стосуються перевірки дефектів трубопроводу і діагностики корозійних дефектів.

У документі DE 42 01 502 C2 описаний спосіб створення сигналу, який призначений для нейронної мережі, але несе дуже мало або ніскільки інформації про інтерпретацію результатів з точки зору діагностики. Крім того, тут також розглядається тільки виявлення струмами Фуко.

Японська патентна публікація JP 11-002626 стосується виявлення тільки подовжніх дефектів і тільки за допомогою струмів Фуко.

У патентній публікації №08-110323 розглянуте тільки частотне дослідження сигналів, одержаних за допомогою ультразвуку.

У патентній публікації №2003-279550 описана програма для визначення відмінностей між зоною, яка вважається нормальною, і поганою зоною виробу з використанням нейронної мережі. Ця програма до кінця не розроблена і не дозволяє одержувати класифікацію або проводити локалізацію дефектів. Отже, застосування цієї програми в багатьох випадках може привести до відбраковування деталей, які можна було б вважати нормальними, якщо інтерпретацію результатів здійснює людина.

Неруйнівний контроль труб - Попередній рівень техніки

Нижченаведений докладний опис наводиться як необмежувальний приклад в основному в рамках неруйнівного контролю труб в кінці виготовлення.

Як показано на Фіг.1, дефекти в трубі Т можна розрізняти по їх положенню. Так, поверхневі, внутрішні або зовнішні дефекти включають в себе подовжні дефекти LD, обводні (або поперечні, або косі) дефекти CD і косі або похилі дефекти ID; шляхом застосування різного компонування датчиків намагаються виявити ці дефекти, коли вони розповсюджуються по певній довжині і глибині згідно зі стандартами або специфікаціями, або технічними умовами замовників (наприклад, по стандартах, значення довжини дефекту становить 1/2 дюйма або приблизно 12,7 мм при глибині приблизно 5% від товщини контрольованого виробу). Розглядають також так звані дефекти «в стінці», тобто дефекти в масі MD (на Фіг.1 не показані), які часто відповідають включенням або розшаруванням, які намагаються виявити одночасно з вимірюванням товщини. На Фіг.1 для кращого розуміння виявлення дефектів ультразвукові промені показані розбіжними. На практиці, як буде показано нижче, вони швидше є збіжними.

Класично під час неруйнівного контролю ультразвуком використовують один з наступних трьох типів установок: так звані установки «з обертовою головкою», так звані установки «з обертовою трубою» і установки з багатоеlementним охоплюючим датчиком, добре відомі фахівцям. У випадку використання датчиків з електронним скануванням, відносно обертання труби/датчика є віртуальним. Застосовуваний в цьому випадку вираз

«відносний рух повороту/поступального переміщення між трубою і компонуванням перетворювачів» стосується випадку, коли відносно обертання є віртуальним.

Показана на Фіг.2 машина неруйнівного контролю з обертовою головкою містить власне ультразвуковий пристрій, встановлений на водній оболонці або «водяній сорочці» 100, через який проходить труба, наприклад, зі швидкістю $v=0,5$ метрів за секунду. Ультразвукові датчики або щупи випромінюють у воду подовжні хвилі. Даний датчик працює, наприклад, на частоті в 1 або декілька МГц. Він періодично збуджується імпульсами з вибраною формою хвилі в рекурентному ритмі (з рекурентною частотою) F_r , яка складає порядку декількох кГц або декількох десятків кГц, наприклад 10 кГц.

Крім того, ультразвуковий перетворювач містить:

- випромінювання ближнього, практично паралельного поля в так званій зоні Френеля, що характеризується численними інтерференціями, довжина якої по осі променя складає

$$N=0,25D^2/\lambda,$$

де D є діаметром активної пластинки перетворювача, а λ , є довжиною робочої хвилі, і

- випромінювання дальнього поля в так званій зоні Фраунгофера у вигляді променя, який розходиться під кутом 2α , при цьому

$$\sin\alpha=1,22\lambda/D.$$

На Фіг.3А, 3В, 3С показані датчики, які повертають збіжні промені за допомогою вгнутої (ультразвукової) лінзи, звичайно використовувани для застосування до труб. Переважно використовують зону Фраунгофера, найменш схильну до збурень.

Таким чином, для датчиків, таких як P11 і P12, ультразвуковий промінь, який, як правило, є сфокусованим, розповсюджується поблизу площини, перпендикулярної до осі труби Т. Виявлення відбувається, по суті, по поперечному перерізу. Роль цих датчиків полягає в наступному:

- або їх промінь також є перпендикулярним до осі труби Т в поперечному перерізі, і вони служать для вимірювання товщини (наприклад, P1, Фіг.3А), в цьому випадку кажуть про «пряме прощупування»;

- або їх промінь є похилим до осі Т в поперечному перерізі, і вони служать для виявлення подовжніх дефектів (наприклад, P11, Фіг.3В). В цьому випадку кут падіння в поперечному перерізі переважно вибирають таким чином, щоб створювати в трубі тільки поперечні ультразвукові хвилі або хвилі зсуву, з урахуванням характеристик границі поділу вода/метал труби (в принципі - вода/сталь). Загалом, передбачають два датчики P11 і P12 з протилежними кутами падіння відносно осі труби (Фіг.2).

Машина містить також датчики, такі як P21 і P22, ультразвуковий промінь яких навпаки, як правило, є звичайно сфокусованим і розповсюджується поблизу площини, яка проходить через вісь труби, але під кутом відносно площини, перпендикулярної до осі труби Т (див. датчик P21, Фіг.3С). В цьому випадку кут падіння відносно площини, перпендикулярної до осі труби, переважно вибирають таким чином, щоб створювати в трубі тільки попе-

речні ультразвукові хвилі або хвилі зсуву, з урахуванням характеристик границі поділу вода/метал труби (в принципі - вода/сталь). Ці датчики служать для виявлення поперечних дефектів. Як правило, передбачають два датчики P21 і P22 з протилежними кутами падіння відносно площини, перпендикулярної до осі труби (Фіг.2).

Загалом, контроль дефектів проводять з фокусуванням променя. Точка фокусування вимірюється відносно «стрибка», який відповідає першому зворотно-поступальному шляху ультразвуку в товщині труби. Так, датчик, показаний на Фіг.3А, фокусують по половині стрибка, тоді як датчики, показані на Фіг.3В і 3С, фокусують по трьох чвертях стрибка. Крім того, загалом, контроль зовнішніх дефектів проводять по стрибку, а контроль внутрішніх дефектів по половині стрибка.

Визначимо T_a час присутності, необхідний для того, щоб щуп міг правильно сприйняти повернення ультразвукового променя, який представляє вірогідний дефект. Цей час T_a залежить від суми двох наступних проміжків часу:

- з одного боку, часу зворотно-поступального розповсюдження подовжніх ультразвукових хвиль по висоті «стовпа води», присутнього між щупом і трубою на шляху ультразвуку,

- з іншого боку, часу розповсюдження поперечних ультразвукових хвиль, необхідного всередині труби, щоб здійснити власне неруйнівний контроль. В основному цей час залежить від вибору необхідного числа відображень поперечних хвиль всередині стінки труби.

Класично щупи приводять у обертання навколо осі труби за допомогою не показаних засобів зі швидкістю T порядку декількох тисяч обертів на хвилину (наприклад, 6000 об./хв.). У відомому випадку, коли у обертання приводиться труба, тоді як щупи не приводяться у обертання (так звана установка «з обертовою трубою»), швидкість обертання труби складає порядку від декількох десятків до декількох тисяч обертів на хвилину.

Кожну сукупність датчик - передавальне середовище (вода) - труба можна назвати «коміркою». Крім того, для однієї комірки потрібно розглядати також апертуру променя Od ультразвукових щупів під час виявлення. Апертуру можна визначити двома складовими (Фіг.1): однією $Od1$ в поперечному перерізі труби і іншою $Od2$ в площині, що проходить через вісь труби і щуп.

Регулювання установки (залежно від швидкості обертання, швидкості просування, розмірів $Od1$ і $Od2$ і числа щупів) повинно забезпечувати сканування ультразвуковими променями всіх поверхонь і всього об'єму контрольованої труби.

Необхідно зазначити, що деякі норми або вимоги замовників, або специфікації передбачають перекривання поверхонь, що скануються. Таким чином, час аналізу T_a визначається компромісом між:

- рекурентним темпом (або частотою) F_r ,
- в поперечному перерізі труби - швидкістю обертання ω з урахуванням апертури $Od1$ ультразвукових щупів при виявленні (інакше кажучи, враховуючи обертання датчиків, причому складова $Od1$ апертури променя повинна забезпечувати час

знаходження дефекту навпроти датчиків, який щонайменше дорівнює T_a),

- вздовж труби - швидкістю її просування v з урахуванням апертури $Od2$ ультразвукових щупів при виявленні і числа N_f щупів, призначених для виконання цієї ж функції F_i (які, отже, утворюють групу щупів), причому на периферії труби (інакше кажучи, враховуючи поступальне переміщення труби, складова $Od2$ апертури променя повинна забезпечувати час знаходження дефекту навпроти датчика (або групи датчиків), який щонайменше дорівнює T_a).

- числом щупів, призначених для виконання тієї ж ролі (тобто тієї ж функції), і

- визначеними вище проміжками часу розповсюдження хвиль.

Класично машина містить, як правило, усього два датчики, такі як P11, P12, для контролю дефектів типу LD і, у разі необхідності, ID, два датчики, такі як P21, P22, для контролю дефектів типу CD, до яких в принципі додають датчик, такий як P1, для вимірювання товщини виробу і контролю дефектів типу MD. Насправді, кожен датчик може бути групою датчиків, працюючих разом, що буде пояснено нижче.

Машина має інтегровану або окрему електроніку збудження і виявлення, пов'язану з кожним з датчиків. Вона містить (Фіг.4) випромінювач 70 імпульсів, наприклад, на 250 вольт, для збудження щупа P0, встановленого на водяній сорочці 100. Будучи невід'ємною частиною системи неруйнівного контролю, ультразвуковий щуп P0, в цьому випадку випромінювач/приймач, приймає послідовні ехосигнали цього збудження. Лінії 700 і 710 передають відповідно імпульс збудження і сигнал з виводів щупа в підсилювач 73.

Вихідний сигнал підсилювача 73 служить для візуалізації оператору і/або для керування автоматом сортування, виконаним з можливістю відділення (на виході) некондиційних труб.

Візуалізація здійснюється, наприклад, за допомогою осцилоскопа 750, який як сигнал приймає вихідний сигнал підсилювача 73, а як розгортку 752 - сигнал синхронізуючого каскаду 753, що надходить від випромінювача 70. Пороговий каскад 754 дозволяє уникнути засліплення осцилоскопа в момент імпульсу випромінювання.

Інший вихідний сигнал підсилювача 73 надходить на каскад обробки 760 сигналу. Загалом, ця обробка включає випрямлення, згладжування і фільтрування. Після нього іде каскад виявлення або селектор 762, виконаний з можливістю виділення суттєвих ехосигналів відомим способом. При виявленні дефекту суттєвою є наявність ехосигналу з його амплітудою або його тривалістю (отже, з його енергією) у визначених часових стробімпульсах, в основному в половині стрибка і в стрибку. При виявленні по товщині перевіряють, щоб еквівалент відстані часового проміжку між відповідними донними ехосигналами відповідав необхідній товщині труби. Аномалії, виявлені по цих критеріях, можуть ініціювати сигнал 764 тривоги і/або керувати автоматом 766 сортування, який видаляє некондиційні труби, маркуючи їх відповідно до виявленої аномалії або виявлених аномалій.

У випадку установки з обертовою головкою

(Фіг.5А і 5В) комірка містить також на механічній опорі 80 водяну сорочку 100, на якій розміщений блок датчика Р0 із з'єднанням 701, яке об'єднує лінії 700 і 701, показані на Фіг.4. Для центрування труби Т передбачені, наприклад, три підшипники 81-83.

Згідно з відомими технічними рішеннями (наприклад, у випадку машини, яка продається німецькою компанією GE NUTRONIC (колишня NUKEM)), блок датчика Р0 містить датчики, які обертаються зі швидкістю в декілька тисяч обертів на хвилину навколо труби. Можна також використовувати множину датчиків, розподілених у вигляді кільця навколо труби. Кільце містить, наприклад, 6 секторів зі 128 ультразвукових датчиків, розподілених навколо периферії. Сектори датчиків чергуються з невеликим зміщенням в напрямі осі труби. Це дозволяє одержати перекривання між двома секторами датчиків, що йдуть один за одним в подовжньому напрямі, а також зменшити проблеми інтерференцій. Інтерференція відбувається, коли даний датчик приймає ехосигнали в результаті опромінення на іншому датчику.

До цього додається станина (не показана) для направлення труби на вході і на виході поста неруйнівного контролю з метою позиціонування труби, яка безперервно переміщується відносно ультразвукових датчиків.

Неруйнівний контроль повинен здійснюватися на всій периферії труби. Разом з тим важливо також, щоб цей контроль відстежував лінійну швидкість v труби на виході виробничої лінії. Таким чином, досягають компромісу між лінійною швидкістю v труби, рекурентним ритмом (або частотою) F_r , часом аналізу T_a , робочою апертурою ультразвукового щупа під час виявлення і швидкістю обертання ω , числом датчиків, які забезпечують одну і ту ж функцію, і швидкістю розповсюдження ультразвукових хвиль.

Бажано також, щоб одна і та ж установка могла працювати на всьому наборі діаметрів труб (а також товщин труб), що перекриває набір виробництва. Часто передбачають також декілька значень швидкості обертання ω і рекурентної частоти F_r , які вибирають залежно від діаметра оброблюваної труби.

Нарешті, потрібно зазначити, що будь-яка зміна процесу виробництва передбачає нове регулювання кутів падіння ультразвуку від кожного датчика на периферії труби. Ця тонка операція, здійснювана вручну, часто займає приблизно півгодини, і в цей час виробництво труб зупиняється. Саме в таких умовах відбувається в цей час неруйнівний контроль труб або інших профільованих і/або тонкостінних виробів ультразвуком в кінці процесу виробництва.

У сфері неруйнівного контролю ультразвуком часто використовують наступну термінологію:

- «сканування» (або «scan») означає послідовність відносних положень труба/датчик,
- «приріст» означає крок сканування (зворотно пропорційний рекурентній частоті або частоті ультразвукових опромінювань),
- «А-скан» означає графік електричної напруги, вимірної на контактах ультразвукового датчика, де на осі абсцис показаний час розповсюджен-

ня, а на осі ординат - представлення електричної напруги, зване також ультразвуковою амплітудою,

- «В-скан» означає зображення, відповідне даному значенню приросту, де на осі абсцис сканування відповідає ультразвуковому опроміненню, на осі ординат показаний час розповсюдження, і в кожній точці - ультразвукова амплітуда, перетворена на сірий півтон,

- «Еходинаміка» означає графік, де на осі абсцис показане ультразвукове опромінення, а на осі ординат - максимальна амплітуда, відмічена у часовому селекторі А-скана для відповідного опромінення,

- «С-скан» означає зображення, де на осі абсцис і осі ординат показане еквівалентне положення в плоскому просторі точки опромінення ультразвукової хвилі, і представляє у вигляді сірого півтону максимальну ультразвукову амплітуду для цього опромінення, відмічену в часовому селекторі А-скана, що розглядається («амплітуда зображення»). У випадку труби, точка на осі абсцис С-скана відповідає положенню на довжині труби, а точка на осі ординат відповідає положенню на окружності труби. У випадку плоского виробу точка на осі абсцис С-скана відповідає положенню на довжині плоского виробу, а точка на осі ординат відповідає положенню на ширині плоского виробу.

На Фіг.6 в подовжньому розрізі схематично показана система, утворена датчиком, його стовпом води і трубою, а також зображення різних ультразвукових шляхів, які створюють ехосигнали. Вона дозволяє краще зрозуміти складність цих шляхів і трудність аналізу.

На Фіг.6А схематично показана діаграма амплітуди/часу ультразвукового сигналу на рівні датчика, який працює з похилим кутом падіння. Починаючи з моменту T_{excit} збудження датчика, ехосигнал знаходиться на границі поділу водотруба в момент T_{interf} (який можна також визначити $T_{phiExter0}$). Після цього відмічені (вертикальна пунктирна лінія) момент $T_{phiInter}$, в який ультразвуковий промінь досягає внутрішньої поверхні труби, де він відбивається і заломлюється, а також момент $T_{phiExter}$, в який ультразвуковий промінь досягає зовнішньої поверхні труби. Враховуючи похилий кут падіння, немає суттєвого ехосигналу, який повертається до датчика в момент $T_{phiInter}$, при відсутності дефекту в цьому місці. Це ж стосується і моменту $T_{phiExter}$.

На Фіг.6В схематично показана діаграма амплітуди/часу ультразвукових сигналів на рівні датчика, який працює з нормальним кутом падіння. Загальна хронологія сигналів така ж як на Фіг.6А (за винятком фактора, пов'язаного з кутом падіння). Однак, при нормальному куті падіння є суттєві ехосигнали в моменти $T_{phiInter}$ і $T_{phiExter}$ навіть при відсутності дефекту в місцях труби, які розглядаються.

На цей час системи неруйнівного контролю, використовувані при виробництві труб, працюють з урахуванням співвідношення K між:

- амплітудою A_s сигналу, що надходить від контрольованої труби,
- амплітудою A_0 сигналу, що надходить від контрольного дефекту-еталона для типу контролю, що розглядається. Як правило, цей «контрольний

дефект-еталон» визначають на еталонній трубі зі штучно створеним дефектом (наприклад, U-подібна або V-подібна виїмка) з розмірними характеристиками, вибраними, наприклад, згідно зі стандартом неруйнівного контролю і/або з технічним завданням замовника.

Передбачається, що ця амплітуда сигналу пропорційна серйозності дефекту, тобто його глибині (DD). Графік на Fig.7 (добре відомий фахівцям, див. Nondestructive Testing Handbook - статистичний розділ з тому 7, опублікований ASNT - American Society for Nondestructive Testing) представляє реальний розподіл $K=f(DD)$. Він показує, що насправді кореляція є дуже поганою (порядку 0,3-0,4 для контролю ультразвуком).

Зокрема, на графіку Fig.7, якщо контрольну амплітуду A_0 ($K=1$) встановити в значенні XL (глибина максимально допустимого дефекту) в центрі розподілу (який, в свою чергу, знаходиться на похилій TDis), видно, що дефекти можна знайти також на $K=0,5$ глибини DD вище за XL. Звідси випливає, що міркування обережності змушують фіксувати A_0 в значенні, набагато меншому XL. Отже, в процесі виробництва відбраковують труби, які по суті можуть бути задовільними. Це тим більше негативно позначається на економічних показниках, чим складніше технології виробництва труб як з точки зору їх складності, так і з точки зору енергоємності.

У зв'язку з цим заявник поставив перед собою задачу поліпшення ситуації. На Fig.8 показаний пристрій, аналогічний показаному на Fig.4, але вдосконалений для можливості застосування винаходу.

Вихідний сигнал підсилювача 73 прикладають до каскаду 761, який оцифровує амплітуду сигналу, що надходить з підсилювача 73, і працює на цьому оцифрованому сигналі. Ця обробка буде описана нижче з посиланням на Fig.11. Потім можна зберегти каскади 764 і 766, функціонально аналогічні каскадам, показаним на Fig.8. Необроблений сигнал датчика, який можна спостерігати на осцилоскопі 750, фахівці називають А-сканом. Він містить ехосигнали згідно зі схемою, показаною на Fig.6.

Бажано дефекти труби одержати у візуальному відображенні за допомогою ультразвукових сигналів. Нижче представлений опис одержання зображення.

На практиці зображення одержують в результаті декількох послідовних досліджень труби датчиком Rx під послідовними кутами, які, по суті, перекривають поперечний переріз труби. Це можна здійснити шляхом послідовних опромінь тільки одним датчиком з використанням відносного обертання труба/датчик.

Як необмежувальний приклад розглянемо установку з так званою обертовою головкою.

На Fig.8A розглянутий датчик Rx, який може бути датчиком одного з вищезгаданих типів P1, P11, P12, P21 і P22. У проілюстрованому прикладі цей датчик Rx, по суті, містить елементарні датчики Rx-1, ..., Rx-i, ..., Rx-n, які встановлені вздовж подовжньої осі труби і які піддають ультразвуковому опроміненню в один і той же момент. На Fig.8A те, що знаходиться між елементарними

датчиками і вихідними зображеннями 769A і 769B, можна вважати перетворювачем.

Сигнал А-скан першого елементарного датчика Rx-1 прикладають до підсилювача 73-1, за яким ідуть два паралельних канали: канал селектора 761-1A з подальшим лінійним оцифровувачем 765-1A і канал селектора 761-1B з подальшим лінійним оцифровувачем 765-1B.

На основі інформації, одержаної під час проходження еталонної труби, оператор зчитує в селекторі 761-1A інформацію T_1A, відповідну часовому зазначенню положення і ширини, яке залежно від відомої геометрії труби позначає йому моменти, в які він одержить «ехосигнал внутрішньої поверхні», пов'язаний з внутрішньою поверхнею труби, наприклад, перший ехосигнал Int1, показаний на Fig.6. На Fig.6A більш чітко показане відповідне часове вікно «Int» навколо TphiInter.

Точно так само, на основі інформації, одержаної під час проходження еталонної труби, оператор зчитує в селекторі 761-1B інформацію T_1B, відповідну часовому зазначенню положення і ширини, яке залежно від відомої геометрії труби позначає йому моменти, в які він одержить «ехосигнал зовнішньої поверхні», пов'язаний із зовнішньою поверхнею труби, наприклад, перший ехосигнал Ext1, показаний на Fig.6. На Fig.6A більш чітко показане відповідне часове вікно «Ext» навколо TphiExter.

Схема повторюється для інших датчиків Rx-2, ..., Rx-i, ..., Rx-n.

Таким чином, кожний часовий селектор 761 працює у часових вікнах з урахуванням моменту випромінювання ультразвуку і попередньо визначених часових інтервалів, в які можна очікувати ехосигнали, відповідні цьому селектору. На Fig.6 показано, як можна визначати цікаві часові інтервали з урахуванням кута падіння ультразвукового променя на трубу, а також з урахуванням діаметра (внутрішнього або зовнішнього) і товщини труби. Даний часовий інтервал відповідає даному ехосигналу в даній точці труби для даного відносного положення між трубою і датчиком.

Для спрощення припустимо, що моменти опромінення синхронізовані по відносному обертанню труба/датчик таким чином, щоб елементарний датчик завжди працював на одній і тій же подовжній твірній труби. Таким чином, вихід його селектора видає послідовність аналогових відліків сигналу, кожний з яких відповідає амплітуді ехосигналу, очікуваного на стінці труби. Ці відліки датчика Rx-1 (наприклад) піддаються оцифровуванню в 765.

Синхронність з опроміненням можна забезпечити за допомогою зв'язку (не показаний) з випромінювачем 70 або його вмикачем, схемою синхронізації 753 або її розгорткою 752 (Fig.8). При бажанні можна зберегти індикацію 750. Система може працювати на трубі, яка обертається з постійною, по суті, швидкістю. У цьому випадку кутова швидкість і швидкість поступального переміщення труби можна виміряти за допомогою точного кутового кодера, наприклад, моделі RS0550168, що постачається компанією Hengsker, і лазерного спідометра, наприклад, моделі LSV 065, що постачається компанією Polytec. Труба також може не

повертатися, в той час як повертається ця система датчиків. У цьому випадку, лазерного спідометра достатньо для вимірювання швидкості поступального переміщення труби, а швидкість обертання датчиків одержують за допомогою кутового кодера.

Для даного опромінення сукупність датчиків Рх-1 - Рх-п дає рядок зображення, який відповідає поперечному перерізу труби. У іншому вимірюванні труби даний елементарний датчик дає рядок, який відповідає твірній труби.

Оцифровувачі 765-1А, 765-2А, ..., 765-іА, ..., 765-пА дозволяють заповнити «внутрішнє» зображення 769А, пов'язане з внутрішньою поверхнею труби. Оцифровувачі 765-1В, 765-2В, 765-іВ, ..., 765-пВ дозволяють заповнити «зовнішнє» зображення 769В, пов'язане із зовнішньою поверхнею труби (для більш чіткого розуміння схеми на виході використана штрихпунктирна лінія).

Запам'ятоване в 769А або 769В зображення, яке є визначеним вище С-сканом, відповідає датчику, що розглядається, або групі датчиків Рх. Кожна точка цього зображення, транспонована в сірі тони, відповідає значенню амплітуди ехосигналу, одержаного при відображенні ультразвукового сигналу від вірогідного дефекту зони, що розглядається, труби. Це значення (надалі позначуване К) може являти собою співвідношення між максимальною амплітудою ультразвукового сигналу, одержаного на трубі в ході тесту, і максимальною амплітудою ультразвукового сигналу, одержаного з вищезгаданого штучного «контрольного дефекту-еталона», визначеного вище.

У цьому випадку це зображення відповідає зоні труби, одержаній шляхом об'єднання, по суті, кільцевих зон труби, які відповідають кожному з оцифрованих рядків. По суті мова йде про кільцеві зони, якщо промінь ультразвуку є, по суті, перпендикулярним до осі труби. Як відомо, для деяких типів дефектів справа в іншому. Тут зони є швидше еліптичними і, по суті, деформованими або «викривленими» в просторі. У даному описі вираз «кільцеві зони» охоплює ці різні варіанти.

Необхідно зазначити, що для одержання цієї повної реконструкції зображення С-скан необхідно мати додаткову інформацію про позиціонування труби відносно датчика. Її можна одержати на окремому вході 740. Ця інформація надходить від кодера XYZ або від лазера XYZ. Оскільки трубу можна ототожнити з циліндром без товщини, то інформація про положення може бути зменшена до двох вимірювань.

Зрозуміло, що застосування винаходу на існуючому стенді контролю ультразвуком («UT bench») передбачає:

- доступність необроблених даних контролю ультразвуком («UT Raw Data»), яка забезпечується, наприклад, за допомогою плати збору, наприклад, моделі NI 6024 серії Е або моделі NI 6251 серії М компанії National Instrument,
- наявність інформації он-лайн про швидкість обертання (труби або головки датчиків), і
- наявність інформації он-лайн про швидкість поступального переміщення труби.

Схему, показану на Фіг.8, можна застосовувати:

- паралельно з датчиком типу Р11 або з датчиком типу Р12, які спостерігають одну і ту ж зону труби в двох різних напрямках. Кожний датчик дозволяє одержати внутрішнє зображення 769А і зовнішнє зображення 769В. Після цього, залежно від команди, позначеної «Int/Ext», можна вибрати одне із зображень;

- паралельно з датчиком типу Р21 і з датчиком типу Р22, які також дозволяють, кожний, одержати внутрішнє зображення 769А або зовнішнє зображення 769В.

Схему, показану на Фіг.8А, можна також застосовувати з датчиком типу Р1, і в цьому випадку передбачають три паралельних канали після кожного підсилювача (щонайменше віртуально). Один з каналів працює на повторюваному часовому стробімпульсі, показаному на Фіг.6В позначенням «Об'єм». Цей канал забезпечує контроль дефектів в об'ємі, тобто в товщині труби.

Два інших канали можуть працювати відповідно на повторюваних часових стробімпульсах, показаних на Фіг.6В позначеннями «WphiExter0» і «WphiInter1». Ці два інших канали дозволяють вимірювати товщину труби.

Відмінність між 3 каналами є чисто функціональною (віртуальною). Дійсно, згадані два інших канали фізично можуть бути одним і тим же каналом, в якому розрізняють моменти або стробімпульси «WphiExter0» і «WphiInter1». Можна також використовувати один фізичний канал, в якому розрізняють моменти або стробімпульси «WphiExter0», «Об'єм» і «WphiInter1».

Далі йде більш детальний опис випадку датчика типу Р11 з датчиком типу Р12. Це тепер і буде зроблено.

Потрібно нагадати, що ці дві групи датчиків Р11 і Р12 служать для виявлення подовжніх дефектів на трубах. Ультразвуковий контроль здійснюють за допомогою опроміненнь ультразвуком (US) в двох переважних напрямках («за годинниковою стрілкою» - «проти годинникової стрілки»):

- датчик або група датчиків Р11 видає ультразвукове зображення труби в робочому напрямі («за годинниковою стрілкою»);

- другий датчик або група датчиків Р12 видає ультразвукове зображення цієї ж труби в іншому робочому напрямі («проти годинникової стрілки»).

Таким чином, подовжні дефекти переважно виявляють за допомогою 2 датчиків або груп датчиків, осі променя яких нахилені симетрично відносно площини, перпендикулярної до осі труби. Наприклад, нахил складає приблизно +/-17°. Це і є прикладом застосування вищезазначеної системи з двох датчиків або з двох груп датчиків.

На Фіг.9 показаний приклад двох зображень 901 і 902 типу С-скан, розташованих одне над одним, з однаковим відліком часу. Ці два зображення одержують відповідно на основі інформації від 2 груп датчиків в протилежних положеннях, тут групи датчиків типу Р11 і Р12 (у варіанті - групи датчиків типу Р21 і Р22), причому для одного з двох випадків «Внутрішнє»/«Зовнішнє».

Зображення блоків 901 і 902 являють собою сигнал на рівні сірого кольору (по суті в колірній гаммі). За бажанням виводять додаткову індикацію, додаткові зображення якої:

- 921, яке показує амплітуду сигналу по вертикальній лінії 911, вибраній в зображенні 901,
- 922, яке показує амплітуду сигналу по вертикальній лінії 912, вибраній в зображенні 902,
- 910, яке містить дві криві, які представляють максимум, виявлений на відповідній вертикалі в зображеннях 901 і 902 відповідно.

Далі розглянемо Фіг.11. Блоки зображень 901 і 902 являють собою запам'ятовані зображення для груп датчиків P11 і P12, наприклад, зображення, показані на Фіг.9. Зображення 901 одержане за допомогою способу, показаного на Фіг.8А. Блок перетворювача 891 на Фіг.11 відповідає зборці на Фіг.8А, застосованої для датчика P11. Точно так само, блок перетворювача 892 також відповідає монтажу на Фіг.8А, але застосовно до датчика P12. Блоки перетворювачів 891 і 892 використовують дані контексту труба/датчики блока 740. Ці дані пов'язані з характеристиками труби під час дослідження і датчиків під час використання. Вони передаються також на блоки перетворювачів 891 і 892, на блоки зображень 901 і 902, а також на блок комбінаторного пристрою 960.

Після блоків 901 і 902 показані фільтри 921 і 922, які дозволяють, зокрема, одержувати вибірки з зображень, а також дані їх підготовки як вхідних даних, об'єднаних блоком комбінаторного пристрою 960 для нейронної обробки 970, що буде показано.

У описаному варіанті виконання фільтр 921 містить:

- вихід сигналу Z_{sig} , який позначає робочу зону в зображенні. Цей вихід використовують для функції вибірки 951, яка здійснює, таким чином, вибірку з зображення (С-скан) для зони Z_{sig} , і доступу до підготовки зображення 891 з метою одержання в ньому запам'ятованої інформації (званої А-скан), яка стосується цієї ж зони Z_{sig} . Всі ці дані передаються функцією вибірки 951 в комбінаторний пристрій 960 як вхідні сигнали нейронної обробки 970,

- вихід, що видає інформацію, одержану в результаті фільтрування, яка, щонайменше деяка, стосується зони Z_{sig} , яку він передає як вхідний сигнал нейронної обробки (комбінаторний пристрій 960),

- факультативно (пунктирна лінія) додаткові виходи даних для запам'ятовуючого пристрою 990.

Це ж стосується і фільтра 922 з функцією вибірки 952 для поточної зони Z_{sig} .

Нейронна обробка 970 забезпечує логіку 992 прийняття рішення і сигналізації, яка керує автоматом сортування і маркування 994. Можна передбачити інтерфейс 996 для інтерпретації оператором, через який можна представити всі або частину даних, які містяться в запам'ятовуючому пристрої 990 і пов'язані з ділянкою труби, під час дослідження.

У цьому випадку Фіг.11 обробляє інформацію, що надходить як мінімум від двох груп датчиків, які забезпечують однакову функцію або призначені для однакового типу контролю (2 груп P11 і P12 або 2 груп P21 і P22). Ця ж схема може служити для обробки даних, що надходять від більшого числа груп датчиків, призначених для контролю різного типу. Відповідно збільшується число одно-

часно оброблюваних зображень.

Первинною функцією фільтрів 921 і 922 є визначення зон дефектів в зображеннях С-скан 901 і 902. Як правило, фільтрування здійснюють, щоб виділити зони для аналізу і відділити там дефекти від інших показань. Фільтрування працює на двох подібних ділянках двох зображень, показаних на Фіг.9. По суті, обидва фільтри працюють спільно, що відображено на Фіг.11 у вигляді з'єднуючого їх двостороннього зв'язку.

За допомогою сканування цифрового зображення спочатку локалізують місця зображення, де існують потенційні дефекти.

Для цього можна застосовувати фіксоване порогове значення, встановлене методом калібрування.

На цей час заявник вважає за краще використовувати поріг, відповідний поточному рівню шуму в зображенні. Метод оснований на теорії виявлення сигналу в білому шумі, яка може ґрунтуватися на двох гіпотезах:

Гіпотеза H0: вимірювання = білий шум з середнім значенням m_b і типовим відхиленням std_b .

Гіпотеза H1: вимірювання = сигнал + білий шум.

Здійснюють статистичні тести, які дозволяють визначити, чи знаходимося ми в рамках гіпотези H0 або гіпотези H1. Ці статистичні розрахунки здійснюються в реальному часі для n ковзних точок зображення, відповідних послідовним опроміненням, причому число n може бути визначене шляхом навчання.

Згідно з цим способом (так званий випадок «адитивного гауссівго шуму»), можна, наприклад, використовувати критерій Неймана-Пірсона для визначення порога виявлення по заданій імовірності помилкової тривоги (pfa). Це виражається прикладеною формулою [21]. Використовують кумулятивну гауссіву функцію, звичайно звану Q (або ще функцією похибки erf), яку необхідно інвертувати для одержання порога, згідно з прикладеною формулою [22].

На практиці часто відмічають присутність фоновому шуму, який може мати різне походження (наприклад: присутність води всередині труби, фон змінного струму, акустичні явища, пов'язана зі структурою матеріалу контролюваного виробу). Використання змінного порога дозволяє уникнути помилкових тривог, які виникають при застосуванні фіксованого порога.

Серед інших хибних сприйманих показників, які можуть з'явитися, перешкоди виявляються дуже короткими піками в ультразвуковому сигналі. Ці перешкоди можна виділити за допомогою простих алгоритмів, які можна назвати алгоритмами кумулятивного обліку або ще інтеграторами (приклад: « n імпульсів перед тривою» або «подвійний поріг»).

Заявник розглянув також «виток», що являє собою шлях, який проходить датчиком вздовж циліндричної поверхні, з якою ототожнюють трубу. Фільтрування можна здійснювати вздовж кожного витка, щоб ще більше скоротити частку хибних тривог. Для цього використовують, наприклад, фільтр Баттерворта і/або дискретне перетворення Фур'є, таке як швидке перетворення Фур'є. Цей

прийм застосовують для кожного оцифрованого рядка.

Аналогічний алгоритм можна застосовувати в напрямі довжини труби.

Таким чином, локалізують потенційні дефекти. При виявленні дефекту, його положення відповідає положенню, визначеному шляхом аналізу зображень, показаних на Фіг.9 (наприклад). Це двовимірне зображення відповідає розгортці труби, що ототожнюється з циліндром без товщини. Індикації радіального положення/товщини (або, простіше кажучи, внутрішнє положення, зовнішнє положення або положення дефекту в масі) можуть бути представлені як атрибути точок зображення. Таким чином, маємо:

- два двовимірних зображення, які показують вірогідні дефекти на зовнішній поверхні труби,
- два двовимірних зображення, які показують вірогідні дефекти на внутрішній поверхні труби,
- одне двовимірне зображення, яке показує можливі дефекти в товщині труби.

Тепер розглянемо «підтверджені» дефекти, зокрема, після усунення перешкод і хибних тривог.

Для розгляду заявник вибрав роботу в зоні зображення фіксованого розміру. Тому цю зону необхідно пов'язувати з одержаними даними існування дефекту.

Інакше кажучи, відмічені точки потрібно вважати такими, що перевищують поріг, щоб визначити повну зону навколо дефекту. Необхідність в цьому виникає, наприклад, коли потрібно визначити похиле положення дефекту. Алгоритм організований різними етапами:

- виявлення контуру (наприклад, градієнт Робертса),
- розширення (об'єднання близьких контурів),
- розмивання, потім змикання, що дозволяє визначити маску навколо дефектів,
- останній етап охоплення дозволяє повністю локалізувати дефект.

Таким чином, для кожного дефекту одержують координати відповідної зони зображення, які будуть використані для подальшого її аналізу за допомогою нейронної мережі.

На Фіг.12 у вигляді блок-схеми показана ця обробка зон зображення.

На початку зображень (801) необхідно обробити від 0 до r зон зображення, в яких містяться підтверджені дефекти. Операція 803 передбачає, що існує щонайменше одна перша зона, яка служить поточною зоною Zcur, оброблюваною на етапі 805. Для цієї зони Zcur:

- під час операції 807 селективно витягують дані з зображень 901 і 902, які відповідають цій зоні (визначеній в зображенні своїми координатами);
- під час операції 809 селективно витягують дані, які були використані при підготовці зображень 901 і 902 і які відповідають зоні Zcur. Приклади цих даних будуть наведені нижче;
- під час операції 811 здійснюють власне нейронну обробку, яка буде розглянута нижче;
- результати, одержані для зони Zcur, селективно запам'ятовують на етапі 813 відповідно до

позначення зони Zcur;

- тест 820 дозволяє визначити, чи є в зображенні ще інша зона для обробки, і в цьому випадку поновлюють етап 805 з цією іншою зоною, що зазначено в 821; якщо ні - обробка поточного зображення або поточних зображень завершена (822).

У випадку обробки датчика P1 існує тільки одне зображення, що міняє число вхідних параметрів. За винятком цього моменту, обробка в основному є такою ж.

Після визначення кожної цікавлячої зони Zcur, фільтрування може включати інші функції. Для цих інших функцій на Фіг.13 схематично показаний взаємозв'язок між фільтруванням і послідовністю операцій, показаних на Фіг.11.

Фіг.13 аналогічна Фіг.11, але тільки для зображення 901. На ній показані:

- елементи контексту труба/датчики блока 740,
- екстрактор 951, який знаходить дані для зони Zcur в зображенні 901 і для його підготовки 891,
- внутрішній/зовнішній блок 7410, який вказує, чи знаходиться дефект в зоні Zcur, що розглядається, на внутрішній поверхні або на зовнішній поверхні.

Те, що фільтрування додає до базових даних, більш детально визначається для кожної зони Zcur (блок 805), а саме, як показано в рамці, позначеній пунктирною лінією:

- пошук кута нахилу в 931,
- індикація довжини дефекту 932. До цього можна, зокрема, додати:
- індикацію вирівнювання по С-скан в 935, і
- в 936 - індикацію існування інших дефектів в цьому ж поперечному перерізі труби.

У описаному варіанті здійснення дані, такі як 935 і 936, направляються в пам'ять 990. Інші дані направляються в нейронні мережі 970. Ці мережі поділяються по двох функціях, що буде показано нижче.

Нейронні схеми

Дефект в трубі може бути визначений по його положенню, його типу і його серйозності, часто зумовленої його глибиною. У описаному варіанті здійснення тип і міру глибини дефекту труби визначають окремо за допомогою двох нейронних процесів, що мають однакову загальну структуру, які будуть більш детально розглянуті нижче на прикладі.

Випадок типу дефекту представлений на Фіг.14, тоді як випадок серйозності розглянутий на Фіг.15.

Типи можна визначати, наприклад, як показано на Фіг.10A-10D. На цих фігурах показані чотири типи, які являють собою спрощений вибір, в порівнянні зі списком дефектів, забезпечуванім API, і можуть з'являтися в процесах обробки труби. Для позначення природи дефектів фахівці використовують назви, вказані на французькій і англійській мовах. Зазначається, що дефекти типів 1 і 3 є прямими, а дефекти на Фіг.2 і 4 є зігненими (з «хордою»).

Відповідність між реальними дефектами і вищезгаданими чотирма типами можна визначити таким чином:

Назва на французькій мові	Назва на англійській мові	Відповідність
Виймка	Notch	ТИП 1
Тріщина	Crack	ТИП 1
Непровар/Плена перпендикулярна або пряма (прокат)	Seam (perpendicular)	ТИП 1
Непровар/Плена (прокат)	Seam (arcuate), "overlap"	ТИП 2
Розщип	Sliver	ТИП 3
Дефект заготовки	Rolled-in-slug	ТИП 4
Подряпина	Gouge	ТИП 4
Включення	Inclusion	ТИП 4
Відсутність матеріалу («пустота»)	Bore-slug	ТИП 4
Перекивання/напусток/складка	Lap	ТИП 4

У цьому випадку на обох Фіг.14 і 15 представлені нейронні схеми з трьома проміжними нейронами (або «прихованими нейронами»), позначеними NC121-NC123 на Фіг.14 і NC141-NC143 на Фіг.15.

Фіг.14 і 15 мають загальне визначене число вхідних сигналів. Щоб полегшити розуміння, вхідні сигнали показані різними типами ліній. Подвійними лініями показані множинні вхідні сигнали, тобто повторювані для кожної точки зони Zsig.

Передусім, в 7410 залежно від стану, що розглядається, відповідних селекторів 761 одержують інформацію, яка вказує, чи йде мова про обробку дефекту, що знаходиться на внутрішній поверхні або на зовнішній поверхні стінки труби.

Друга категорія загальних вхідних величин містить величини контексту, які надходять з блока 740 (Фіг.13):

- в 7401 - WT/OD, яка є відношенням товщини стінки до діаметра труби,

- в 7402 - Freq, яка є робочою частотою ультразвукових щупів,

- в 7403 - ProbDiam, яка є корисним діаметром ультразвукових щупів. Третя категорія загальних величин включає кількісні значення, які одержують з фільтрування і які можна вважати загальними для двох датчиків 921 і 922 (або більше). Визначають, наприклад, середнє значення результатів по двох датчиках або беруть найбільш характерний результат (максимум/мінімум, залежно від випадку). Цими кількісними величинами є величини в 9201, нахил дефекту і його довжина в 9202. Ці дві величини можна легко уловити на двох зображеннях, показаних на Фіг.9, які мають дзеркальну симетрію.

Далі розглянемо тільки Фіг.14. Наступна категорія величин включає величини окремих вимірювань для кожного з двох датчиків (або груп датчиків) і для кожної з зон Zsig, що показано на кресленні із застосуванням подвійної лінії.

Для першого датчика маємо:

- В 9511 - K1, яка є співвідношенням між максимальною амплітудою ультразвукового сигналу в зоні Zsig і на зображенні 901 і максимальною амплітудою вищезазначеного «контрольного дефекту-еталона». По суті, в даному прикладі, цим відношенням визначають амплітуду в кожному пікселі зображення 901; в цьому випадку K1 є просто максимумом амплітуди в зоні Zsig зображення 901; точку зони Zsig, де зустрічається цей максимум, позначають Pmax1.

- В 9512 - QBE1, яка є величиною в С-скан,

званою QuantBumpsEchodyn, і являє собою число локальних максимумів, в зоні Zsig зображення 901 поблизу точки Pmax1 максимальної амплітуди. Це число QBE1 обмежене локальними максимумами, що знаходяться по сусідству з Pmax1 з одного боку і з іншого, але при цьому амплітуда сигналу не опускається нижче рівня, відповідного фоновому шуму. Як правило, QBE1 приймає або значення 1, або значення 2.

Ці дві величини одержують із зображення 901 через екстрактор 951, що на кресленні відображено позначенням 951(901). До цього додаються:

- в 9518 - RT1, яка є величиною, що являє собою час підвищення ехосигналу в первинному ультразвуковому сигналі, званому А-сканом (мова йде про проміжок між моментом, коли сигнал є максимальним, і останнім попереднім моментом, коли сигнал знаходиться на рівні фонового шуму, який часто виражається мікросекундами). Ця величина RT1 була виміряна раніше на виході відповідного підсилювача 73 (Фіг.8А); вона була внесена в пам'ять, наприклад, 891, згідно з пов'язаною з нею точкою труби. Саме так вона може бути селективно витягнута екстрактором 951.

Для другого датчика маємо:

- В 9521 - K2, яку визначають як і K1, але для зображення 902 замість зображення 901. У даному прикладі K2 є просто максимумом амплітуди, в зоні Zsig зображення 902; точку зони Zsig, де зустрічається цей максимум, позначають Pmax2.

- В 9522 - QBE2, що визначається як і QBE1, але для зображення 902 замість зображення 901 і по сусідству з Pmax2. Тут також QBE2 приймає або значення 1, або значення 2.

Ці дві величини одержують із зображення 902 через екстрактор 952. До них додаються:

- в 9528 - RT2, яка є величиною, що являє собою час підвищення ехосигналу в первинному ультразвуковому сигналі, званому А-сканом. Як і в попередньому випадку, ця величина RT2 була виміряна раніше на виході відповідного підсилювача 73 (Фіг.8А); вона була внесена в пам'ять, наприклад, 892, згідно з пов'язаною з нею точкою труби. Саме так вона може бути селективно витягнута екстрактором 952.

Останній вхідний сигнал 958 нейронної мережі є постійним значенням, позначеним ConstantA, яке являє собою константу, що визначається під час налагодження моделі в результаті навчання.

Вихідний сигнал 998, показаний на Фіг.14, є величиною, яка вказує на тип дефекту і його середній нахил (що визначається залежно від типу).

Випадок міри глибини (або серйозність) дефекту розглянутий з посиланнями на Фіг.15. Входи є такими ж, що і на Фіг.14, за винятком того, що:

- для першого датчика блок 9512 замінюють блоком 9513, який обробляє величину EW_1 або EchodynWidth, яка є шириною на половині висоти (50%) форми еходинамічної хвилі для цього першого датчика. Цю величину EW_1 одержують з C-скана.

- Точно так само, для другого датчика блок 9522 замінюють блоком 9523, який обробляє величину EW_2 або EchodynWidth, яка є шириною на половині висоти (50%) форми еходинамічної хвилі для цього другого датчика.

- В 959 константа, позначена в цьому випадку ConstantB, є іншою.

- Вихід 999 є індикацією серйозності дефекту, яка позначається DD. Потрібно зазначити, що в обох випадках (Фіг.14 і 15) дана нейронна схема 970 обробляє вибірку з зображення 951 для однієї з груп ультразвукових датчиків, а також вибірку з зображення 952, відповідного тій же зоні, але одержаного від іншої групи датчиків.

Заявник встановив, що можна одержати дуже задовільні результати за умови належного регулювання параметрів нейронних схем і, у випадку необхідності, їх числа, для оптимізації прогнозування.

Крім того, заявник констатував, що прогнозування можна зробити ще більш точним за рахунок комбінування інформації, зібраної різними нейронними мережами.

Загалом вхідними параметрами нейронної мережі є характеристики двох зображень (відношення максимальної амплітуди до амплітуди еталона, ширина ехосигналу, орієнтація ехосигналу, яка визначає нахил дефекту і т.д.) і контролю (датчик, розміри труби і т.д.).

Вихідними параметрами є характеристики дефекту (глибина, нахил/тип). Прийняття рішення і/або сигналізація (992) можуть бути здійснені автоматично за допомогою вибраних критеріїв прийняття рішення, на основі порогів, з урахуванням запасу надійності, згідно з вимогами. Для визначення цих порогів можна також скористатися результатами навчання.

Далі розглянемо Фіг.16, яка є моделлю елементарної нейронної схеми, показаної на Фіг.14 і 15, для двох датчиків.

Ця модель включає вхідний рівень або шар IL ("Input Layer"), який об'єднує всі вхідні параметри (часто звані «вхідними нейронами»). Щоб не перевантажувати фігуру, показані тільки три нейрони E1-E3, плюс константа, яку також можна розглядати як нейрон E0. Цю константу частіше за все називають «систематичною похибкою». На практиці вхідні нейрони є більш численними, як показано на Фіг.14 або на Фіг.15, залежно від випадку.

Після цього передбачений щонайменше один рівень або шар HL ("Hidden Layer" або «прихований шар»), який містить k нейронів (з яких показані тільки два, щоб не перевантажувати креслення).

Нарешті, іде вихідний нейрон S1, який видає рішення у вигляді значення, що представляє важливість дефекту труби, наприклад, подовжнього дефекту. Цей вихід відповідає блоку 998 на Фіг.14 і

блоку 999 на Фіг.15.

Зазначимо, що «нейрон»-константа E0 використовують для надання вагового коефіцієнта не тільки прихованому шару або прихованим шарам HL, але також вихідному нейрону (шар OL або "Output Layer").

Загальна поведінка нейронної схеми, використаної в цьому випадку, виражена формулою [11] Додатка 1, де w_{ij} є ваговим коефіцієнтом, застосовуваним до сигналу X_i , присутнього на вході нейрона].

У передбаченій тут схемі, елементарний нейрон передбачається за формулою [12], що схематично показано на Фіг.17.

Вихід S_1 на Фіг.16 видає розрахункове значення, яке відповідає формулі [13] Додатка 1.

Шляхом навчання заявник привів у відповідність приховані нейрони і їх вагові коефіцієнти таким чином, щоб функція f була нелінійною, безперервною, диференційованою і обмеженою функцією. У переважному прикладі вона є функцією арктангенса.

Відомо, що нейронна мережа визначає свої коефіцієнти w_{ij} , звичайно звані синапсами, шляхом навчання. Це навчання повинно застосовувати звичайно в 3-10 разів більше прикладів, ніж число обчислюваних вагових коефіцієнтів, і в той же час правильно покривати діапазон необхідних робочих умов.

Виходячи з прикладів E_p (p = від 1 до M), для кожного з прикладів визначають відхилення D_h між значенням S_p , виданим нейронною схемою, і реальним значенням R_p , виміряним або визначеним експериментально. Саме це і відображає формула [14].

Якість роботи нейронної схеми визначається загальною величиною відхилення S_g , званою «вартістю». Вона може бути виражена, наприклад, формулою [15] як загальна величина квадратичного зваженого відхилення.

Навчання ставить різні проблеми у випадку контролю дефектів в трубах, зокрема, як було зазначено, мова йде про складні технології.

Передусім, заявник провів перше навчання на основі моделювання. Для цього можна використувати програмне забезпечення CIVA, яке розроблене і випускається в продаж Комісаріатом з атомної енергії Франції. Це перше навчання дозволило виявити параметри, що впливають, і побудувати першу версію нейронної мережі на основі віртуальних дефектів. Була оптимізована функція вартості.

Після цього заявник провів друге навчання, яке комбінує результати, одержані на моделюванні і штучних дефектах, тобто створених навмисно на реальних трубах. Це друге навчання дозволило побудувати другу версію нейронної мережі, функція вартості якої також була оптимізована.

Після цього заявник скомбінував результати, одержані на штучних дефектах і на дефектах, що були присутніми на реальних трубах, причому ці дефекти були точно відомі в результаті вимірювань, зроблених після виготовлення за межами виробничого конвеєра. Ця третя фаза дозволила підтвердити останню версію нейронної мережі. Ця версія виявилася найбільш відповідною для конт-

ролю за виробництвом. Разом з тим, при впровадженні на новій або модифікованій установці її потрібно піддати «регулюванню» за допомогою десятка штучних еталонів, які охоплюють весь діапазон оброблюваних дефектів. Після цього, природно, проводять оптимізацію.

Фіг.11, 12, 14 і 15 були описані в рамках розгляду датчиків P11 і P12.

Цей же принцип можна застосувати для груп датчиків P1. У цьому випадку зображення 2 не буде, і побудована мережа буде мати менше вхідних параметрів, як було зазначено вище. Схеми, описані для двох датчиків, можна використовувати для одного датчика, але без вхідних параметрів для частини «зображення 2».

Цей же принцип можна застосовувати також для двох груп датчиків P21 і P22, призначених для виявлення поперечних дефектів, з урахуванням того, що для цього виявлення датчики мають нахил (наприклад, $\pm 17^\circ$) в площині, яка проходить через вісь труби.

Зрозуміло, що в кожному випадку застосовують цифрову обробку визначеного типу, описаного з посиланнями на Фіг.11, за винятком елементів 992-996. Цю обробку позначають загальною позицією 761 на Фіг.8, після чого ідуть блоки 764 і 766.

Таким чином, одержують сукупність, яка показана на Фіг.18 і включає:

- для датчика P1: обробку 761-1 з подальшою фазою прийняття рішення і сигналізації 764-1;
- для датчиків P11 і P12: обробку 761-10 з подальшою фазою прийняття рішення і сигналізації 764-10;
- для датчиків P21 і P22: обробку 761-20 з подальшою фазою прийняття рішення і сигналізації 764-20;
- при цьому всі три фази 764-1, 764-10 і 764-20 спільно інтерпретуються автоматом сортування і сигналізації 766.

Не показаний варіант Фіг.18 передбачає тільки одну фазу «Прийняття рішення і сигналізація», яка напряму використовує вихідні сигнали трьох обробок 764-1, 764-10 і 764-20.

Власне неруйнівний контроль здійснюють «на льоту», тобто по мірі проходження труби в установці контролю. Прийняття рішення в результаті описаної вище обробки інформації також може прийматися по мірі проходження труби в установці контролю (з прийняттям рішення - сигналізацією і маркуванням «на льоту»); варіант прийняття цього рішення має місце після огляду всієї довжини труби або навіть пізніше (наприклад, після контролю всієї партії труб), при цьому кожну трубу відмічають/ідентифікують (наприклад, № по порядку). У цьому випадку необхідно, щоб одержана інформація була зареєстрована (запам'ятована). Зареєст-

ровані дані можуть бути проаналізовані надалі оператором, який має право приймати рішення після аналізу зареєстрованих результатів, оброблених нейронною мережею (нейронними мережами).

Зрозуміло, враховуючи властивості нейронних схем, можна, щонайменше частково, згрупувати всі нейронні схеми (що містяться в обробках 764-1, 764-10 і 764-20) в одну нейронну схему, яка має всі необхідні входи.

Описаний варіант здійснення використовує нейронні мережі напряму. Однак винахід не обмежується цим варіантом здійснення. У цьому випадку, вираз «компонування типу нейронної схеми» може охоплювати інші технології нелінійної статистики, як з нейронними схемами, так і без них.

Запропонована система описана для випадку неруйнівного контролю під час виробництва труб без зварних швів, тобто для найбільш переважного випадку застосування винаходу. Ці ж технології можна застосовувати, зокрема, для довгих і не обов'язково трубчастих металургійних виробів.

У випадку зварних труб або інших зварних виробів (наприклад, таких як листи або плити) система може додатково визначати границі зварного шва і, отже, локалізувати вірогідні дефекти в зварному шві, за якими необхідно спостерігати. Разом з тим, дефекти, що знаходяться за межами границь зварного шва, які можуть відповідати включенням, вже присутнім в листовій заготовці (або у виробі), будуть розглядатися по-іншому.

Додаток 1

Розділ 1

$$Y_i = F\left(\sum_j w_{ij} X_j\right) \quad (11)$$

$$S_1 = F\left(\sum_{i=1}^N E_i w_i + w_0\right) \quad (12)$$

$$S = \sum_{i=1}^k S_i w'_i + w'_0 \quad (13)$$

$$D_p = S_p - R_p \quad (14)$$

Розділ 2

$$C_g = \frac{\sum_{p=1}^P D_p^2}{2M} \quad (15)$$

$$pfa = \int_{\text{popir}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \text{std}_b} e^{-\frac{x - m_b}{2\text{std}_b^2}} dx = Q\left(\frac{\text{popir} - m_b}{\text{std}_b}\right) \quad (21)$$

$$\text{popir} = \text{std}_b Q^{-1}(pfa) + m_b \quad (22)$$

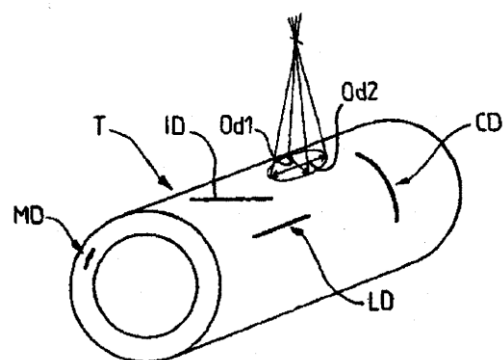


Fig. 1

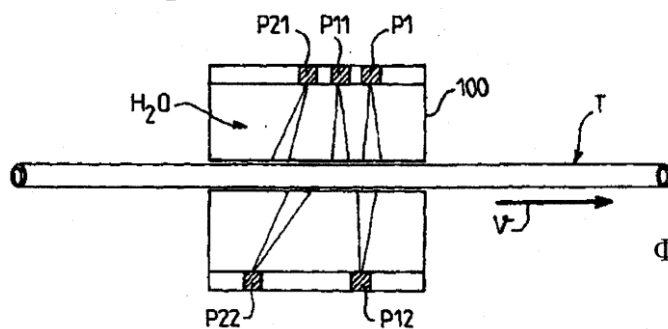


Fig. 2

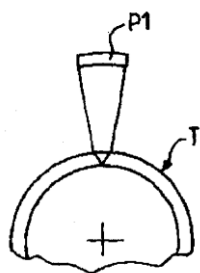


Fig. 3A

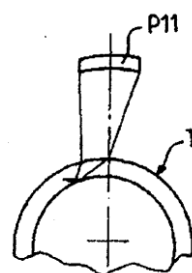


Fig. 3B

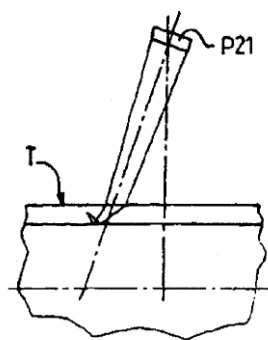
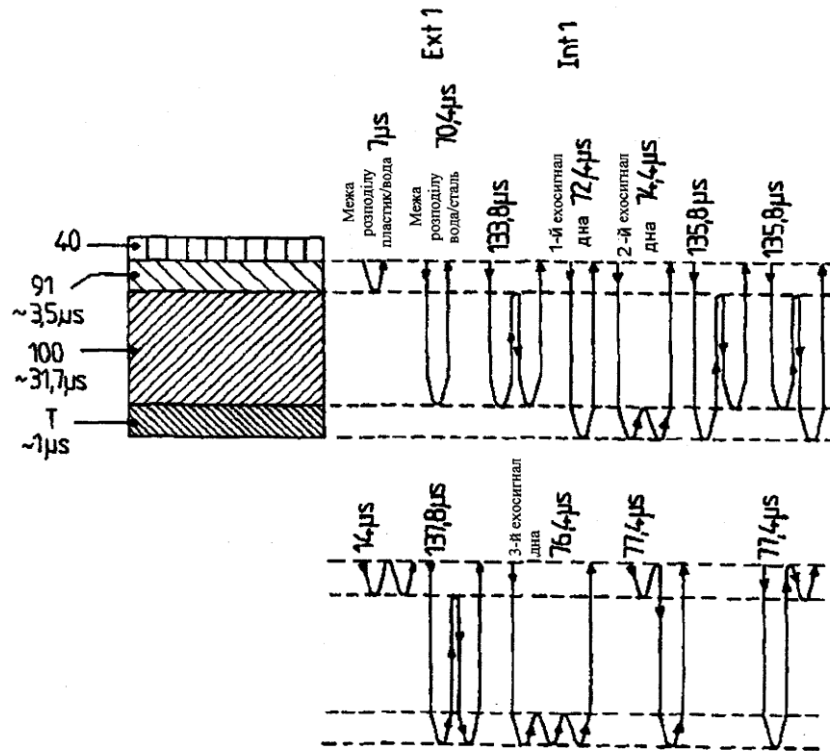
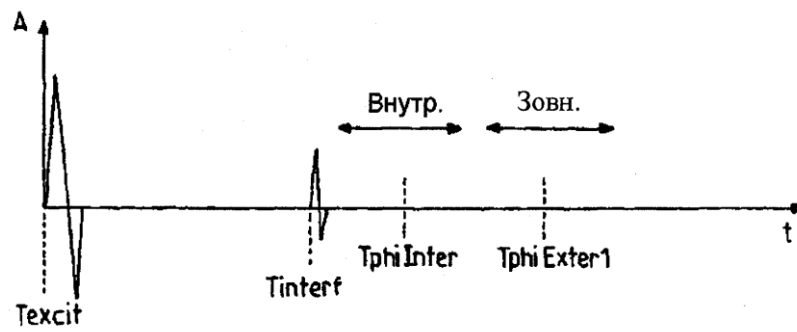


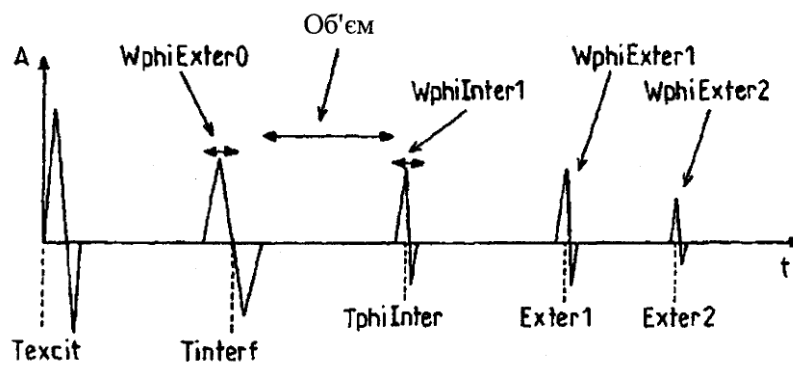
Fig. 3C



Фиг. 6



Фиг. 6A



Фиг. 6B

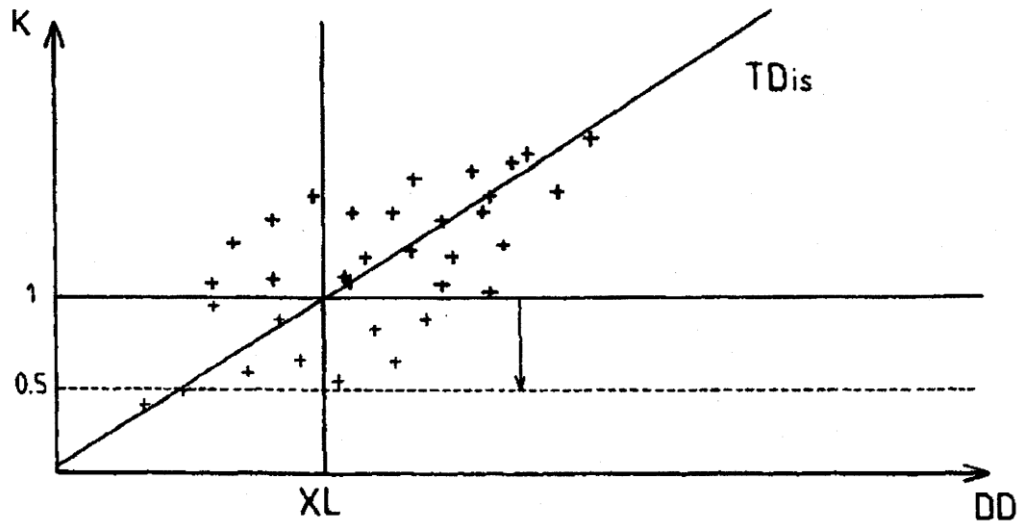


Fig. 7

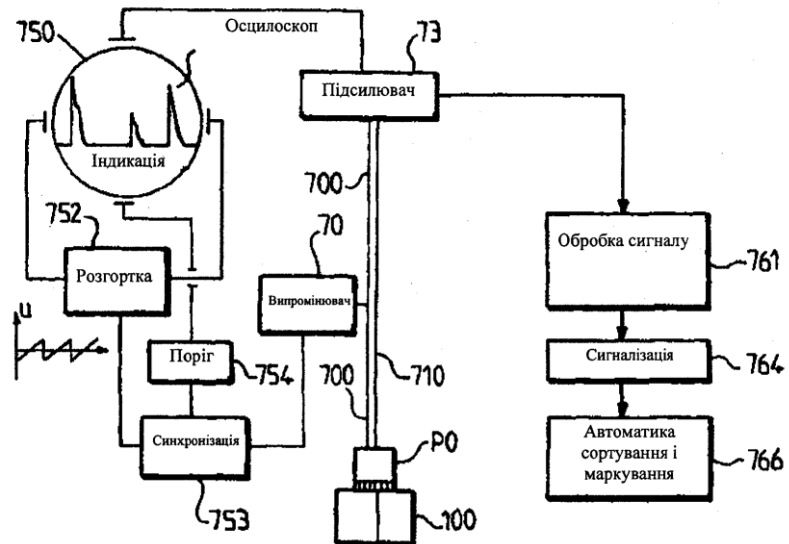
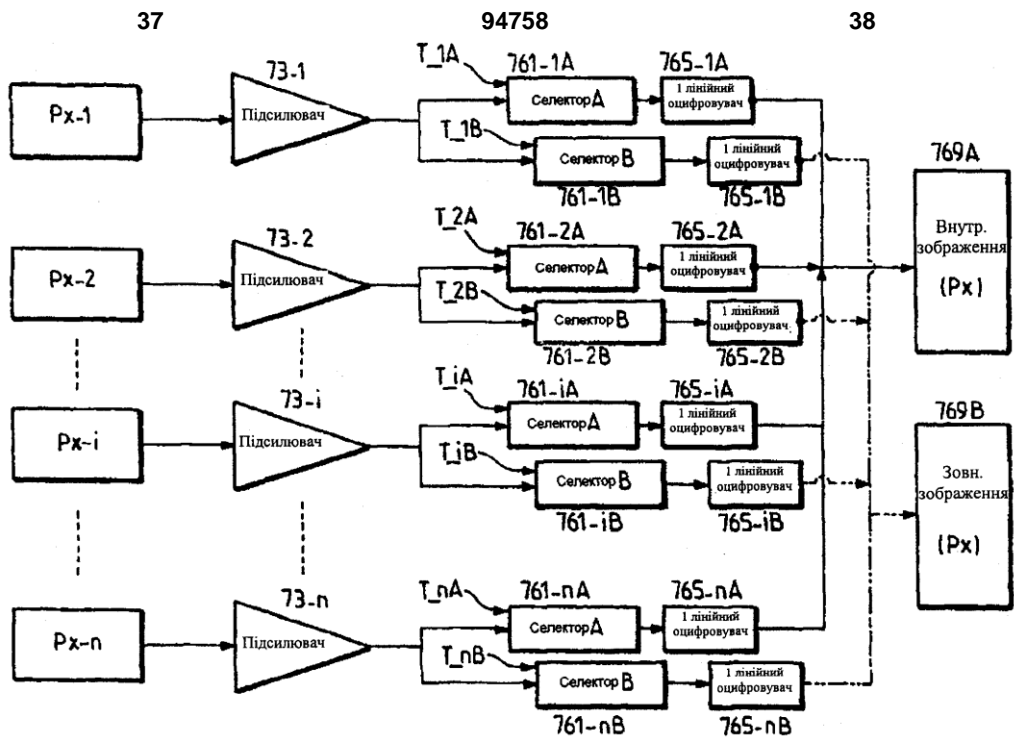
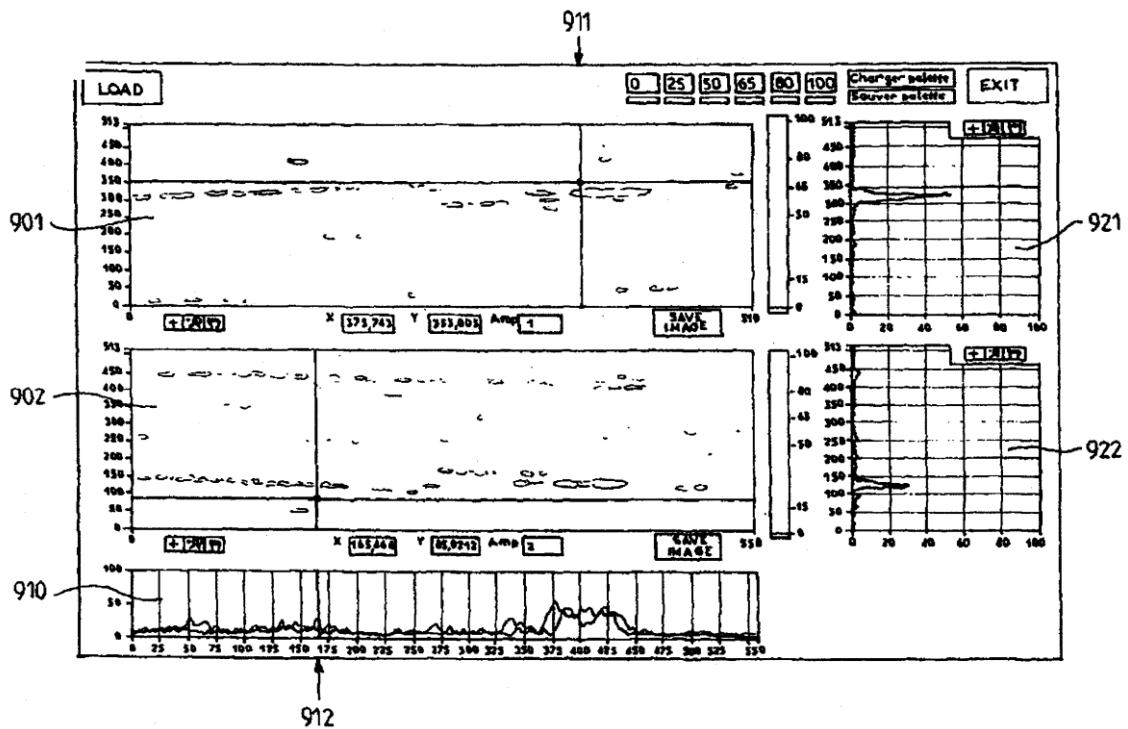


Fig. 8

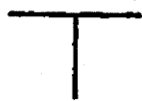


Фіг. 8А



Фіг. 9

ТИП 1
Кут 0°



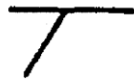
Фіг. 10А

ТИП 2
Кут 0°



Фіг. 10В

ТИП 3
Кут 20-80°

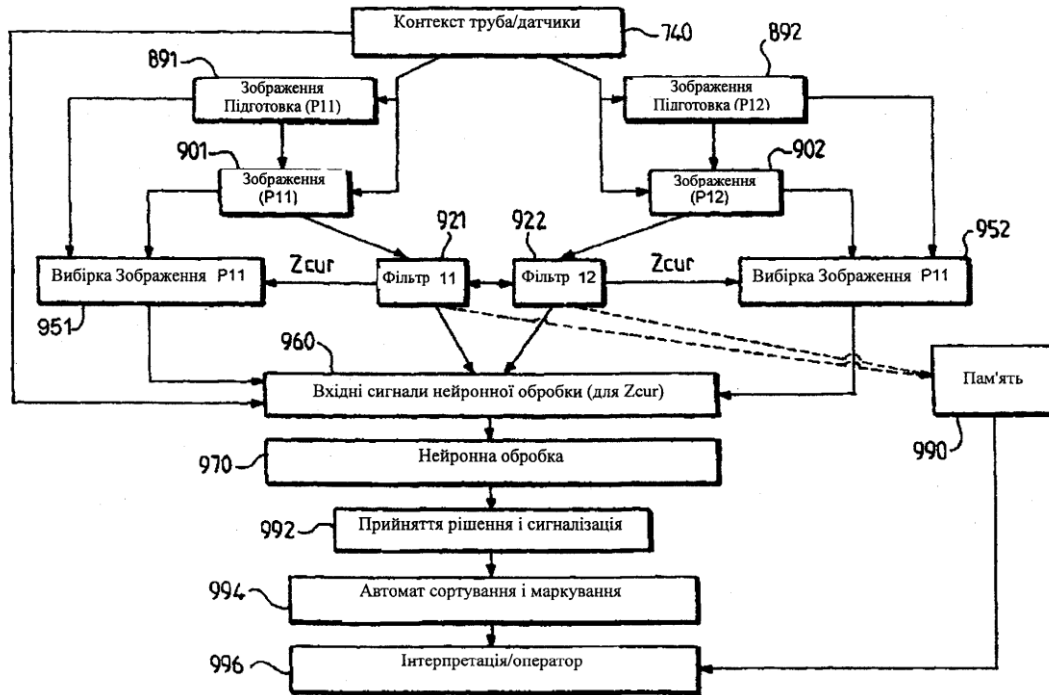


ТИП 1
Кут 20-80°

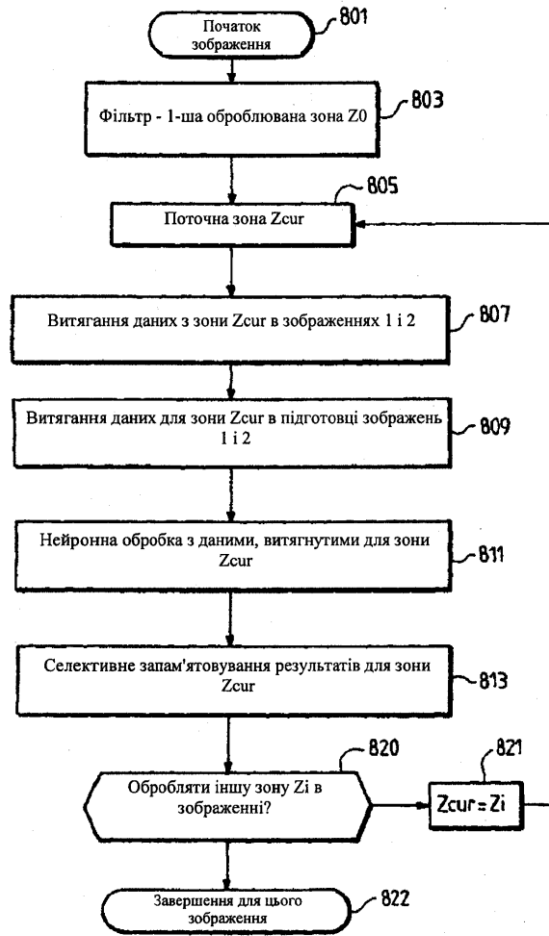


Фіг. 10С

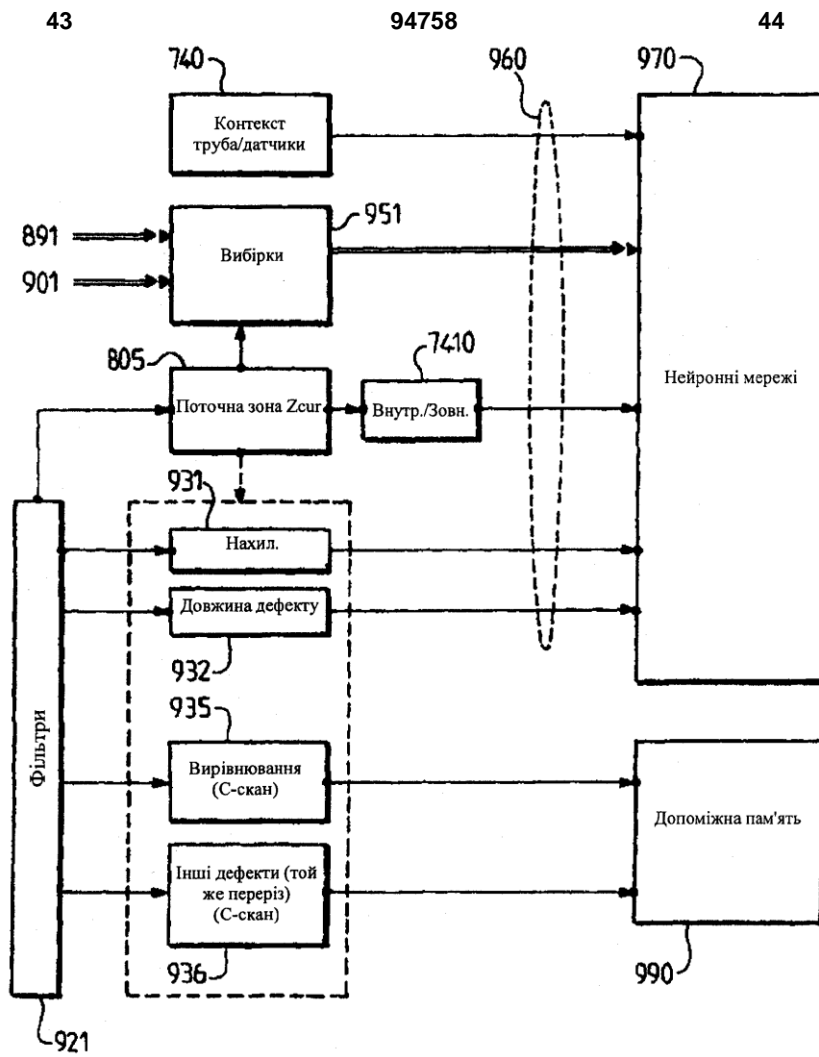
Фіг. 10D



Фіг. 11



Фіг. 12



Фіг. 13

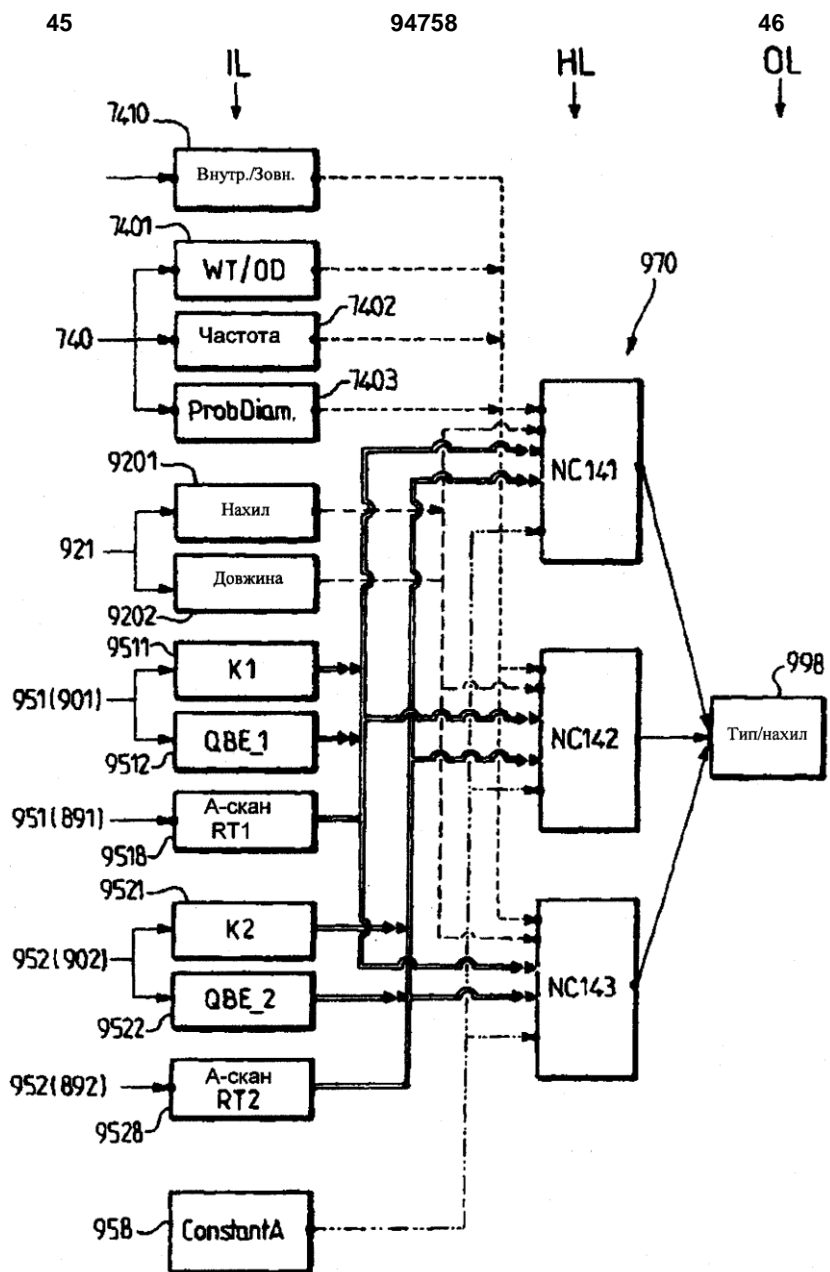


Fig. 14

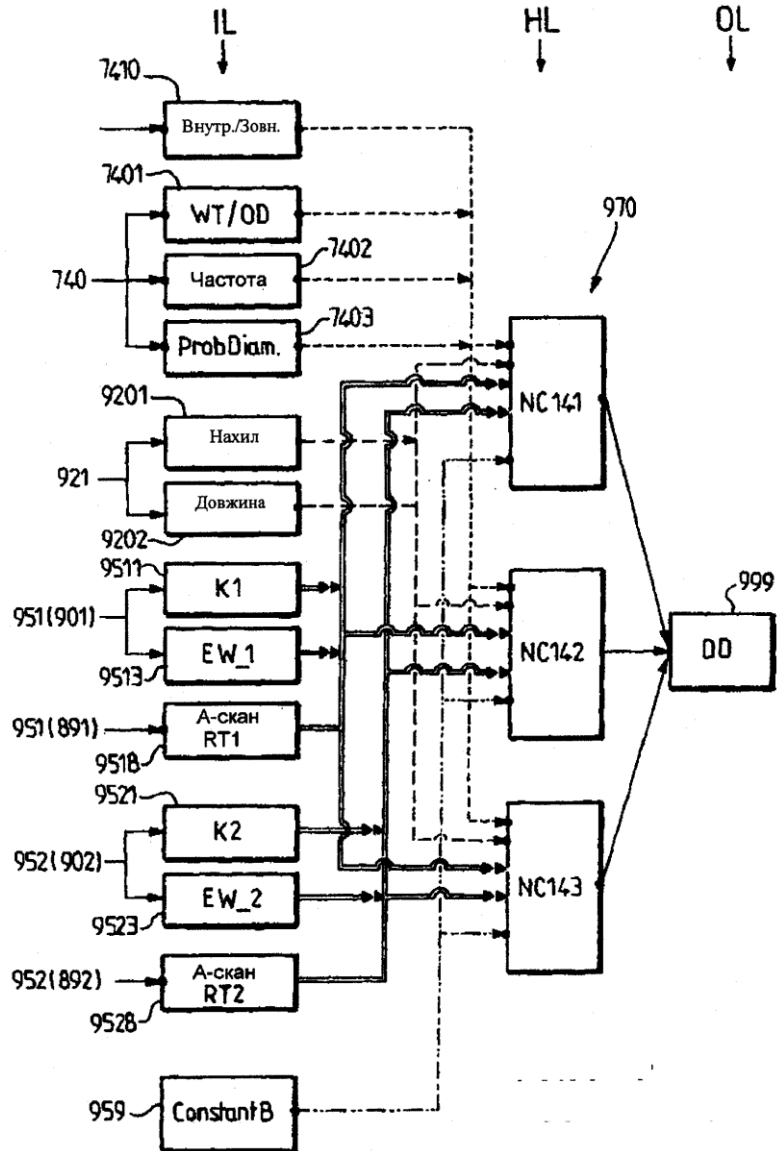
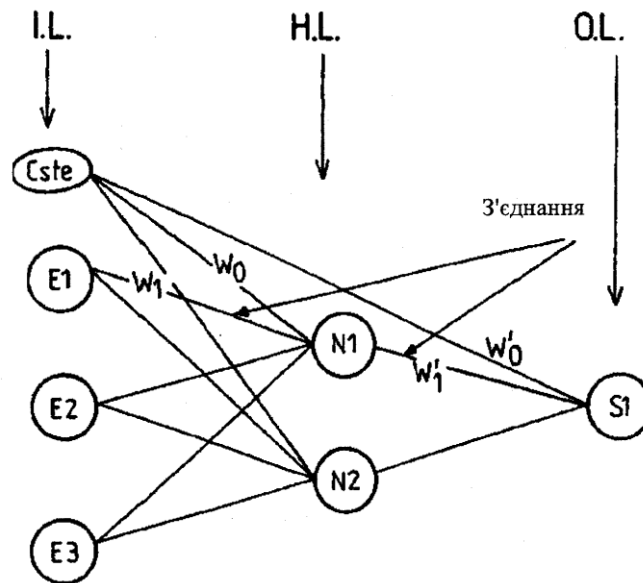
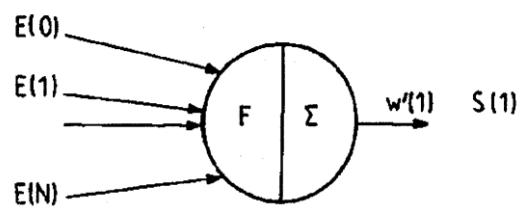


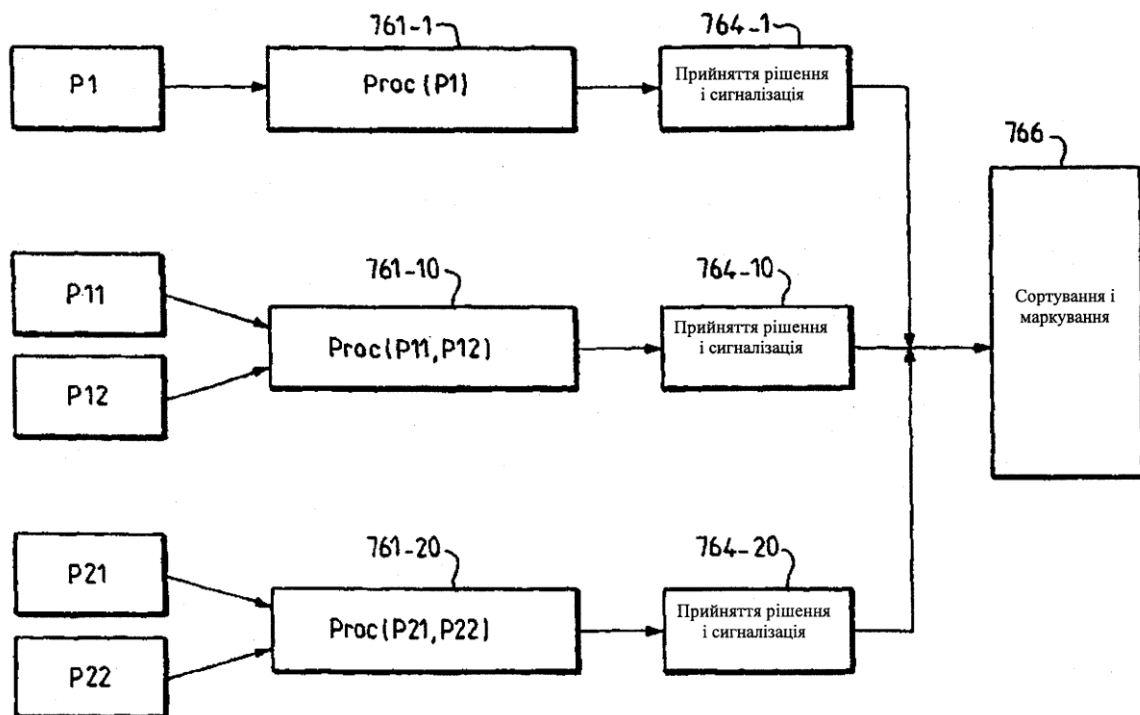
Fig. 15



Фіг. 16



Фіг. 17



Фіг. 18

