



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **112255** (13) **C2**  
(51) МПК**F17D 5/02** (2006.01)**G01N 29/04** (2006.01)**G01S 15/02** (2006.01)**H01Q 21/30** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД****(21)** Номер заявки: **а 2015 05228****(22)** Дата подання заявки: **16.07.2015****(24)** Дата, з якої є чинними права на винахід: **10.08.2016****(41)** Публікація відомостей про заяву: **12.01.2016, Бюл.№ 1****(46)** Публікація відомостей про видачу патенту: **10.08.2016, Бюл.№ 15****(72)** Винахідник(и):  
**Герасимчук Олександр Юрійович (UA),**  
**Гулега Леонід Григорович (UA),**  
**Зацерковський Руслан Олексійович (UA),**  
**Каптяжин Михайло Костянтинович (UA),**  
**Кірсєв Михайло Степанович (UA),**  
**Липовецька Галина Данилівна (UA),**  
**Нікітін Ігор Миколайович (UA),**  
**Тіхенко Віталій Васильович (UA)****(73)** Власник(и):  
**Герасимчук Олександр Юрійович,**  
вул. Вокзальна, 35, кв. 1, смт Глеваха,  
Васильківський р-н, Київська обл., 08631  
(UA),  
**Гулега Леонід Григорович,**  
вул. Серафимовича, 7, кв. 115, м. Київ,  
02152 (UA),  
**Зацерковський Руслан Олексійович,**  
вул. Воровського, 43-б, кв. 9, м. Київ, 01054  
(UA),  
**Каптяжин Михайло Костянтинович,**  
Повітрофлотський пр., 10, кв. 13, м. Київ,  
03049 (UA),  
**Кірсєв Михайло Степанович,**  
вул. Івана Пулюя, 3, кв. 250, м. Київ, 04048  
(UA),  
**Липовецька Галина Данилівна,**  
бул. І. Лепсе, 38, кв. 35, м. Київ, 03126 (UA),  
**Нікітін Ігор Миколайович,**  
вул. Виборгська, 32, кв. 28, м. Київ, 03056  
(UA),  
**Тіхенко Віталій Васильович,**  
вул. Північна, 54-б, кв. 74, м. Київ, 252213  
(UA)**(56)** Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
UA 88730 U, 25.03.2014  
UA 96460 U, 10.02.2015  
US 6470749 B1, 29.10.2002  
WO 2009/071870 A1, 11.06.2009  
WO 2009/037435 A2, 26.03.2009  
RU 2439520 C1, 10.01.2012  
RU 16556 U1, 10.01.2001  
RU 49253 U1, 10.11.2005  
US 8789419 B2, 29.07.2014**(54) ПРИСТРІЙ АКУСТОМОНІТОРІНГУ ТРУБОПРОВІДІВ****(57)** Реферат:

Пропоноване технічне рішення належить до засобів неруйнівного контролю і може бути використане для перевірки стану трубопроводів різного призначення. Активний акустомоніторинг трубопроводів оснований на аналізі параметрів луна-сигналів, відбитих розсіювачами на шляху поширення зондуючого сигналу. Пристрій акустомоніторингу

UA 112255 C2

трубопроводів містить термінал збору даних і керування, тракт сигналів збудження акустичної системи, тракт аналогової обробки сигналів, тракт цифрової обробки сигналів.

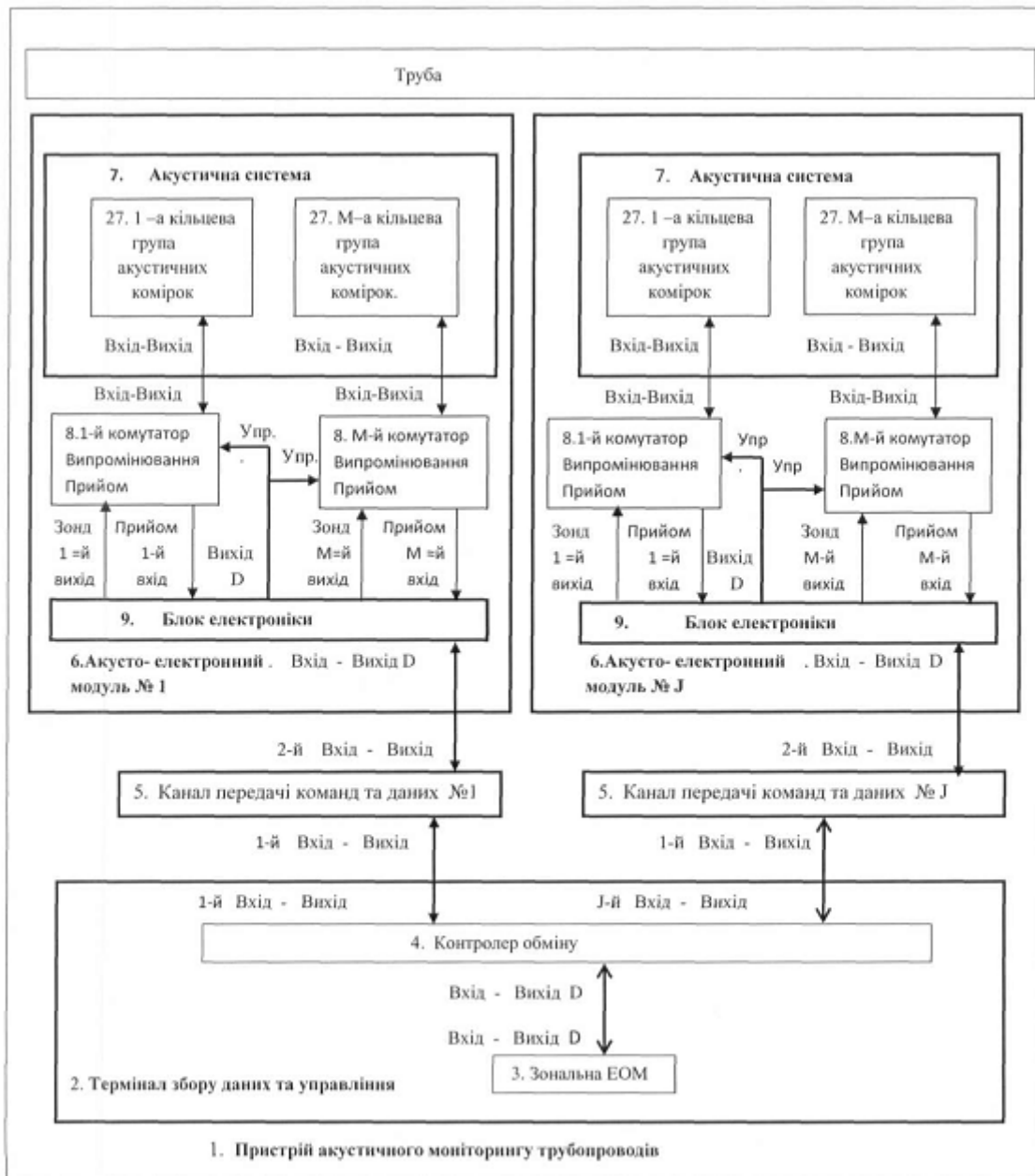


Fig. 1

Винахід належить до засобів неруйнівного контролю і може бути використане для перевірки стану трубопроводів різного призначення. Активний акустомоніторинг трубопроводів оснований на аналізі параметрів луна-сигналів, відбитих розсіювачами на шляху поширення зондуемого сигналу.

Відомий пристрій акустомоніторингу трубопроводів, що містить М віброакустичних датчиків, встановлених на трубі із кроком L, М магістральних блоків прийому, обробки первинних сигналів із вбудованим телекомунікаційним трансивером, з'єднаних входами з виходами відповідних М віброакустичних датчиків, кабель магістральний, базову станцію сегмента, що включає блок керування, з'єднаний кабелем магістральним із трансиверами М магістральних блоків прийому, обробки первинних сигналів, комп'ютер, контролер для зв'язку з віддаленим терміналом, включені послідовно (file://E:\khe\_183\Магістраль, система охорони трубопроводів від несанкціонованого врізання).

До недоліків пристрою слід віднести залежність дальності виявлення пошкодження від інтенсивності акустичного сигналу в точці прийому, породжене несанкціонованим впливом на трубу і для забезпечення заданої ймовірності правильного виявлення віброакустичні датчики встановлюють із кроком  $L \approx 300$  м, що призводить до великих витрат на ділянках довжиною (10-15) км, крім того, система має низьку стійкість до пошкодження лінії зв'язку, тобто пошкодження магістрального кабелю призводить до втрати інформації від групи датчиків і відмови системи.

Відомий пристрій (патент UA № 96460, МПК G01N 29/00), що містить матрицю М акустичних випромінювачів в акустичних екранах, встановлених на М акустичних перетворювачах антени, що перевіряється, М каналний генератор безперервних гармонійних сигналів, із програмованим амплітудно-фазовим міжканальним розподілом, підключений виходами до відповідних входів М акустичних випромінювачів, блок керування, блок вимірів, що містить підключений своїми входами до виходів М акустичних перетворювачів М каналний підсилювач, з'єднаний М входами з виходами М каналного підсилювача, суматор, смуговий фільтр, що перестроюється, змішувач, фільтр нижніх частот, підсилювач проміжної частоти, аналого-цифровий перетворювач, цифровий реєстратор, включені послідовно гетеродин, що перестроюється, з'єднаний виходом із входом Сигнал гетеродину, а вихід Команди блока керування підключений до керуючих входів М-каналного генератора безперервних гармонійних сигналів, смугового фільтра, що перестроюється, аналого-цифрового перетворювача, цифрового реєстратора.

Пристрій може виконувати акустичну дефектоскопію об'єкта просвічуванням у режимі безперервного випромінювання - прийом шляхом аналізу вихідного ефекту цифрового реєстратора, але при цьому координата пошкодження (витоку) не визначається, що є недоліком системи.

Найбільш близьким за призначенням, конструкцією, умовах роботи в системі трубопроводного транспорту є "Пристрій акустичного моніторингу" згідно з патентом на корисну модель UA № 88730, МПК F17D 5/02, G01N 29/00, вибраний як прототип.

Пристрій містить блок збору даних і керування в складі зональної ЕОМ, контролера обміну, включених послідовно, М каналів передачі даних, М блоків акустичного моніторингу, встановлених уздовж трубопроводу, у складі контролера блока акустичного моніторингу (в описі прототипу процесора керування - вимірювання параметрів, контролера послідовного каналу обміну), підключеного Входом-Виходом каналом передачі даних до Входу блока збору даних і керування, акустичну систему, тракт аналогової обробки сигналів (в описі прийомний пристрій), тракт сигналів збудження (в описі патенту генератор збудження акустичних модулів), 3-х каналних комутаторів Прийом-Випромінювання, підключених входами Зонд до відповідних виходів тракту формування зондуемых сигналів, виходами Сигнал до відповідних входів тракту аналогової обробки сигналів, Входом-Виходом підключених до відповідних входів акустичної системи, тракт цифрової обробки сигналів (в описі процесор шумових сигналів, процесор сигналів калібрування, процесор луна-сигналів), блок вторинного електроживлення.

Недоліки пристрою.

Основними характеристиками пристрою є ймовірність правильного виявлення D при фіксованій ймовірності фіктивних тривог F, дальність і точність визначення місця пошкодження  $\sigma(L)$ , які визначаються відношенням сигнал/завада по потужності  $q^2(L)$  при оптимальному прийомі [1]

$$q^2(L) = 2 \cdot E(L) / N_0 ; \quad (1)$$

де;

$$E(L) = [\gamma \cdot P(L)]^2 \cdot \tau / 2 ; \quad (2)$$

$$P(L) = \beta \cdot U_0 \cdot \exp(-2 \cdot \delta \cdot L) ; \quad (3)$$

$E(L)$  - енергія акустичного луна-сигналу в точці прийому на віддаленні  $L$  від розсіювача;

$P(L)$  - тиск акустичного сигналу в точці прийому;

$\gamma$  - чутливість акустичного перетворювача в прийомі;

$\beta$  - чутливість акустичного перетворювача у випромінюванні;

5  $\delta$  - коефіцієнт в експонентному законі ослаблення у рідині [2];

$N_0$  - спектральна щільність завади;

$U_0$  - ефективна напруга сигналу збудження.

У режимі імпульсної локації пристрій зондує внутрішньотрубний простір акустичними радіоімпульсами тривалістю  $\tau$ , виконує узгоджений прийом луна-сигналів і аналізує розподіл  
10 інтенсивності луна-сигналів від внутрішньотрубних розсіювачів на шляху поширення зондувального імпульсу. Згідно з (1)-(3) параметр виявлення  $q$ , при фіксованому значенні  $N_0$ , можна підвищити шляхом збільшення тривалості сигналу  $\tau$ , напруги сигналу збудження  $U_0$ , числа каналів Випромінювання-Прийому  $M$ .

Мертва зона -  $\Delta L$ , яка властива імпульсній локації, на часовому інтервалі якої вхід  
15 прийомного тракту закритий, дорівнює

$$\Delta L = c \cdot \tau / 2; \quad (4)$$

що обмежує максимальну тривалість зонduючого імпульсу  $\tau$ .

При введенні акустичних коливань безпосередньо в порожнину труби, заповненої нафтопродуктом під тиском  $\approx 40$  атм, напруга сигналу збудження акустичного випромінювача за вимогами вибухонебезпечності обмежене значенням  $U_{\max} = 5$  В, а число прийомо-  
20 випромінювачів  $M$ , що порушують місцеву міцність оболонки не більше 2-3. У прототипі параметри:  $\tau = 200$  м сек.,  $U_{\max} = 5$ В,  $M = 2$  мають граничні значення і, як наслідок, обмежують енергію зондуючого імпульсу  $E_z$ , значення параметра виявлення  $q$ , максимальну дальність виявлення  $L$  і точність визначення місця пошкодження  $\sigma(L)$ , що є недоліком прототипу. У прототипі фазування сигналів двох акустичних перетворювачів у прийомі виконується  
25 нерекурсивними фазуючими фільтрами  $\Delta n = (128-256)$  порядку і обсяг обчислень  $Q$  у ковзному часовому вікні при фіксованій частоті дискретизації  $F_d$  і  $\Delta n$ -м порядку фільтра збільшується лінійно щодо числа каналів фазування  $M$

$$Q = M \cdot F \cdot \Delta n \quad (5).$$

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення відомого пристрою акустомоніторингу, в якому забезпечується збільшення енергії зондуючого імпульсу  $E_z$ , що призводить до  
30 підвищення функціональних характеристик пристрою, який заявляється: імовірності правильного виявлення  $D(L)$  на максимальній дальності  $L$  при фіксованій ймовірності фіктивних тривог  $F$ , точності локалізації місця пошкодження  $\sigma(L)$ .

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому пристрої, який містить термінал збору даних і керування в складі включених послідовно зональної ЕОМ, контролера обміну,  $J$  каналів передачі команд і даних, з'єднаних першими Входами-Виходами з відповідними Входами-Виходами контролера обміну,  $J$  акустоелектронних модулів у складі: акустичної системи, каналних комутаторів Випромінювання-Прийому, блока електроніки, що містить контролер блока електроніки, з'єднаний першим Входом-Виходом з другим Входом-Виходом каналу передачі даних, тракт сигналів збудження акустичної системи в складі синтезатора сигналів,  $M$  каналних підсилювачів потужності сигналів, підключених виходами до входів Збудження (Збудж.) відповідних каналних комутаторів Випромінювання-Прийом, тракт аналогової обробки сигналів у складі  $M$  підсилювальних каналів, кожний з яких містить передуючий підсилювач, підключений входом до виходу Прийом відповідного каналного комутатора Випромінювання-Прийом, елемент автоматичного регулювання підсилення (АРП), смуговий фільтр сигналів, вихідний підсилювач, з'єднані послідовно, тракт цифрової обробки сигналів у складі  $M$  каналного аналого-цифрового перетворювача, процесора частотно-часової обробки сигналів, блок вторинного електроживлення, новим є те, що акустична система виконана у вигляді матричної покривної антенної решітки, що містить,  $M$  кільцевих груп з  $\Delta n$  акустичних комірок, з'єднаних електричними Входами-Виходами усередині групи паралельно і підключених до  
40 Входу-Виходу відповідного каналного комутатора Випромінювання-Прийом, кожна з яких містить пластинчастий п'єзоелектричний перетворювач, ваговий елемент корекції АЧХ, встановлений на його поверхні, при цьому кільцеві групи акустичних комірок поміщені в перфоровану екранну манжету, що має магнітні фіксатори, а акустична система споряджена екрануючим захисним кожухом, крім того, у тракті сигналів збудження акустичної системи синтезатор виконаний у вигляді  $M$  каналних синтезаторів затриманих сигналів збудження, із затримкою сигналу в  $m$ -му каналі, що дорівнює часу поширення коливань в середовищі між першою та  $(m-1)$ -ю кільцевими групами акустичних комірок, підключених Виходами до Входів  
55

відповідних підсилювачів потужності, кожний з яких з'єднаний своїм Виходом із Входом відповідного каналного комутатора Випромінювання-Прийом, а в тракт цифрової обробки сигналів введено процесор направленої прийому сигналів, підключений Входом D-Виходом D до Входу D-Виходу D М каналного аналого-цифрового перетворювача, Виходом АРП до Входу D Тракту аналогової обробки сигналів, з'єднаному із входами Управління (Упр.) елементів автоматичного регулювання підсилення, Виходом D до Входу D процесора частотно-часової обробки, Вхід-Вихід D1 якого магістраллю 2 команд даних з'єднаний із входами Управління (Упр.) блока АЦП, процесора направленої прийому сигналів, Входом D-Виходом D Тракту цифрової обробки сигналів, з'єданого магістраллю 1 команд даних із входом D Тракту сигналів збудження та другим Входом-Виходом D контролера блока електроніки.

Суть винаходу пояснюють креслення.

- на Фіг. 1 представлена структура пристрою акустомоніторингу;

- на Фіг. 2 представлена структура блока електроніки;

- на Фіг. 3 представлена структура Тракту сигналів збудження;

- на Фіг. 4 представлена структура Тракту аналогової обробки сигналів;

- на Фіг. 5 представлена структура Тракту цифрової обробки сигналів;

- на Фіг. 6 представлена структура матричної, покривної, антенної решітки;

- на Фіг. 7 представлена структура акустичної комірки;

- на Фіг. 8 представлена схема електричного з'єднання акустичних комірок;

- на Фіг. 9-Фіг. 11 представлені  $m=1-4$  (перша-четверта) послідовності синхрокоманд -  $v(m, n)$  фазуючої дискретизації сигналів з виходів підсилювальних каналів кільцевих груп з періодом дискретизації -  $\Delta t=125$  мк сек. і фазуючою затримкою між каналами сусідніх кільцевих груп  $\Delta T=b/c=167$  мк сек.: безперервною товстою лінією  $v(1, n)$  - синхрокоманда дискретизації сигналів першої кільцевої групи, штриховою лінією  $v(2, n)$  - синхрокоманда дискретизації сигналів другої кільцевої групи, пунктирною лінією  $v(3, n)$  - синхрокоманда дискретизації сигналів третьої кільцевої групи, безперервною тонкою лінією  $v(4, n)$  - синхрокоманда дискретизації сигналів четвертої кільцевої групи;

- на Фіг. 12 представлені синхрокоманди зчитування даних-відліків суми фазованих М каналних сигналів з виходу процесора направленої прийому з періодом дискретизації  $\Delta t=125$  мк сек.;

- на Фіг. 13 представлені луна-сигнали частотою  $f=3$  кГц із позитивним напрямком приходу: перша група  $\rightarrow$  четверта група перетворювачів на виході першої-четвертої кільцевих груп акустичних перетворювачів, встановлених на трубі з кроком  $b=\lambda/2$  на частоті  $f=3$  кГц у нафтопродукті між сусідніми групами: уривчастою тонкою лінією  $u_1(1, n)$ -луна-сигнал на виході першої групи, безперервною тонкою лінією  $u_1(2, n)$  - луна-сигнал на виході другої групи, штриховою лінією  $u_1(3, n)$  - луна-сигнал на виході третьої групи, пунктирною лінією  $u_1(4, n)$  - луна-сигнал на виході четвертої групи, безперервною товстою лінією  $U(1n)$  представлена сума чотирьох сигналів  $u_1(1, n) \dots u_1(4, n)$ , що фазовані введенням затримок  $t(m)=(m-1) \cdot b/c$ , які компенсують часову різницю поширення променя між  $m$ -ю та першою кільцевими групами для позитивного напрямку прибуття: перша група  $\rightarrow$  четверта група перетворювачів;

- на Фіг. 14 представлені луна-сигнали частотою  $f=3$  кГц із негативним напрямком приходу: четверта група  $\rightarrow$  перша кільцева група перетворювачів на виході першої-четвертої кільцевих груп акустичних перетворювачів, встановлених на трубі з кроком  $b=\lambda/2$  на частоті  $f=3$  кГц у нафтопродукті між сусідніми групами: переривчастою тонкою лінією  $u_2(1, n)$  - луна-сигнал на виході першої групи, безперервною тонкою лінією  $u_2(2, n)$  - луна-сигнал на виході другої групи, штриховою лінією  $u_2(3, n)$  - луна-сигнал на виході третьої групи, безперервною товстою лінією  $U_2(n)$  представлена сума чотирьох сигналів  $u_2(1, n) \dots u_2(4, n)$ , що фазовані введенням затримок  $t(m)=(m-1) \cdot \Delta l/c$ , які компенсують часову різницю поширення променя між  $m$ -ю і першою кільцевими групами для позитивного напрямку приходу: перша група  $\rightarrow$  четверта група перетворювачів;

- на Фіг. 15 представлені: безперервною тонкою лінією  $D_1(q)$  - робоча характеристика виявлення (ймовірність правильного виявлення при ймовірності фіктивних тривог  $F=10^{-12}$ ) прототипу з акустичною системою із двох прийомовипромінювачів з введенням акустичного сигналу хвилеводом безпосередньо в рідке середовище - прийомом з середовища, безперервною товстою лінією  $D_2(q)$  - робоча характеристика виявлення (ймовірність правильного виявлення при ймовірності фіктивних тривог  $F=10^{-12}$ ) прототипу з акустичною системою у вигляді матричної покривної решітки з шістнадцяти прийомовипромінювачів, встановлених на поверхні труби, із збудженням акустичного сигналу в рідкому середовищі - прийомом з середовища крізь оболонку труби;

- на Фіг. 16 представлена безперервною товстою лінією  $D_2(q)$  - робоча характеристика виявлення (ймовірність правильного виявлення при ймовірності фіктивних тривог  $F=10^{-12}$ ) пристрою, що заявляється, з акустичною системою у вигляді матричної покривної решітки з шістнадцяти прийомовипромінювачів, встановлених на поверхні труби, із збудженням акустичного сигналу в рідкому середовищі - прийомі з середовища через оболонку труби.

Пристрій 1 містить Термінал збору даних і керування 2 у складі включених послідовно зональної ЕОМ 3, контролера обміну 4, J каналів передачі команд-даних 5, з'єднаних першими Входами-Виходами з відповідними Входами-Виходами контролера обміну 4, J встановлених уздовж трубопроводу акустоелектронних модулів 6, кожний з яких містить акустичну систему 7, M комутаторів Випромінювання - Прийом 8, блок електроніки 9 у складі контролера 10 блока електроніки 9, Тракту сигналів збудження 11, у складі синтезатора сигналів збудження 12, M канальних підсилювачів потужності сигналів 14, підключених виходами до входів Збудж. відповідних канальних комутаторів Випромінювання-Прийом 8, Тракту аналогової обробки сигналів 15 у складі M підсилювальних каналів 16, кожний з яких містить передуючий підсилювач 17, підключений входом до виходу Прийом відповідного канального комутатора Випромінювання-Прийом 8, елемента автоматичного регулювання підсилення (АРП) 18, смугового фільтра сигналів 19, вихідного підсилювача 20, з'єднаних послідовно, Тракту цифрової обробки сигналів 21 у складі M канального аналого-цифрового перетворювача 22, підключеного M входами до виходів відповідних підсилювальних каналів 16, процесора частотно-часової обробки сигналів 24, блок вторинного електроживлення 26, акустична система 7 виконана у вигляді M кільцевих груп 27 з  $\Delta t$ , поміщених у перфоровану екранну манжету 28, що охоплює трубу, акустичних комірок 29, що утворюють покривну матричну решітку, з'єднаних електричними Входами-Виходами усередині групи паралельно й підключених до Входу-Виходу відповідного канального комутатора Випромінювання-Прийом 8, кожна з яких містить пластинчастий п'єзоелектричний перетворювач 31, закріплений через звукопровідну опору 30 на трубі звукопровідним клеєм, ваговий елемент корекції АЧХ 32, встановлений на його поверхні, при цьому суміжні кільцеві групи 27 акустичних комірок 29 рознесені уздовж труби на відстань  $b$ , порядку половини довжини хвилі  $\lambda$  у нафтопродукті, що транспортується, притиснення акустичних комірок до поверхні труби забезпечується за допомогою магнітних фіксаторів 33 на екранній манжеті 28, а від зовнішніх впливів акустична система захищена екрануючим захисним кожухом 34, у Тракті сигналів збудження 11 акустичної системи 7 синтезатор 12 виконаний у вигляді M канальних синтезаторів затриманих сигналів збудження 13, із затримкою сигналу у  $m$ -му каналі, що дорівнює часу поширення коливання в середовищі між першою й  $(m-1)$ -ю кільцевою групами 27 акустичних комірок 29, підключених Виходами до входів відповідних підсилювачів потужності 14, кожний з яких з'єднаний своїм Виходом із Входом відповідного канального комутатора Випромінювання-Прийом, а у тракт цифрової обробки сигналів 21 введено процесор направленного прийому сигналів 23, підключений Входом-Виходом D до Входу-Виходу D M канального аналого-цифрового перетворювача 22, Виходом АРП до входу D Тракту аналогової обробки сигналів 15, з'єднаному із входами Упр. елементів регулювання підсилювання каналів підсилення 18, Виходом D до Входу D процесора частотно-часової обробки 24, Вхід-Вихід D1 якого магістраллю команд - даних 2 з'єднаний із входами Упр. блока АЦП, процесора направленного прийому сигналів 23, Входом-Виходом D Тракту цифрової обробки сигналів 21, під'єданого магістраллю команд даних 1 із входом D Тракту сигналів збудження 11 і другим Входом-Виходом D контролера блока електроніки 10.

Пристрій функціонує під управлінням контролера 10 блока електроніки 9, що задає режим моніторингу командами: Початок випромінювання, Початок приймання, Кінець циклу моніторингу, Напрямок випромінювання-прийому, Частота несучої, Тривалість зондуючого сигналу, Закон модуляції, Поріг, що надходять із другого Входу-Виходу D блоку електроніки 9 магістраллю команд - даних 1 на входи Упр. M Комутаторів Прийому-Випромінювання, вхід D Тракту сигналів збудження 11, Вхід-Вихід D Тракту цифрової обробки сигналів 15.

У кожному циклі моніторингу по команді Початок випромінювання, що надходить магістраллю команд - даних на входи Упр. M комутаторів Прийом-Випромінювання 8 із другого Входу-Виходу D контролера 10 блока електроніки 9 Входи-Виходи 1-ї - M-ї кільцевих груп 27 акустичних комірок 29 пластинчастих п'єзоелектричних перетворювачів 31 з'єднуються з 1-м - M-м виходами Тракту сигналів збудження 11 і відключаються від відповідних входів Тракту аналогової обробки сигналів 15 на час дії випромінювання.

Вихідні задавальні безперервні сигнали  $V(m, t)$  канальних синтезаторів 14 тривалістю  $t$  на несучій частоті  $f$  з відносними затримками  $\Delta t(m)$ , що компенсують часову різницю поширення фронту хвилі між 1-ю та  $m$ -ю кільцевими групами 27, підсилюються канальними підсилювачами

потужності 13 і через канальні комутатори 8, діючи на пластинчасті п'єзоелектричні перетворювачі 31, збуджують в середовищі, що заповнює трубу, акустичні коливання  $Y(m, t)$ .

$$Y(m, t) = A \cos\{\omega \cdot (t - \Delta\tau(m))\}; \quad (6)$$

$$m = 1..M;$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f; \quad (7)$$

$$\Delta\tau(m) = (m - 1) \cdot b/c; \quad (8)$$

$b$  - відстань між кільцевими групами акустичних перетворювачів уздовж труби.

- По команді Початок прийому із другого Входу-Виходу D контролера 10 блока електроніки 9, що надходить магістраллю команд-даних 1 на входи Упр. М комутаторів Прийом-Випромінювання 8, 1-й -  $\Delta m$ -й входи Тракту аналогової обробки сигналів 15 підключаються до відповідних Входів-Виходів кільцевих груп 27 акустичних комірок 29 пластинчастих п'єзоелектричних перетворювачів 31. Вихідні сигнали  $y(m, t)$  кільцевих груп 27 підсилюються, стаціонаризуються, фільтруються М підсилювальними каналами 16

$$y(m, t) \rightarrow u(m, t) = \int_{-\infty}^t g(\theta) \cdot y(m, t - \theta) \cdot d\theta; \quad (9)$$

- де  $g(\theta)$  - імпульсна характеристика лінійної стаціонарної системи, і надходять на входи Тракту цифрової обробки сигналів 21.

- М - канальний АЦП 22 по синхрокомандах  $v(m, n)$  з виходу процесора направленої прийому 23 виконує зміщену, із затримкою  $(m-1)\Delta T$  в  $m$ -му підсилювальному каналі дискретизацію канальних сигналів  $u(m, t)$  на інтервалах, що перекриваються з періодом дискретизації  $Dt=1/F$  і передачу масиву відліків  $\{u_{\mu,n}\}$  у процесор направленої прийому 23

$$t \rightarrow tn = n \cdot \Delta t; Fo = 10^6 \text{ Гц}; \Delta t = 1/Fo; F = 8 \cdot 10^3 \text{ Гц}; Dt = 125 \text{ мкс}; u((m, t)) \rightarrow u_{m,n}. \quad (10)$$

Процесор направленої прийому 23 Тракту 21 виконує наступні дії:

- формує цифровий сигнал часового експоненціального автоматичного регулювання підсилення  $K_n$  і видає через вихід АРП Тракту цифрової обробки сигналів 21 на вхід D Тракту аналогової обробки сигналів 15, з'єднаний із входами УПР. елементів автоматичного регулювання підсилення 18 підсилювальних каналів 16.

$$K_n = K_o + (K_N - K_o) \cdot [1 - \exp(-n/\Delta N_o)]; n = 0.. \Delta N_o \quad (11)$$

$K_o$  - початкове значення коефіцієнта підсилення;

$K_N$  - кінцеве значення коефіцієнта підсилення;

$\Delta N_o$  - константа часового експонентного автоматичного регулювання підсилення.

- формує послідовність тактових відліків із частотою  $Fo=10^6$  Гц і виробляє для АЦП 22 послідовності синхрокоманд дискретизації канальних сигналів  $\{V(m, n)\}$  з часовим зсувом між сусідніми відліками усередині послідовності  $\Delta T=b/c$ , що компенсують часову різницю поширення променя в нафтопродукті між сусідніми кільцевими групами 27 на трубі

$$v(m, n) = \delta((m - 1) \cdot \Delta N, \Delta n); m = 1..M; \Delta N = Fo \cdot \Delta T; \Delta n = 0..(M - 1) \cdot \Delta N; \quad (12)$$

$$\delta(\mu, \Delta n) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu = \Delta n \\ 0 & \text{if } \mu \neq \Delta n \end{cases}; \quad (14)$$

- $b$  - відстань між кільцевими групами 27 акустичних комірок 29 уздовж труби

$\Delta n$  - відносний номер відліку усередині послідовності

- зчитує з М-канального АЦП 22 й накопичує відліки фазованих затримками при зчитуванні канальних сигналів -  $\{u_{m, n}\}$  за час поширення фронту хвилі в трубі між першою та М-ю кільцевими групами 27 акустичних комірок 29 на часових інтервалах, що перекриваються, з періодом дискретизації  $Dt=1/F$  [3]

$$U_q = \sum_m u_{m, \delta(q, n/125)}; m = 1..M; \quad (15)$$

і видає відліки накопичених фазованих сигналів  $U_q$  в процесор частотно-часової обробки 24.

Процесор частотно-часової обробки 24 виконує наступні дії:

виконує згортку цифрової послідовності відліків луна-сигналів  $\{U_n\}$  з копією зондуючого сигналу  $\{ZO \, dn\}$  у ковзному часовому вікні  $DN$  відліків на частоті  $F$

$$ZO \, dn = \exp(-i \cdot \omega \cdot dn \cdot Dt); \quad (16)$$

$$E_q = \left| \sum_{dn} ZO_{dn} \cdot U_q - DN + 1 + dn \right|; \quad (17)$$

$$dn = 0, \dots, DN - 1; \quad DN = F \cdot \tau;$$

- обчислює середньо-квадратичне значення  $\sigma(E)$  на множині  $\Delta K$  часових відліків  $\{E_q\}$

$$\sigma_q(E) = \left\{ \sum_v (E_{q-1-\Delta K+v})^2 \cdot \Delta K - [\sum_v (E_{q-1-\Delta K+v}) \cdot \Delta K]^2 \right\}^{1/2}; \quad v = 0, \dots, \Delta K - 1; \quad (18)$$

- виконує порогову обробку вихідних відліків  $E_q$

$$\Pi_q = \sigma_q(E) \cdot \Pi_0; \quad (19)$$

$$\alpha_q = \begin{cases} 1 & \text{if } E_q - \Pi_q \geq 0 \text{ є перевищення порога} \\ 0 & \text{if } E_q - \Pi_q < 0 \text{ немає перевищення порога} \end{cases} \quad (20)$$

5 - передає повідомлення про подію  $\alpha_q=1$  магістраллю команд - даних 2 Тракту цифрової обробки сигналів 22 через Вхід-Вихід D і магістраллю команд - даних 1 у блок електроніки 9.

Контролер 10 Блока електроніки 9 у кожному періоді моніторингу виконує наступні дії:

- синхронно з формуванням команди Початок випромінювання (ПВ) запускає Таймер на час періоду локації,

- обчислює координату витоку - пошкодження L при надходженні повідомлення  $\alpha_q=1$

$$L_q = c \cdot t_q / 2; \quad t_q = q / F; \quad (21)$$

10 - виконує прив'язку моменту події  $t_q$  до єдиного часу  $T_q$

$$T_q = T_0 + t_q; \quad (22)$$

$T_0$  - астрономічний час у момент закінчення зондуєного імпульсу

- видає каналом передачі даних формуляр -  $\Phi(T_q, L_q)$  в ЕОМ Термінала.

Амплітуда луна-сигналу з відстані L на виході  $\mu$ -го каналного підсилювача - вході процесора направленного прийому  $a(L)$  дорівнює

$$a(L) = \xi(L) \cdot (M \cdot \Delta m \cdot U_0); \quad (23)$$

15 де:

$$\xi(L) = \zeta \cdot \eta^2 \cdot \gamma \cdot \beta \cdot \exp(-2 \cdot \delta \cdot L); \quad (24)$$

$\zeta$  - коефіцієнт відбиття,

$\eta \approx (0.2 - 0.3)$  - коефіцієнт передачі збудження в середовище-приймач з середовища,

$\beta$  [Па·м/В] - чутливість перетворювача у випромінюванні,

$\gamma$  [В·м/Па] - чутливість перетворювача у прийомі,  $\delta$

20  $[1/m]$  - коефіцієнт втрат у експонентному законі послаблення,

$U_0$  - напруга збуджування перетворювача у випромінюванні,

$\Delta m$  - число акустичних перетворювачів у кільцевій групі,

M - число кільцевих груп.

Приклади порівняльних даних прототипу та рішення, що заявляється.

25 У тонкостінній трубі із товщиною оболонки h, що є набагато меншою за довжину хвилі  $\lambda$ , акустичне поле середовища збуджує акустичні коливання оболонки, які сприймаються п'єзоелектричними перетворювачами 31 на її поверхні з фазовими співвідношеннями усередині трубного поля.

30 У полі плоскої хвилі нульової моди луна-сигналів має місце велика кореляція в межах покривної решітки і фазування - когерентне підсумовування каналних сигналів від M· $\Delta m$  п'єзоелектричних перетворювачів 31 процесором направленного прийому 23 підвищує амплітуду луна-сигналу з відстані L в M· $\Delta m$  раз

$$a(L) \rightarrow A(L) = M \cdot \Delta m \cdot \xi(L) \cdot a(L) = \xi(L) \cdot (M \cdot \Delta m)^2 \cdot U_0 \quad (25)$$

При просторово-некорельованій шумовій заваді у полі на виході процесора направленного прийому 23 маємо

$$q_{нп}^2 = \left[ \xi(L) \cdot (M \cdot \Delta m)^2 \cdot U_0 \right]^2 / (M \cdot \Delta m) \cdot \sigma^2 = \xi^2(L) \cdot (M \cdot \Delta m)^2 \cdot U_0^2 / \sigma^2. \quad (26)$$

35 Узгоджена частотно-часова обробка тонального сигналу тривалістю  $\tau=1/\Delta f$  у смузі прийому  $\Delta f$  у прототипі та у пристрої, що заявляється, збільшує відношення сигнал/завада по потужності в однакову кількість раз -  $q_{чво}^2$ .



$$q_{\text{чво}}^2 = \varepsilon \cdot Df / \Delta f = \varepsilon \cdot Df \cdot \tau; \quad (27)$$

$\varepsilon$  - коефіцієнт, що враховує втрати при частотно-часовій обробці через невідому фазу луна-сигналу.

З урахуванням (25)-(27) відношення сигнал/завада по потужності  $q^2$  на виході цифрової обробки дорівнює:

у пристрої-прототипі

$$q_{\text{прот}}^2 = q_{\text{н.п.прот}}^2 \cdot q_{\text{чво}}^2 = (\varepsilon \cdot Df / \Delta f) \cdot \xi(L)^2 \cdot (M_{\text{прот}} \cdot \Delta m_{\text{прот}})^2 \cdot U_{\text{о прот}}^2 / \sigma^2 = ; \quad (28)$$

$$= \varepsilon \cdot 2 \cdot E(L)_{\text{прот}} / N_0$$

у пристрої, що заявляється:

$$q_{\text{заява}}^2 = q_{\text{н.п.заява}}^2 \cdot q_{\text{чво}}^2 =$$

$$= (\varepsilon \cdot Df / \Delta f) \cdot \xi(L)^2 \cdot (M_{\text{заява}} \cdot \Delta m_{\text{заява}})^2 \cdot U_{\text{о заява}}^2 / \sigma^2 = \varepsilon \cdot 2 \cdot E(L)_{\text{заява}} / N_0; \quad (29)$$

$N_0 = \sigma^2 / Df$  - спектральна щільність шумової завади.

При однаковій чутливості перетворювачів у випромінюванні -  $\beta$  і прийомі -  $\gamma$ , однакових втратах -  $\eta$  при передачі акустичного сигналу в середовище через хвилевід у прототипі й через оболонку труби у пристрої, що заявляється, однаковим ослабленням на шляху поширення, що враховуються множителем  $\exp.(-2 \cdot \delta \cdot L)$ , направленому випромінюванню - направленому прийому у прототипі та у пристрої, що заявляється, однакових параметрах узгодженої частотно-часової обробки -  $Df$ ,  $\Delta f$ , однаковому рівні спектральної щільності завади у точках прийому -  $N_0$ , виграш у відношенні сигнал/завада по потужності пристрою, що заявляється відносно прототипу 2 дорівнює  $B(q^2)$

$$B(q^2) = (M_{\text{заява}} \cdot \Delta m_{\text{заява}})^2 \cdot U_{\text{о заява}}^2 / (M_{\text{прот}} \cdot \Delta m_{\text{прот}})^2 \cdot U_{\text{о прот}}^2 \cdot \quad (30)$$

Для набору параметрів:

$M_{\text{прот}} = 2$ ;  $\Delta m_{\text{прот}} = 1$ ;  $U_{\text{о прот}} = 5$  В

$M_{\text{заява}} = 4$ ;  $\Delta m_{\text{заява}} = 4$ ;  $U_{\text{о заява}} = 10$  В;

$$B(q^2) = (4 \cdot 4 \cdot 10)^2 / (2 \cdot 1 \cdot 5)^2 = 256 \quad (31).$$

У методі імпульсної локації потенційна точність виміру дальності, яка обумовлена завадою, коли інші помилки відсутні, при точно відомій швидкості звуку  $c$  у прототипі та у пристрої, що заявляється, визначається дисперсією помилки виміру затримки  $\sigma^2(t_3)$  луна-сигналу [1]

$$\sigma^2(L) = c^2 \cdot \sigma^2(t_3) = c^2 / [Df^2 \cdot q(L)^2]; \quad (32)$$

$$\sigma(L) = c / [Df \cdot q(L)]; \quad (33)$$

$$B[\sigma(L)] = \sigma(L)_{\text{прот}} / \sigma(L)_{\text{заява}} = q_{\text{заява}} / q_{\text{прот}} = \sqrt{B(q^2)} = \sqrt{256} = 16. \quad (34)$$

Відповідно до критерію Неймана-Пірсона ймовірність правильного виявлення сигналу  $D$  на виході процесора частотно-часової обробки при нормальній шумовій заваді з одиничною дисперсією й нульовим середнім на його вході й порозі  $P_o(F)$  для заданої ймовірності фіктивних тривог  $F$  дорівнює [4]

$$D(q) = \int_{P_o}^{\infty} y \cdot \exp[-(y^2 + q^2)/2] \cdot I_0(q \cdot y) \cdot dy \quad (35)$$

$P_o(F) = \sqrt{-\ln(F)}$  - нормований поріг для розподілу Релея,

$I_0(q \cdot y)$  - функція Бесселя першого роду нульового порядку.

При однакових заданих ймовірностях виявлення -  $D(q_{\text{заява}}) = D(q_{\text{прот}}) = D(q)$  з рівності параметрів виявлення -  $q_{\text{заява}} = q_{\text{прот}} = q$  впливає співвідношення для дальностей виявлення луна-сигналу в пристрої, що заявляється -  $L(q)_{\text{заява}}$  та у прототипі -  $L(q)_{\text{прот}}$ .

$$L(q)_{\text{заява}} = L(q)_{\text{прот}} + \Delta L;$$

$$L(q)_{\text{заява}} = L(q)_{\text{прот}} + \Delta L \quad \Delta L = \ln[U_{\text{о заява}} \cdot M_{\text{заява}} \cdot \Delta m_{\text{заява}} / (U_{\text{о прот}} \cdot M_{\text{прот}} \cdot \Delta m_{\text{прот}})] / \delta; \quad (36)$$

З нерівностей

$$(U_{\text{о заява}} / U_{\text{о прот}}) \cdot M_{\text{заява}} \cdot \Delta m_{\text{заява}} / (M_{\text{прот}} \cdot \Delta m_{\text{прот}}) > 1; \quad (37)$$

$$\delta \ll 1. \quad (38)$$

впливає збільшення дальності виявлення  $L$ , пристрою, що заявляється щодо прототипу при однакових заданих ймовірностях виявлення -  $D(q_{\text{заява}})=D(q_{\text{прот}})=D(q)$ .

Технічний результат полягає в збільшенні енергії зонduючого імпульсу  $E_z$ , що підвищує ймовірність виявлення -  $D(q)$ , дальність виявлення -  $L$ , потенційну точність виміру дальності (зменшення середньоквадратичної помилки) -  $\sigma(L)$  при узгодженій частотно-часовій обробці сигналів однакової тривалості  $t$ . Досягнення технічного результату забезпечується виконанням акустичної системи у вигляді покривної матричної решітки з  $M_{\text{заява}} \cdot \Delta m_{\text{заява}}$  прийомовипромінювачів акустичних комірок, встановлених на поверхні труби, з направленим збудженням акустичного поля у середовищі - направленим прийомом сигналу та середовища фазуючою часовою діаграмою дискретизації каналних сигналів крізь оболонку труби, що знімає обмеження на кількість прийомовипромінювачів -  $M_{\text{заява}} \cdot \Delta m_{\text{заява}} \gg M_{\text{прот.}} \cdot \Delta m_{\text{прот.}}$ , притаманні прототипу з введенням акустичних сигналів у середовище - прийомом з середовища хвилеводом крізь отвір у оболонці труби, яка порушує місцеву міцність труби та рівня випромінювання  $U_{0\text{заява}} > U_{0\text{прот.}}$ .

Основні характеристики пристроїв акустодіагностики трубопроводу прототипу та технічного рішення, що заявляється, для набору параметрів:  $f=3$  кГц, ;  $M_{\text{прот.}}=2$ ;  $\Delta m_{\text{прот.}}=1$ ;  $U_{0\text{прот.}}=5$  В;  $f=3$  кГц;  $M_{\text{заява}}=4$ ;  $\Delta m_{\text{заява}}=4$ ;  $U_{0\text{заява}}=10$  В наведені Таблиці.

Джерела інформації:

1. Слока В.К. Вопросы обработки радиолокационных сигналов, с. 92. "Советское радио » М. 1970.
2. Кэй. Дж. Лэби. Т. Таблицы физических и химических постоянных, с. 69. ФМ. М. 1963.
3. Самойлов Л.К. Электронное управление характеристиками направленности антенн. Л. Судостроение. 1987.
4. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации, с. 147. "Радио и связь" М. 1983.

Таблиця

Пристрій Параметр	Прототип				Заява			
Число прийомовипромінювачів	2				16			
Напруга збудження $U_0$ (В)	5				10			
Збільшення завадостійкості відносно прототипу за напругою - $B(q)$ (разів)	1				16			
Збільшення потенційної точності вимірювання координати відносно прототипу - $B[\sigma(L)]$ (разів)	1				16			
Сигнал - завада на виході Тракту цифрової обробки - $q_{\text{прот.}}$	0,25	0,5	4	8				
Сигнал - завада на виході Тракту цифрової обробки - $4\} \text{заява} = 16 \cdot q_{\text{прот}}$					$16 \cdot 0,25 =$	$16 \cdot 0,5 = 8$	$16 \cdot 4 = 64$	$16 \cdot 8 = 128$
Ймовірність виявлення сигналу відлуння пристроєм прототипом - $D1(q_{\text{прот.}})$	$1,47 \cdot 10^{-6}$	$3,45 \cdot 10^{-6}$	0,126	0,988				
Ймовірність виявлення сигналу відлуння пристроєм згідно з заявою - $D2(q_{\text{заява}}) = D1(16 \cdot q_{\text{прот.}})$					0,126	0,988	$\approx 1$	$\approx 1$
Збільшення дальності виявлення сигналу відлуння відносно прототипу $\Delta L = \ln(32)/\delta$ (м); $\delta = 0,001$ (1/м)					3470			

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Пристрій акустомоніторингу трубопроводів, що містить термінал збору даних і керування в складі включених послідовно зональної ЕОМ, контролера обміну, J каналів передачі команд і даних, з'єднаних першими Входами-Виходами з відповідними Входами-Виходами контролера обміну, J акустоелектронних модулів у складі: акустичної системи, каналних комутаторів Випромінювання-Прийому, блока електроніки, що містить контролер блока електроніки, з'єднаний першим Входом-Виходом з другим Входом-Виходом каналу передачі даних, тракт сигналів збудження акустичної системи в складі синтезатора сигналів, M каналних підсилювачів потужності сигналів, підключених виходами до входів Збудження (Збудж.) відповідних каналних комутаторів Випромінювання-Прийом, тракт аналогової обробки сигналів у складі M підсилювальних каналів, кожний з яких містить передуючий підсилювач, підключеної входом до виходу Прийом відповідного каналного комутатора Випромінювання-Прийом регулюючого елемента автоматичного регулювання підсилення (АРП), смугового фільтра сигналів, основного підсилювача, з'єднаних послідовно, тракт цифрової обробки сигналів у складі M каналного аналого-цифрового перетворювача, процесора частотно-часової обробки сигналів, блок вторинного електроживлення, який **відрізняється** тим, що акустична система виконана у вигляді матричної покривної антенної решітки, що містить M кільцевих груп з  $\Delta m$  акустичних комірок, з'єднаних електричними Входами-Виходами усередині групи паралельно і підключених до Входу-Виходу відповідного каналного комутатора Випромінювання-Прийом, кожна з яких містить пластинчастий п'єзоелектричний перетворювач, ваговий елемент корекції АЧХ, встановлений на його поверхні, при цьому кільцеві групи акустичних комірок поміщені в перфоровану екранну манжету, що має магнітні фіксатори, а від зовнішніх впливів акустична система захищена екрануючим захисним кожухом, крім того, у тракті сигналів збудження акустичної системи синтезатор виконаний у вигляді M каналних синтезаторів затриманих сигналів збудження, із затримкою сигналу в m-му каналі, що дорівнює часу поширення коливальних в середовищі між першою та (m-1)-ю кільцевими групами акустичних комірок, підключених Виходами до входів відповідних підсилювачів потужності, кожний з яких з'єднаний своїм Виходом із Входом відповідного каналного комутатора Випромінювання-Прийом, а в тракт цифрової обробки сигналів введено процесор направленої прийому сигналів, підключений Входом D-Виходом D до Входу D-Виходу D M каналного аналого-цифрового перетворювача, Виходом АРП до Входу D Тракту аналогової обробки сигналів, з'єднаному із входами Управління (Упр.) елементів регулювання підсилення каналів підсилення, Виходом D до Входу D процесора частотно-часової обробки, Вхід-Вихід D1 якого магістраллю 2 команд даних з'єднаний із входами Управління (Упр.) блока АЦП, процесора направленої прийому сигналів, Входом D-Виходом D Тракту цифрової обробки сигналів, з'єданого магістраллю 1 команд даних із входом D Тракту сигналів збудження та другим Входом-Виходом D контролера блока електроніки.

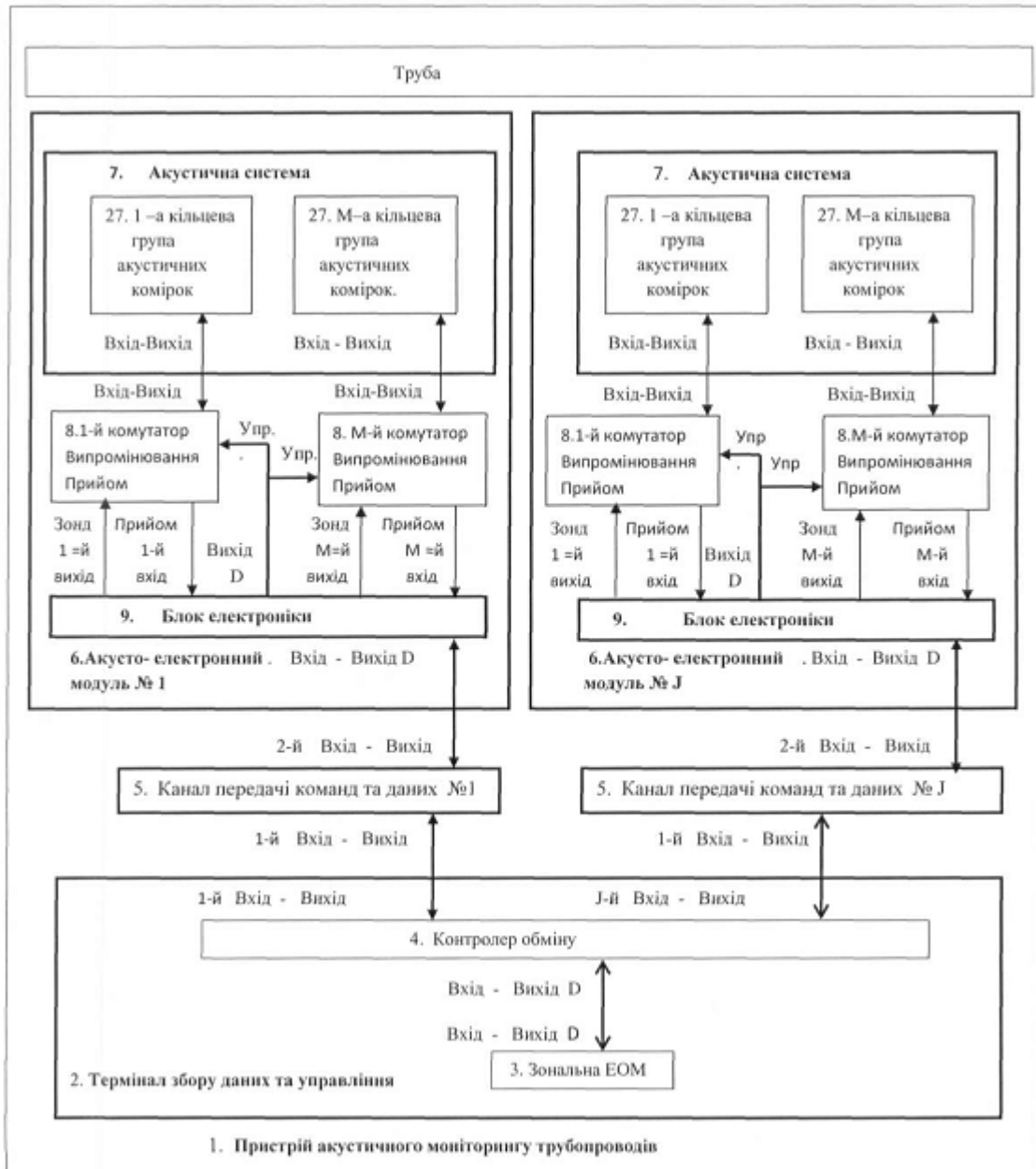


Fig. 1

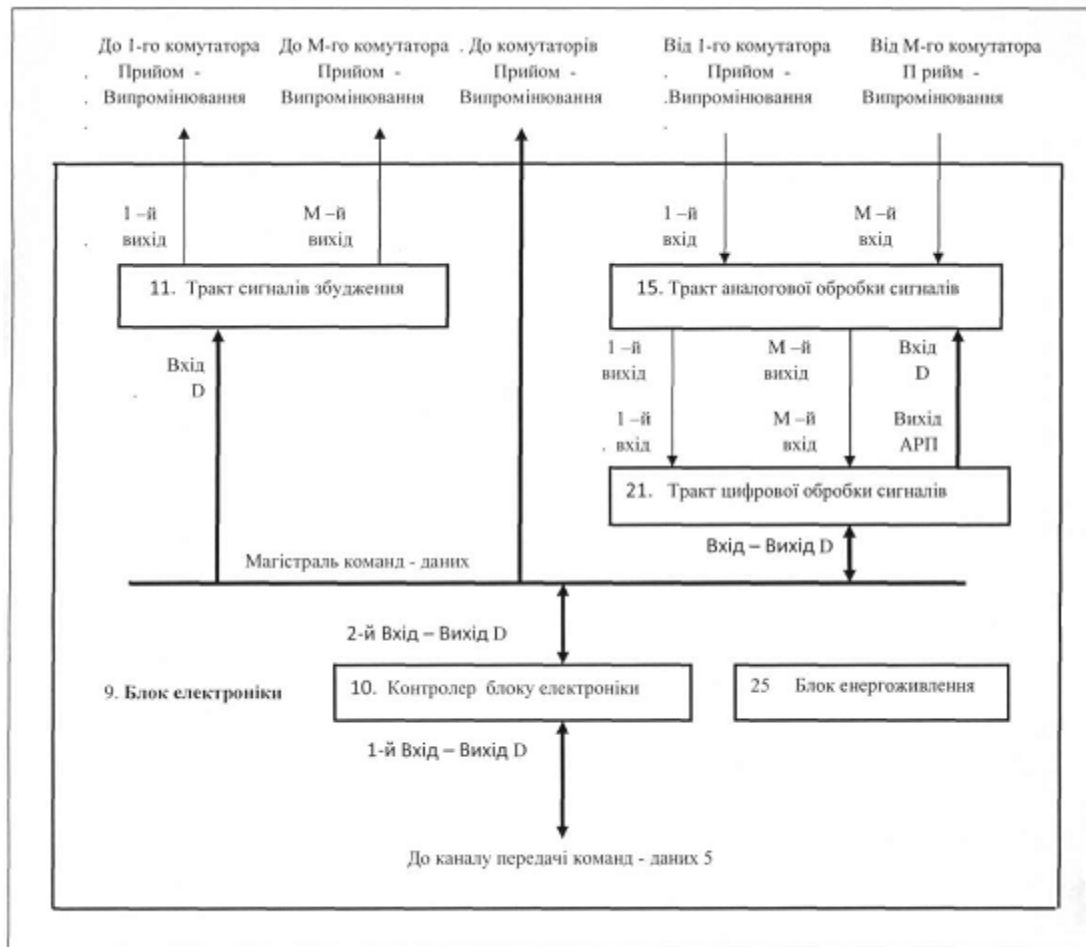


Fig. 2

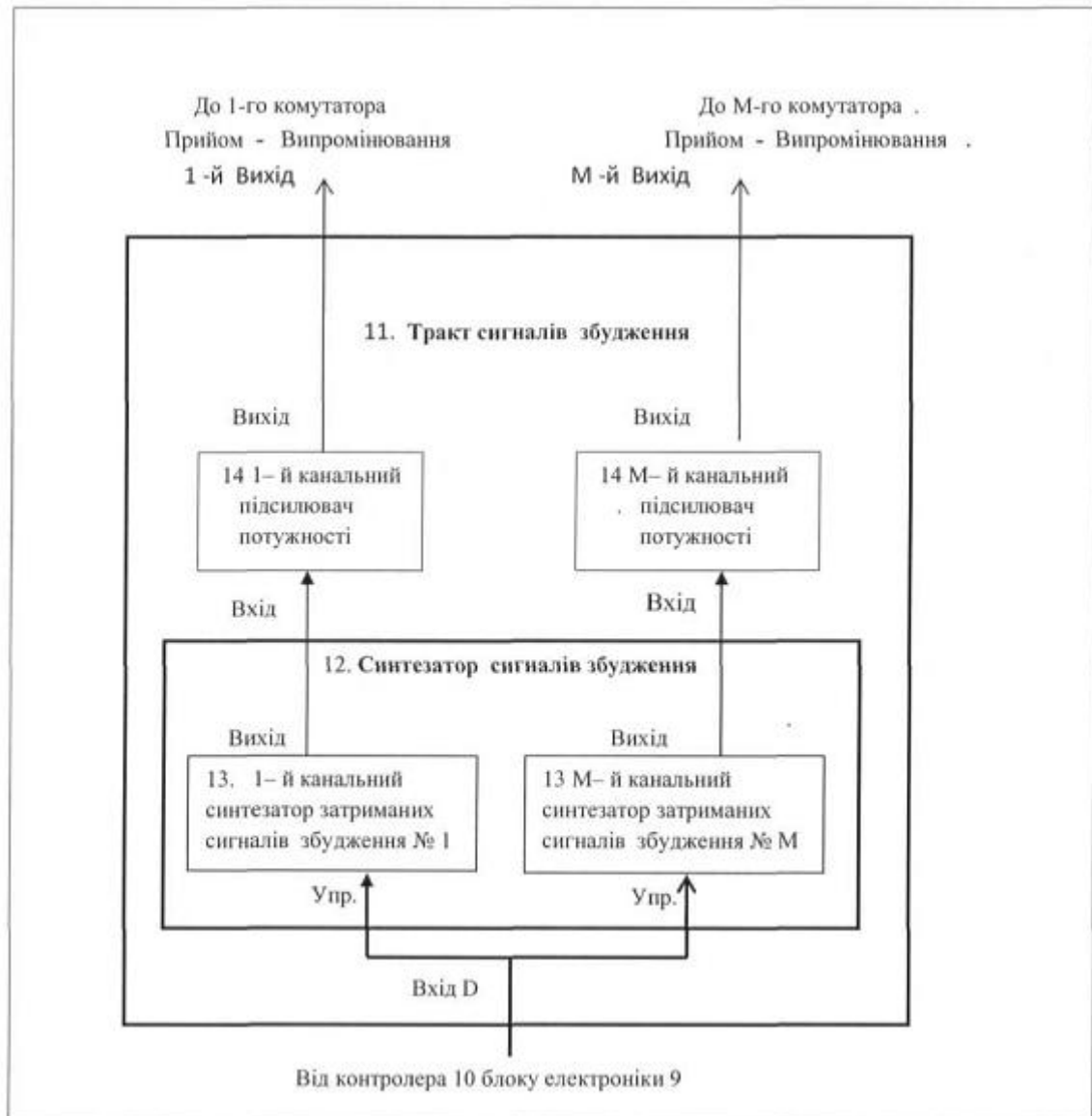


Fig. 3

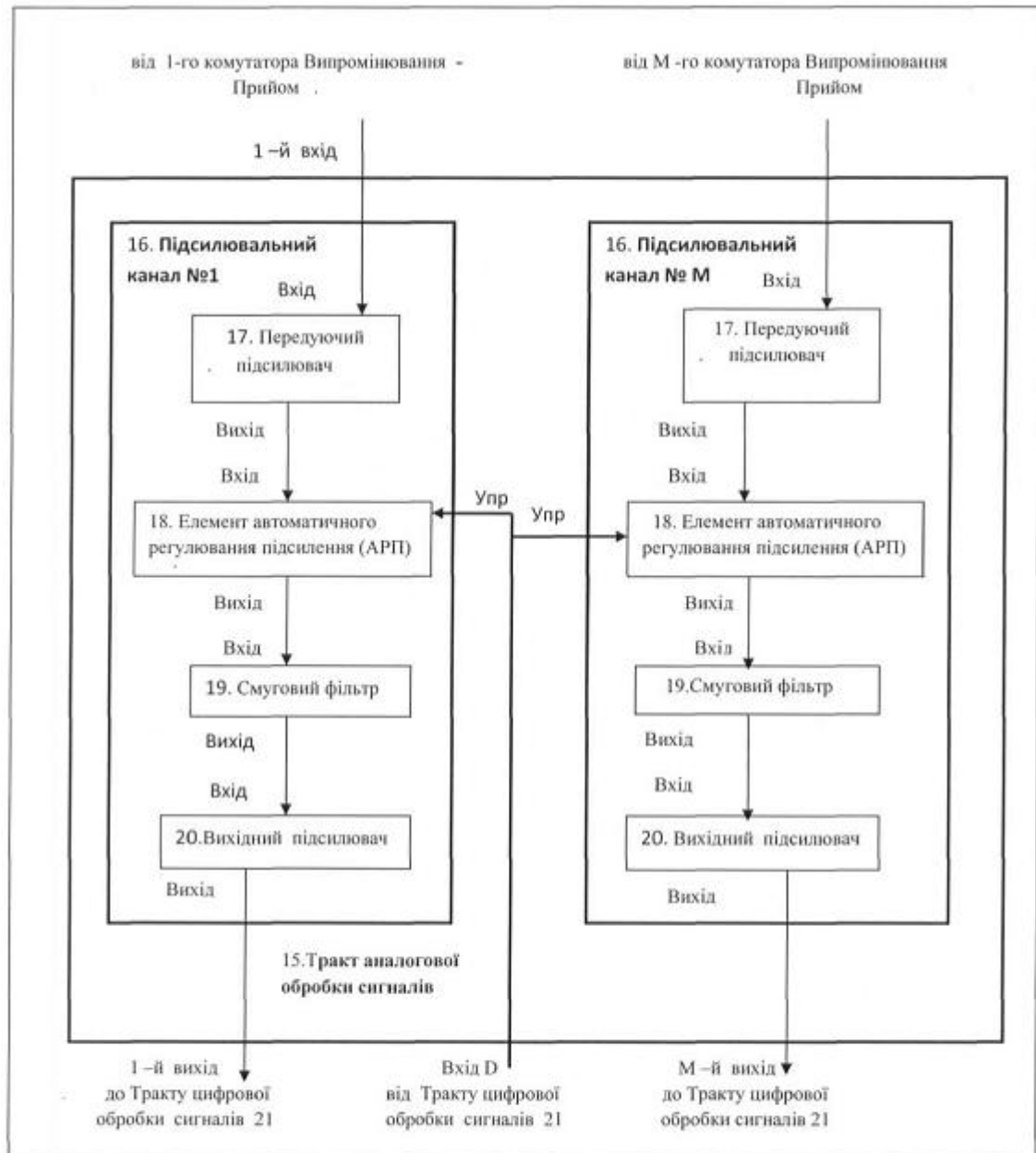
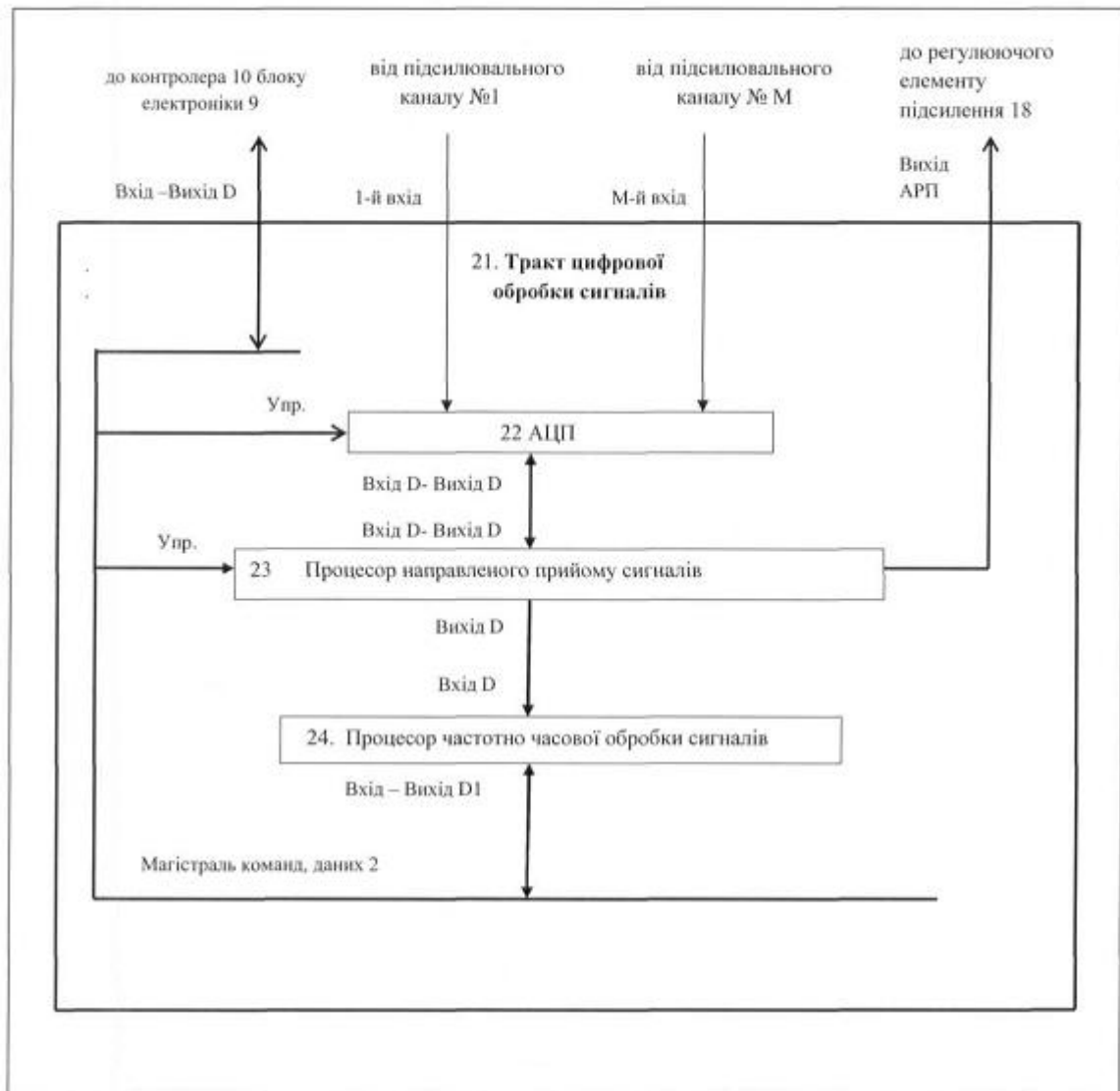


Fig. 4



Фиг. 5

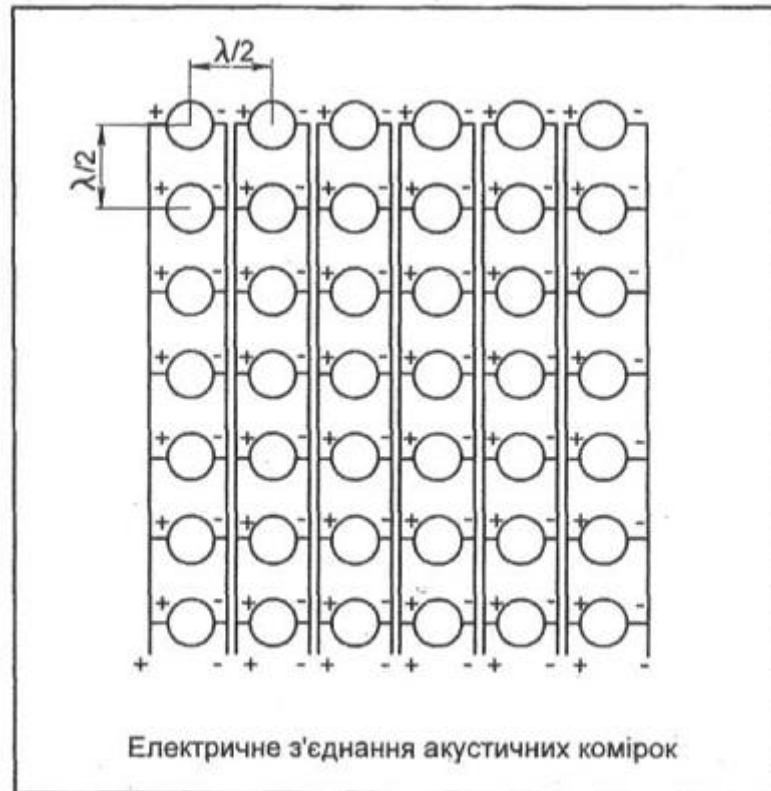




Fig. 6



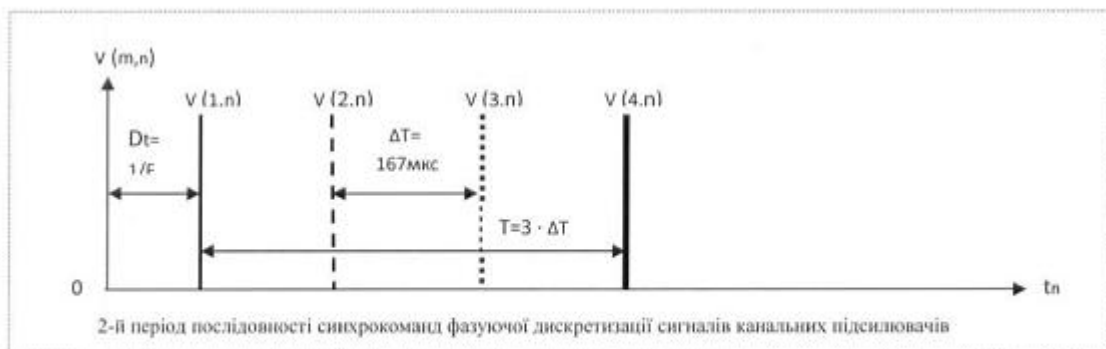
Fig. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



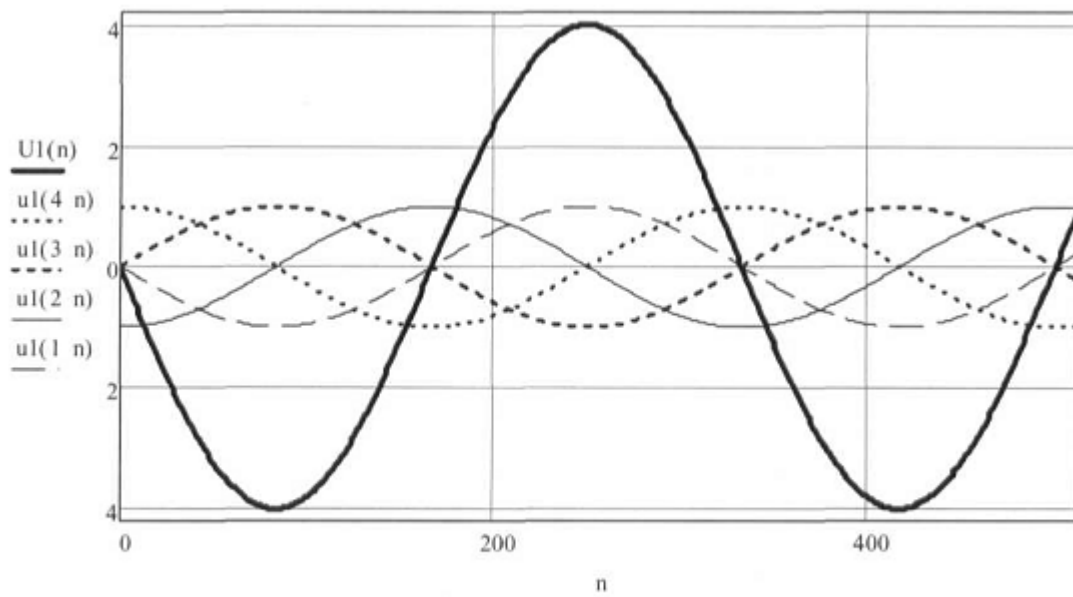
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

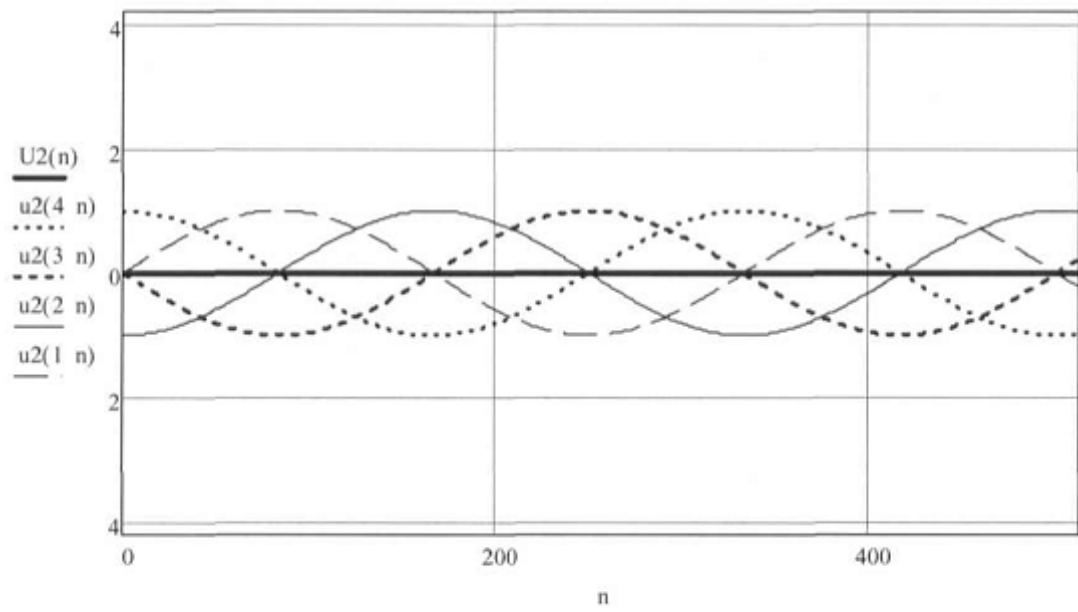


Fig. 14

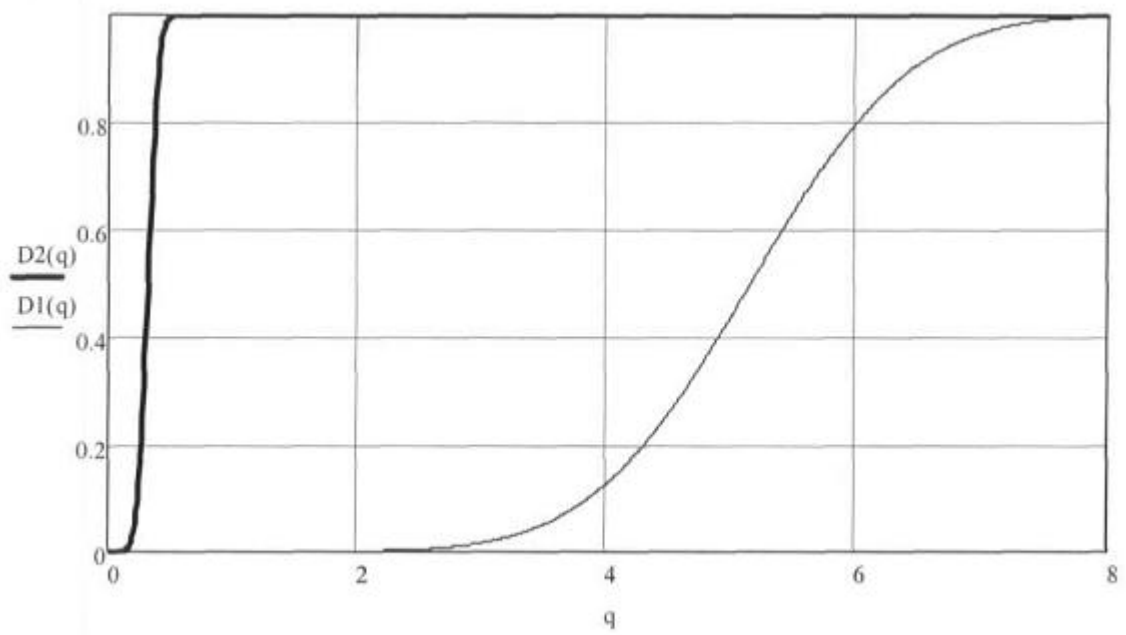
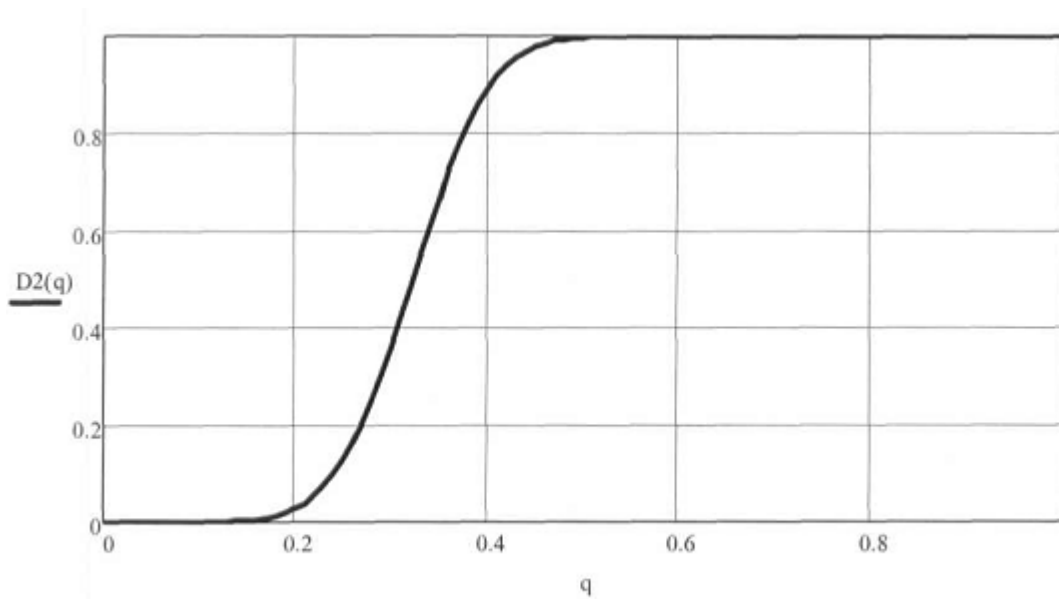


Fig. 15



**Fig. 16**

---

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601