



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **163864** (13) **U**
(51) МПК (2026.01)
G01L 27/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2026 01250	(72) Винахідник(и): Полярус Олександр Васильович (UA), Медведовська Яна Сергіївна (UA), Коваль Олександр Андрійович (UA), Коваль Андрій Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 06.03.2026	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 06.08.2026	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 05.08.2026, Бюл.№ 31	(73) Володілець (володільці): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA)
	(74) Представник: Азарова Алла Володимирівна

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОГО РІВНЯ ШУМУ У ВИМІРЮВАЛЬНОМУ КАНАЛІ ТИСКУ

(57) Реферат:

Спосіб визначення відносного рівня шуму у вимірювальному каналі тиску складається з вимірювальної лінії та датчика тиску, який полягає в тому, що за допомогою датчика вимірюють одну реалізацію випадкового тиску на виході вимірювальної лінії. Тиск рідини з виходу вимірювальної лінії передають через гідророзподільник до входів m редукторів тиску та до першого перемикача, з виходу якого тиск подають до основного датчика тиску та через другий перемикач - до додаткового датчика тиску з широкою смугою пропускання. З виходів m редукторів тиску тиск різної величини передають на входи першого перемикача, який переключає тиск рідини різної амплітуди до входу основного датчика тиску та через другий перемикач - до входу додаткового датчика тиску. З виходів основного і додаткового датчиків тиску електричні сигнали надсилають, відповідно, до першого та другого блоків визначення фазових портретів випадкових процесів тиску, а далі - до першого та другого блоків визначення евклідової відстані між рядками та стовпцями матриці зображення фазових портретів. З виходу першого блока визначення евклідової відстані сигнал, що залежить від амплітуди тиску на вході основного датчика, направляють через інвертор на перший вхід суматора. З виходу другого блока визначення евклідової відстані аналогічний сигнал, що залежить від амплітуди тиску на вході додаткового датчика, надсилають на другий вхід суматора, з виходу якого сигнал подають на перший вхід компаратора, на другий вхід якого подають сигнал з виходу генератора порогового сигналу i , залежно від рівня цього сигналу на виході компаратора, формують інформаційний сигнал про відносний рівень шуму у вимірювальному каналі тиску.

UA 163864 U

UA 163864 U

Галузь техніки

Корисна модель належить до способів вимірювання параметрів динамічних систем, зокрема шуму за наявності випадкових похибок вимірювання, і ґрунтується на використанні особливостей статистичних законів розподілу шуму та похибок вимірювання, а також залежності абсолютних значень випадкових похибок від амплітуди сигналу.

Рівень техніки

Корисна модель є універсальною для різних варіантів побудови вимірювальних каналів, що використовуються під час експлуатації технічно складних об'єктів (ТСО). До вимірювальних каналів належать, зокрема, вимірювальний канал тиску (ВКТ), що складається з вимірювальної лінії (ВЛ) та датчика або датчиків тиску. Вимірювальна лінія являє собою трубопровід, заповнений рідиною або газом. На окремих ТСО довжина ВЛ може досягати сотень метрів. У процесі експлуатації під дією зовнішніх та внутрішніх чинників статичні і динамічні характеристики ВКТ змінюються, що може призводити до значного спотворення вимірювальної інформації про тиск технологічного процесу. Це зумовлює необхідність застосування підвищених вимог до технічного обслуговування ВКТ, зокрема ВЛ.

Вимірювальний канал тиску в ідеальному випадку є лінійною інерційною системою, оскільки рідина (найчастіше вода) у ВЛ не стискається та без суттєвих спотворень передає тиск від контрольованого обладнання ТСО до датчиків тиску, функція перетворення яких є близькою до лінійної. Для контролю технічного стану датчиків тиску останні періодично демонтуються з багатоканальної інформаційно-вимірювальної системи та перевіряються на спеціальних стендах. Така процедура є трудомісткою та коштовною. У роботах Хашеміана Х. М., зокрема, [Н. М. Hashemian. Sensor Performance and Reliability. - ISA, 2004. - 306 p.], [Hashemian X. M. Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plants. - Springer, 2006. - 326 p.] та [Н. М. Hashemian. Development and application of instrumentation and control (I&C) components in nuclear power plants (NPPs). In: Understanding and Mitigating Ageing in Nuclear Power Plants. - Woodhead Publishing Series in Energy, 2010, p. 544-580], запропоновано бездемонтажний спосіб контролю датчиків тиску, що ґрунтується на використанні шуму, який несе інформацію про динамічні характеристики ВКТ (спосіб аналізу шумів). У патенті [Полярус О. В., Поляков Є. О., Чепусенко Є. О., Ібрагімов Ш. Г. Спосіб визначення імпульсної характеристики вимірювального каналу тиску. Патент України на винахід № 130016; заявка № а 2021 07706; опубліковано 15.10.2025, Бюлетень № 42/2025] розширено умови застосування способу аналізу шумів для випадків нелінійності ВКТ. Показано, що точність визначення імпульсної характеристики ВКТ збільшується при точному вимірюванні шуму.

Основним недоліком відомих способів використання шуму як інформативного фактору для визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів є відсутність урахування випадкових похибок вимірювання тиску, які в багатьох випадках дуже схожі на шум. За таких умов вимірювальна система інтерпретує випадкові похибки вимірювання як шум, що в окремих випадках призводить до формування неточних висновків щодо параметрів ВКТ. Відомі підходи до розділення шуму та випадкових похибок вимірювання, зокрема на основі використання декомпозиції сингулярних значень матриці тисків багатоканальної вимірювальної системи [Полярус О. В., Коваль О. А., Медведовська Я. С., Коваль А. О. A method for noise estimation in a multichannel measurement information systems using singular value decomposition of the data matrix. - Метрологія та прилади, 2025, №2, с. 26-38. DOI: 10.30837/2663-9564.2025.2.03], є ефективним лише за умови високого значення відношення сигнал/шум.

Найбільш близьким за технічною суттю до заявленої корисної моделі є спосіб, наведений у [Полярус О. В., Коваль О. А., Коваль А. О., Медведовська Я. С. Спосіб бездемонтажного контролю датчиків тиску в багатоканальній вимірювальній інформаційній системі. - Патент України на корисну модель № 160736; заявка № u 2024 04337; опубліковано 09.10.2025, Бюлетень № 41/2025].

Суть способу, вибраного як найближчий аналог, полягає в тому, що відповідність метрологічних характеристик датчиків тиску заданим вимогам оцінюється не на основі накопичення гідродинамічних шумів, а з використанням реальних сигналів тиску, амплітуда яких істотно перевищує амплітуду шумів. Оскільки процес накопичення шумів триває протягом тривалого часу (тижнів), переваги зазначеного способу щодо оперативності контролю є очевидними завдяки використанню високоенергетичних сигналів тиску. Вимірювальну інформацію знімають з декількох датчиків тиску, після чого здійснюють порівняння отриманих вихідні сигналів у кожному вимірювальному каналі наперед заданому часовому інтервалі з усередненою залежністю значень сигналу від часу. Зазначена опорна залежність є характерною для кожного режиму роботи ТСО. Опорну залежність формують шляхом статистичного усереднення великої кількості реалізацій випадкового процесу тиску за умов справного ТСО та

справних датчиків тиску, метрологічні характеристики яких відповідають заданим вимогам. Такі умови, як правило, забезпечуються після калібрування датчиків тиску на спеціалізованих стендах, що відповідно до нормативних документів обов'язково проводиться на ТСО.

Для порівняння використовують узагальнений критерій, який визначається як відстань в евклідовому просторі між множиною сингулярних значень опорної залежності та множиною сингулярних значень поточних реалізацій у кожному вимірювальному каналі. Якщо обчислена відстань перевищує заздалегідь визначене порогове значення, приймають рішення про відповідність датчиків заданим метрологічним характеристикам. Для цього проводять попереднє дослідження для конкретного ТСО з конкретною багатоканальною вимірювальною інформаційною системою. Варто зазначити, що визначена порогова відстань може виявитися неприйнятною для іншого подібного технічного об'єкта. Оцінювання порогової відстані проводять статистичними підходами, оскільки від її вибору залежить ймовірність правильного прийняття рішення щодо справності датчиків тиску. Для отримання множини сингулярних значень матриці результатів вимірювання застосовують SVD (Singular Value Decomposition). У цій матриці рядки відповідають номерам вимірювальних каналів тиску, а стовпці - номерами часових дискрет. Цифрові датчики тиску всіх каналів безпосередньо заповнюють матрицю значеннями тиску на заздалегідь визначеному часовому інтервалі.

Найближчий аналог дозволяє мінімізувати кількість непотрібних перевірок датчиків тиску. Основною його перевагою є значне підвищення оперативності (на кілька порядків) при бездемонтажному контролі датчиків порівняно з існуючим підходом аналізу шумів.

Недолік найближчого аналогу обумовлений тим, що при використанні шумів не враховуються випадкові похибки вимірювання вимірювального каналу тиску, які найчастіше є схожими з шумом за основними характеристиками, наприклад, спектром. Внаслідок цього при застосуванні способу аналізу шумів знижується точність визначення динамічних характеристик ВКТ. Це приводить до необхідності збільшення витрат на експлуатацію ВЛ та використання високоточних, а, отже, дорогих датчиків тиску, кількість яких на ТСО є великою.

Суть корисної моделі

В основу корисної моделі поставлено задачу визначення відносного рівня шумів у вимірювальному каналі тиску, тобто співвідношення між рівнем шумів та випадкових похибок вимірювання. Це дає можливість створити апіорну інформацію для методу аналізу шумів і, як наслідок, підвищити точність визначення динамічних характеристик вимірювального каналу.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення відносного рівня шуму у вимірювальному каналі тиску, що складається з вимірювальної лінії та датчика тиску, який полягає в тому, що за допомогою датчика вимірюють одну реалізацію випадкового тиску на виході вимірювальної лінії, згідно з корисною моделлю, тиск рідини з виходу вимірювальної лінії передають через гідророзподільник до входів m редукторів тиску та до першого перемикача, з виходу якого тиск подають до основного датчика тиску та через другий перемикач - до додаткового датчика тиску з широкою смугою пропускання, а з виходів m редукторів тиску тиск різної величини передають на входи першого перемикача, який переключає тиск рідини різної амплітуди до входу основного датчика тиску та через другий перемикач - до входу додаткового датчика тиску, а з виходів основного і додаткового датчиків тиску електричні сигнали надсилають, відповідно, до першого та другого блоків визначення фазових портретів випадкових процесів тиску, а далі - до першого та другого блоків визначення евклідової відстані між рядками та стовпцями матриці зображення фазових портретів, з виходу першого блока визначення евклідової відстані сигнал, що залежить від амплітуди тиску на вході основного датчика, направляють через інвертор на перший вхід суматора, а з виходу другого блока визначення евклідової відстані аналогічний сигнал, що залежить від амплітуди тиску на вході додаткового датчика, надсилають на другий вхід суматора, з виходу якого сигнал подають на перший вхід компаратора, на другий вхід якого подають сигнал з виходу генератора порогового сигналу і, залежно від рівня цього сигналу на виході компаратора, формують інформаційний сигнал про відносний рівень шуму у вимірювальному каналі тиску.

При здійсненні запропонованого способу використовують відмінності між характеристиками шуму та випадковими похибками вимірювання тиску. Шуми і похибки вимірювання формуються різними фізичними процесами та характеризуються різними статистичними властивостями. Крім того, випадкові похибки вимірювання пов'язані з енергетичними характеристиками корисного сигналу тиску, унаслідок чого їх абсолютні значення зростають при збільшенні амплітуди сигналу. При цьому середньоквадратичне відхилення шуму залишається практично незмінним, оскільки шум є некорельованим з корисним сигналом. Використання зазначеної відмінності забезпечує можливість оцінювання відносного рівня шуму без необхідності попереднього визначення статистичного закону його розподілу.

Оскільки обробка реалізацій випадкового процесу, що включає сигнал, його випадкові похибки вимірювання та шум є складним у часово-частотній області і не забезпечує повного розділення зазначених компонентів процесу, у запропонованій корисній моделі використовують обробку цього процесу як зображення. Зображення формують шляхом побудови фазового портрету реалізацій випадкового процесу. Ця процедура є добре відомою і описана, наприклад, у [D. W. Jordan and P. Smith. Nonlinear Ordinary Differential Equations. An introduction for Scientists and Engineers. - Oxford University Press Inc., New York, Fourth edition, 2007. - 540 p.]. Фазовий портрет випадкового процесу являє собою візуалізацію всіх можливих траєкторій його розвитку у фазовому просторі, що допомагає зрозуміти якісні властивості ВКТ через проєкції траєкторій. Якщо випадковий процес тиску пропустити через лінійну динамічну систему з обмеженою смугою пропускання або сталою часу, фазові портрети реалізації процесу на вході і виході системи будуть відрізнятися за рахунок його фільтрації. У багатьох випадках фільтрація шуму і випадкових похибок вимірювання буде різною, що може створювати додаткові можливості для їх розпізнавання.

Використання додаткового датчика тиску з широкою смугою пропускання дозволяє отримати еталонний сигнал, порівняння з яким дає змогу виявити шумові складові. Своєю чергою, визначення евклідової відстані між матрицями зображень фазових портретів дозволяє кількісно оцінити ступінь розбіжності сигналів з основного та додаткового датчиків. Оскільки вплив амплітуди на похибки нівелюється завдяки штучному її змінненню через редуктори, подальше порівняння отриманої різниці на компараторі із заданим пороговим сигналом забезпечує безпосереднє формування інформаційного сигналу, пропорційного саме відносному рівню шуму.

Технічний результат корисної моделі полягає у забезпеченні можливості визначення відносного рівня шумів у вимірювальному каналі тиску, що складається з довгої вимірювальної лінії, заповненою рідиною, та датчика тиску. Це дозволяє підвищити точність визначення динамічних характеристик вимірювального каналу у способі аналізу шумів шляхом врахування співвідношення між шумом і випадковими похибками вимірювання, які слабко відрізняються між собою.

Перелік фігур креслень

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де зображено:

- Фіг. 1 - Приклад реалізацій випадкового процесу тиску, їх фазові портрети та матриці яскравості пікселів для цих фазових портретів на вході і виході вимірювального каналу при умові, що шуми істотно перевищують випадкові похибки вимірювання;

- Фіг. 2 - Приклад реалізацій випадкового процесу тиску, їх фазові портрети та матриці яскравості пікселів для цих фазових портретів на вході і виході вимірювального каналу при умові, що шуми сумірні з випадковими похибками вимірювання;

- Фіг. 3 - Приклад реалізацій випадкового процесу тиску, їх фазові портрети та матриці яскравості пікселів для цих фазових портретів на вході і виході вимірювального каналу при умові, що випадкові похибки вимірювання істотно перевищують шуми;

- Фіг. 4 - Приклади розподілу евклідових відстаней між сусідніми рядками і стовпцями матриці яскравості пікселів для фазових портретів на вході і виході вимірювального каналу тиску;

- Фіг. 5 - Приклад залежностей середньої евклідової відстані між сусідніми рядками і стовпцями матриці яскравості пікселів для фазових портретів та середньоквадратичного відхилення цієї відстані на вході і виході вимірювального каналу тиску від амплітуди сигналу;

- Фіг. 6 - Приклад залежностей середньої евклідової відстані між сусідніми рядками і стовпцями матриці яскравості пікселів для фазових портретів та середньоквадратичного відхилення цієї відстані на вході і виході вимірювального каналу тиску від відношення середньоквадратичного відхилення випадкової похибки до середньоквадратичного відхилення шуму;

- Фіг. 7 - Приклад залежностей різниці середніх евклідових відстаней між сусідніми рядками і стовпцями матриці яскравості пікселів для фазових портретів на вході і виході вимірювального каналу тиску при трьох різних рівнях шуму від амплітуди сигналу при фіксованому рівні постійної часу вимірювального каналу тиску;

- Фіг. 8 - Приклад залежностей різниці середніх евклідових відстаней між сусідніми рядками і стовпцями матриці яскравості пікселів для фазових портретів на вході і виході вимірювального каналу тиску при трьох різних постійних часу вимірювального каналу тиску від амплітуди сигналу при фіксованому значенні рівня шуму;

- Фіг. 9 - Блок-схема пристрою, що реалізує заявлений спосіб визначення відносного рівня шуму вимірювального каналу тиску.

Відомості, що підтверджують можливість здійснення корисної моделі

Заявлений спосіб реалізується наступним чином.

На вхід ВКТ подають випадковий процес тиску $\xi(t)$, модель реалізації якого являє собою суму детермінованого сигналу $s(t)$, випадкових похибок вимірювання $\Delta s(t)$ та шуму $n(t)$, тобто

$$\xi(t) = s(t) + \Delta s(t) + n(t). \quad (1)$$

Вважають, що систематичні похибки вимірювання усунуті технічними засобами та дорівнюють нулю. Випадкові похибки вимірювання тиску $\Delta s(t)$ представляють у вигляді білого гауссівського шуму, а власне шум $n(t)$ - розподіленим за рівномірним законом, що є типовим на практиці. Можливе застосування інших законів розподілу, проте вони обов'язково повинні відрізнятися між собою, оскільки, у випадку ідентичності законів розподілу шумів і похибок, їх розрізнення стає проблематичним. У якості динамічної системи використовується датчик тиску, що входить до складу ВКТ. Цей датчик вносить до сигналу випадкові похибки вимірювання $\Delta s(t)$. Наприклад, якщо відносне СКВ похибок вимірювання становить 0,1, а СКВ шуму - 1, то при постійній часу датчика $t=0,5$ с та детермінованому сигналі $s(t)$ малої амплітуди $A=0,01$ отримують залежності, приведені на фіг. 1, що відповідає випадку, коли шум істотно перевищує похибки вимірювання. На фіг. 2 наведені ті ж залежності за умови, що $A=1$ (похибки і шум сумірні), а на фіг. 3 - при $A=10$ (похибки вимірювання істотно перевищують шум). Випадкові похибки вимірювання при моделюванні були пов'язані пропорційною залежністю

$$\Delta s(t) = A \cdot \mu(t), \quad (2)$$

де $\mu(t)$ - масштабний коефіцієнт, середнє значення та СКВ якого можна змінювати і тим самим регулювати співвідношення між амплітудою сигналу та похибками вимірювання. Цей коефіцієнт є незалежним від шуму $n(t)$. При моделюванні його середнє значення становило $0 \leq \bar{\mu} \leq 0.1$.

Співвідношення (2) зрозуміле інтуїтивно, але є експериментальне підтвердження подібної залежності. Так, в [Barzegar M., Alegria F. A. C., Serra A. C. Experimental validation of the precision of sinusoidal amplitude estimation in the presence of additive noise // Scientific Reports. - 2025. - Vol. 15. - Art. 12789. - DOI: 10.1038/s41598-025-95861-7] приведена наближена емпірична формула для СКВ похибки амплітуди σ_A , що залежить пропорційно від амплітуди A , а також від відношення сигнал/шум q та кількості вибірок M :

$$\sigma_A \approx \frac{A}{q\sqrt{M}} \sqrt{\frac{1+M \cdot q^2}{2+M \cdot q^2}}. \quad (3)$$

У верхніх частинах фіг. 1, 2, 3 показані приклади реалізацій випадкових процесів тиску на вході і виході датчика. Середні частини фіг. 1, 2, 3 представляють фазові портрети заданих реалізацій, а нижні частини - матриці яскравості пікселів зображень фазових портретів процесів. Коли шум домінує над сигналом (фіг. 1), то рівномірний розподіл шуму на вході датчика, що описується рівномірним заповненням фазового портрету, перетворюється в еліпсоподібне зображення фазового портрету (або матриці зображення) на виході. Якщо СКВ шуму та випадкових похибок вимірювання є сумірним (фіг. 2), то рівномірний розподіл яскравості пікселів фазового портрету на вході датчика трансформується в зображення колового типу. Якщо з вимірювальної лінії надходить тиск постійної амплітуди, що значно перевищує шум, то на вході і виході датчика тиску спостерігається зображення фазового портрету, яке близьке за формою з колом. Отже, аналіз фазових портретів випадкового процесу тиску на вході і виході датчика вже дає попередню орієнтовну інформацію про співвідношення між сигналом (тиском) і шумом.

При моделюванні були відомі СКВ шуму та випадкових похибок вимірювання, але у реальних ситуаціях такі дані часто є відсутніми. Ось чому важливо визначити не абсолютні значення СКВ шуму та похибок, а співвідношення між ними. Для цього при моделюванні використовують пропорційну в статистичному сенсі залежність (2) між випадковими похибками вимірювань і амплітудою сигналу, що було враховано при побудові фіг. 1-3. Для кількісного опису зображень фазових портретів вводять евклідову відстань (ЕВ) (евклідову метрику) між яскравостями пікселів сусідніх рядків та стовпців матриць зображень, яка визначається за відомим співвідношенням, що міститься в будь-якому навчальному посібнику з функціонального аналізу. В сутності, ЕВ є аналогом гіпотенузи прямокутного трикутника у багатомірному евклідовому просторі і, наприклад, для двох сусідніх рядків зазначеної матриці визначається співвідношенням

$$\rho = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - r_i)^2}, \quad (4)$$

де p_i, r_i - значення яскравості i -их пікселів в сусідніх рядках, а n - кількість рядків матриці.

Графіки цих відстаней, що відповідають умовам фіг. 3, приведені на фіг. 4. Залежності середніх значень та СКВ евклідових відстаней між сусідніми рядками та стовпцями матриці від амплітуди сигналу на вході і виході системи показані на фіг. 5. Оскільки характер залежностей (фіг. 4, 5) для рядків і стовпців подібний, у подальшому розглядають лише залежності вздовж рядків. Залежності, наведені на фіг. 5, показують, що збільшення амплітуди сигналу вище певного значення (в даному випадку приблизно 5) не призводить до змін у поведінці графіків. Це пояснюється тим, що похибки вимірювання тиску, які збільшуються зі зростанням амплітуди, істотно перевищують шум. В таких умовах евклідові відстані між рядками і стовпцями матриці практично не змінюються. Для приведеного прикладу (постійна часу системи є великою (0.5 с)) найбільші зміни відстані спостерігаються на вході системи. Аналогічний характер мають також СКВ евклідової відстані (фіг. 5).

Залежності середніх значень та СКВ ЕВ між сусідніми рядками та стовпцями матриці від відношення СКВ похибки вимірювання до СКВ шуму на вході і виході системи представлені на фіг. 6. Чим більше це відношення, тим менше значення середньої ЕВ на вході системи та, навпаки, тим більше - на виході. При певному значенні цього відношення середні значення ЕВ на вході і виході системи збігаються. Усі залежності, що наведені на фіг. 5 та на фіг. 6, мають нелінійний характер.

Завданням запропонованої корисної моделі є визначення відносного рівня шуму у вимірювальному каналі тиску. Пряме визначення рівня шуму окремо від похибок вимірювання неможливе. Тому використовують опосередкований спосіб, в якому критерієм відносного рівня шуму вибрано різницю середніх значень евклідової відстані між сусідніми рядками або стовпцями матриці на вході і виході датчика тиску як динамічної системи. Цей критерій ґрунтується на результатах досліджень, що показані на фіг. 1-6. На фіг. 7 приведені залежності цієї різниці від амплітуди сигналу при різних СКВ шуму. При малих рівнях шуму криві зазначеної різниці описують флуктуації навколо майже постійного середнього значення. Якщо СКВ шуму досягає 10 % відносно амплітуди, то постійний характер графіку істотно змінюється при малих значеннях амплітуди сигналу, а при амплітуді що перевищує одиницю, ця різниця також залишається близькою до постійної. Аналогічний характер зберігається при більш високих рівнях шуму, але тоді постійний характер різниці буде спостерігатися при більших значеннях амплітуди. З цього випливає, що шляхом програмованого змінювання амплітуди або використання багатоканальної по амплітуді системи можна визначити відносний рівень шуму з використанням графіків, що аналогічні фіг. 7.

Слід відзначити, що характер різниці середніх значень евклідової відстані між сусідніми рядками або стовпцями матриці на вході і виході датчика тиску слабко залежить від його постійної часу. Цей факт ілюструється на фіг. 8 і підтверджує, що запропонований критерій забезпечує задовільні результати при використанні різних типів датчиків.

Отже, запропонований спосіб визначення відносного рівня шуму вимірювального каналу тиску доцільно застосовувати для оцінки співвідношення між рівнем шуму та випадковими похибками вимірювання з метою підвищення точності визначення динамічних характеристик каналу способом аналізу шумів.

Схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб, приведена на фіг. 9. В ньому реалізують пропозиції, що викладені раніше. Основними проблемами технічної реалізації пропозицій є, по-перше, визначення фазового портрету випадкового процесу тиску на вході датчика тиску та, по-друге, встановлення залежності евклідової відстані між сусідніми рядками та стовпцями матриці зображення, що описує фазовий портрет, від амплітуди тиску. Для побудови фазового портрету випадкового процесу на вході датчика тиску необхідно виміряти його реалізацію, що можна зробити лише за допомогою датчика тиску. Один датчик не здатний забезпечити ці вимірювання самостійно. В запропонованій корисній моделі використовують додатковий датчик тиску, який встановлюють паралельно основному. Основний датчик тиску є, як правило, датчиком мембранного типу, який добре зарекомендував себе в процесі експлуатації на ТСО. Оскільки він містить механічну мембрану, його смуга пропускання обмежена, що призводить до спотворення сигналу тиску. Додатковий датчик тиску повинен мати широку смугу пропускання, що досягається застосуванням датчиків немеханічного типу [Mathieu Chalnot, Patrick Pons and Hervé Aubert. Frequency Bandwidth of Pressure Sensors Dedicated to Blast Experiments. - Sensors, 2022, 22, 3790. <https://doi.org/10.3390/s22103790>]. В таких датчиках тиску ширина смуги пропускання може перевищувати 1 МГц і навіть в окремих датчиках 1 ГГц. Реалізації випадкового процесу на вході і виході додаткового датчика тиску з широкою смугою пропускання дуже близькі, а статистичні характеристики однакові. Це дозволяє вважати реалізацію випадкового процесу тиску на виході додаткового датчика вважати процесом на вході основного датчика. Додатковий датчик не змінює реалізацій вхідного процесу

тиску, але він здійснює запис вхідної реалізації, що забезпечує побудову її фазового портрету. Його не можна застосовувати для основних вимірювань, оскільки датчики немеханічного типу не мають заданих експлуатаційних характеристик, що задовольняють вимогам ТСО. Таким чином, додатковий датчик тиску необхідно використовувати тільки тимчасово в режимі визначення фазових портретів на вході основного датчика.

Другу проблему не можна розв'язати шляхом простого змінювання амплітуди тиску на вході основного датчика, бо в багатьох випадках це може порушувати технологію роботи ТСО. В запропонованій корисній моделі різну амплітуду тиску створюють шляхом зменшення основного тиску в допоміжних лініях при застосуванні редукторів тиску, які широко використовують на практиці. Як впливає з фіг. 7, для визначення відносного рівня шуму достатньо використовувати діапазон малих амплітуд, що забезпечують редуктори тиску.

Тиск від технічного об'єкту подають на вимірювальну лінію 1 (фіг. 9), яка являє собою трубу, що повністю заповнена водою. З виходу лінії 1 тиск передають на гідророзподільник тиску 2, який є типовим вузлом сантехнічних ліній. Гідророзподільник 2 виконує функцію розподілу потоку води або безпосередньо на перший перемикач 3, або на редуктори тиску 5, з виходів яких тиск передають на вході першого перемикача 3. В основному режимі тиск води передають від першого перемикача 3 до основного датчика тиску 4, а далі в систему оброблення вимірювальної інформації, яку в даній корисній моделі не розглядають. Перемикачі є типовими механічними блоками сантехніки. З перемикача 3 тиск води передають також на другий перемикач 6, який може перемикає тиск води на додатковий датчик 7 в режимі визначення відносного рівня шуму. Електричні цифрові сигнали з виходу основного датчика 4 надсилають до першого блоку визначення фазового портрету 8, а далі у перший блок 9 визначення евклідової відстані між сусідніми рядками та стовпцями матриці, що відображає фазовий портрет випадкового процесу тиску на виході основного датчика 4. Аналогічно, з виходу додаткового датчика 7 сигнал спрямовують на другий блок 12 визначення фазового портрету сигналу і далі на другий блок 13 визначення евклідової відстані між сусідніми рядками та стовпцями матриці, що відображає фазовий портрет випадкового процесу тиску на виході додаткового датчика 7. Цей фазовий портрет також описує випадковий процес на вході основного датчика 4. З виходу блока 9 сигнали подають через інвертор 10 на перший вхід суматора 11, на другий вхід якого надсилають сигнали з блока 13. Вихідний сигнал суматора 11, який формує різницю евклідових відстаней між сусідніми рядками чи стовпцями матриці зображення фазового портрету, подають на перший вхід компаратора 14, на другий вхід якого відправляють сигнал, що створюють в генераторі порогового рівня 15. Перевищення порогу означає, що відносний рівень шуму перевищив наперед встановлене значення.

Промислова придатність заявленого способу підтверджується тим, що його реалізація можлива з використанням існуючої елементної бази сантехніки, сучасної радіоелектроніки та засобів обчислювальної техніки. Усі функціональні вузли, що наведені у блок-схемі (фіг. 9), зокрема гідророзподільник, перемикачі, датчики тиску, блоки визначення фазових портретів та евклідових відстаней між рядками і стовпцями матриці зображення фазових портретів та генератор опорного сигналу, є відомими пристроями, які можуть бути виконані як на апаратному рівні, так і програмно з використанням мікропроцесорних систем або сигнальних процесорів. Заявлений спосіб призначений для практичного застосування у сфері бездемонтажного визначення динамічних характеристик вимірювальних каналів тиску.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення відносного рівня шуму у вимірювальному каналі тиску, що складається з вимірювальної лінії та датчика тиску, який полягає в тому, що за допомогою датчика вимірюють одну реалізацію випадкового тиску на виході вимірювальної лінії, який **відрізняється** тим, що тиск рідини з виходу вимірювальної лінії передають через гідророзподільник до входів m редукторів тиску та до першого перемикача, з виходу якого тиск подають до основного датчика тиску та через другий перемикач - до додаткового датчика тиску з широкою смугою пропускання, а з виходів m редукторів тиску тиск різної величини передають на вході першого перемикача, який переключає тиск рідини різної амплітуди до входу основного датчика тиску та через другий перемикач - до входу додаткового датчика тиску, а з виходів основного і додаткового датчиків тиску електричні сигнали надсилають, відповідно, до першого та другого блоків визначення фазових портретів випадкових процесів тиску, а далі - до першого та другого блоків визначення евклідової відстані між рядками та стовпцями матриці зображення фазових портретів, з виходу першого блока визначення евклідової відстані сигнал, що залежить від амплітуди тиску на вході основного датчика, направляють через інвертор на перший вхід

- суматора, а з виходу другого блока визначення евклідової відстані аналогічний сигнал, що залежить від амплітуди тиску на вході додаткового датчика, надсилають на другий вхід суматора, з виходу якого сигнал подають на перший вхід компаратора, на другий вхід якого подають сигнал з виходу генератора порогового сигналу і, залежно від рівня цього сигналу на виході компаратора, формують інформаційний сигнал про відносний рівень шуму у вимірювальному каналі тиску.

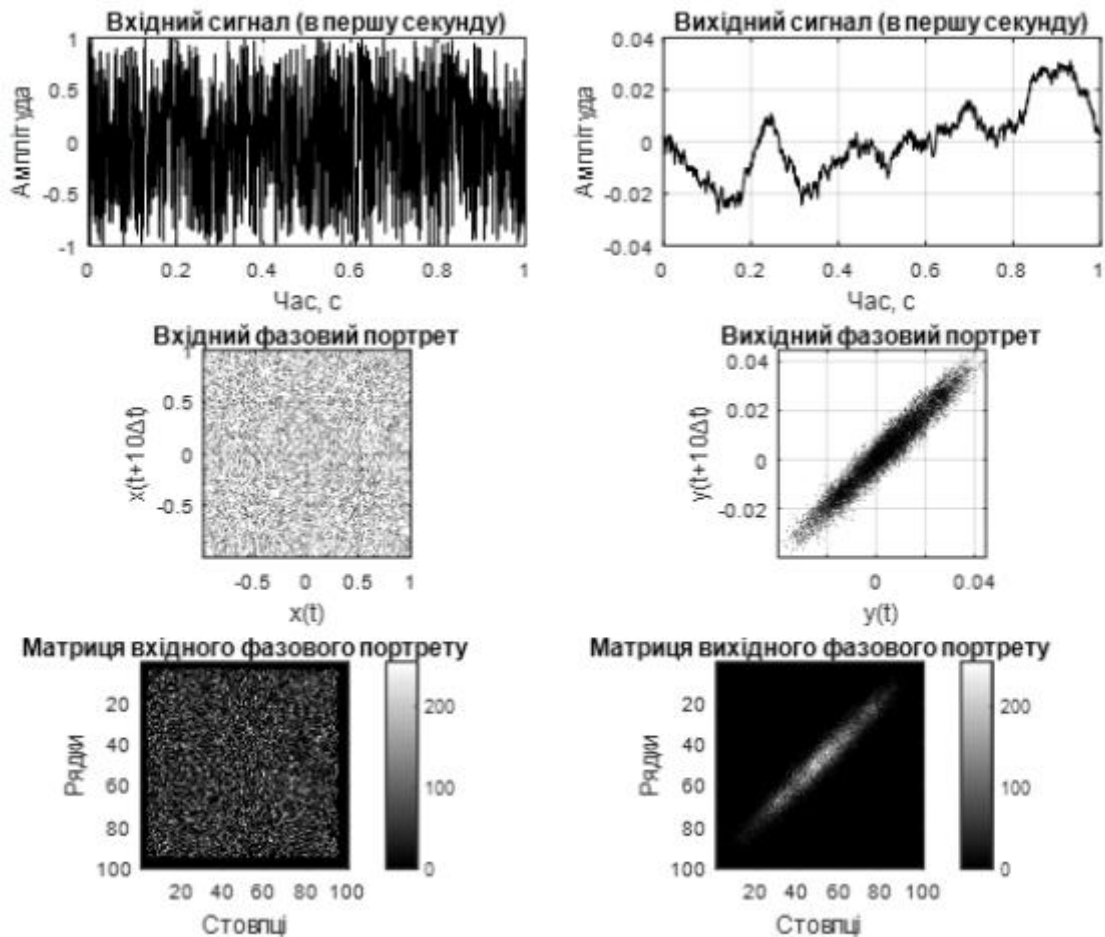


Fig. 1

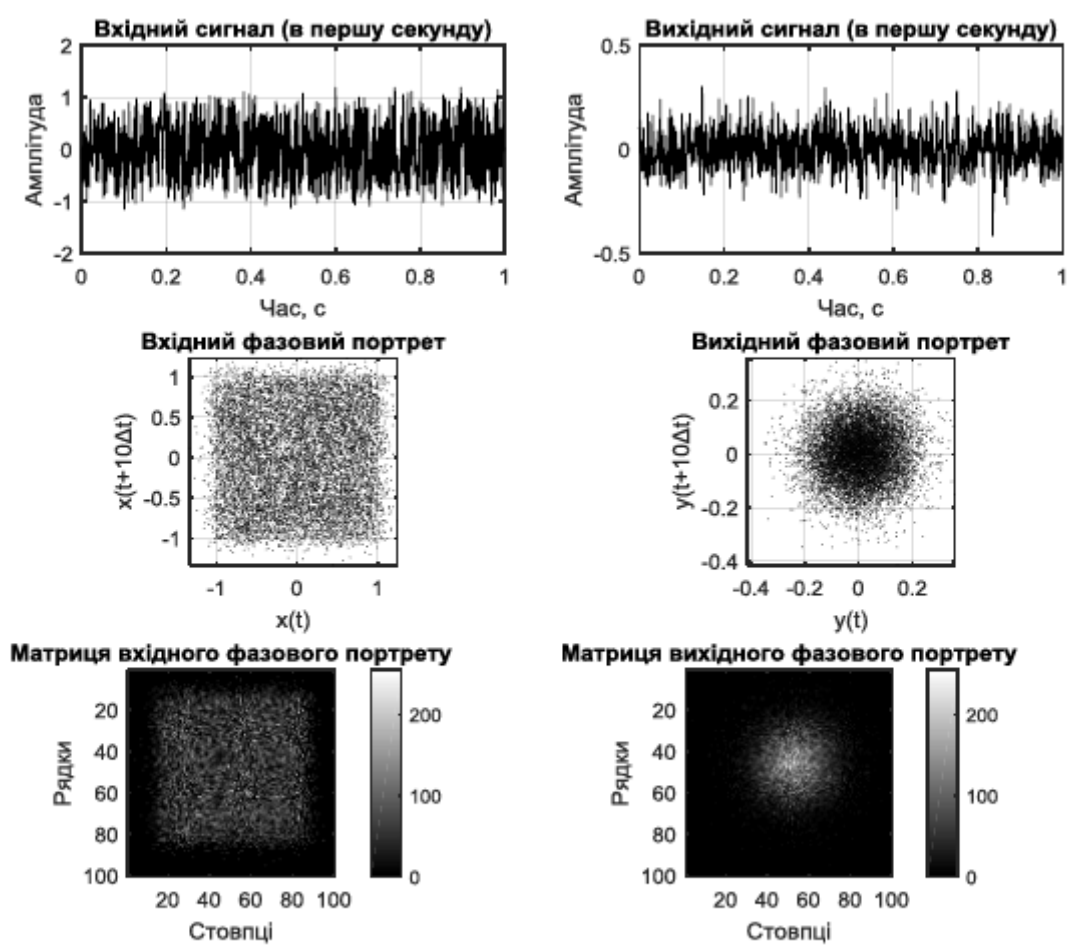


Fig. 2

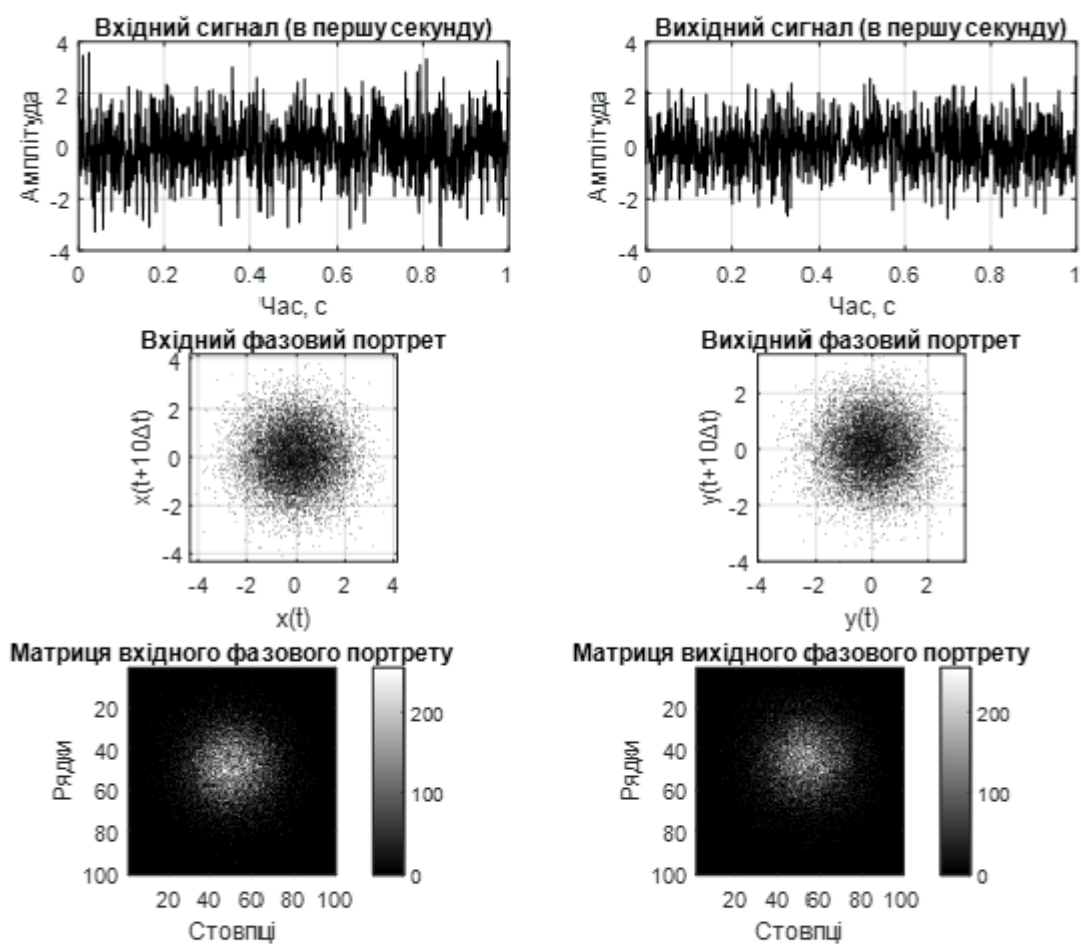


Fig. 3

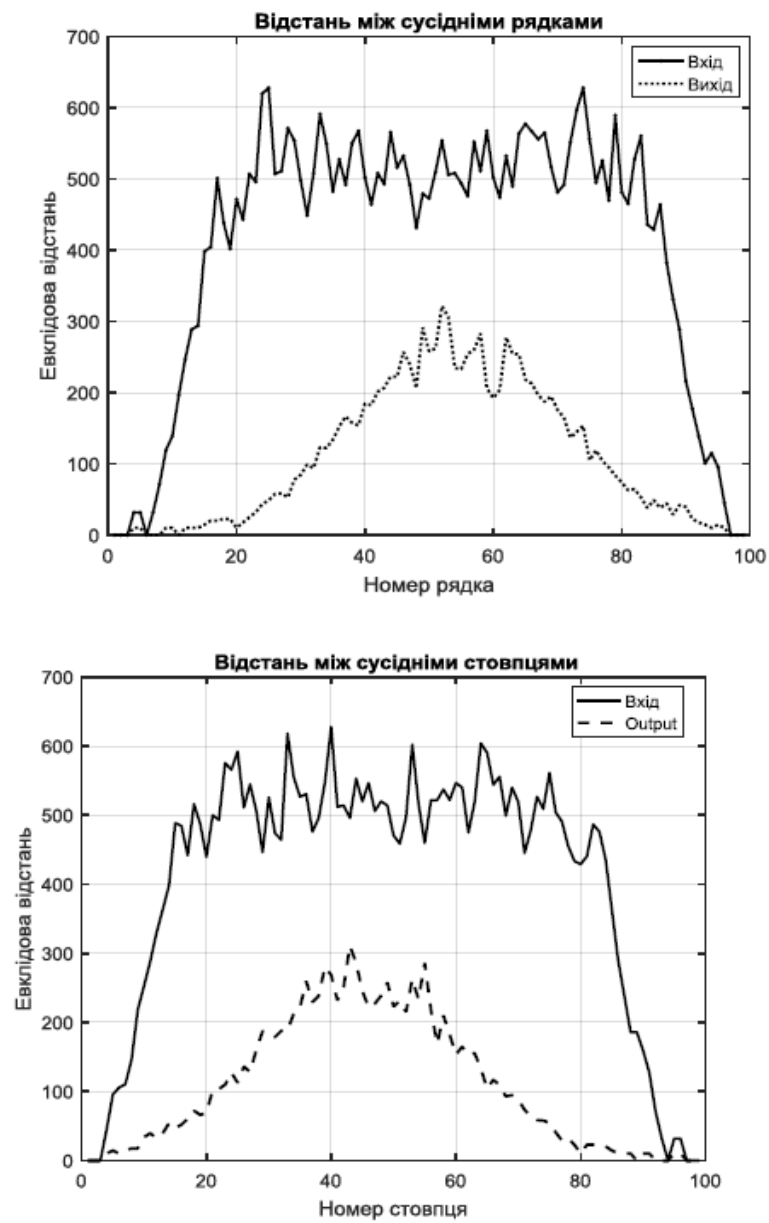
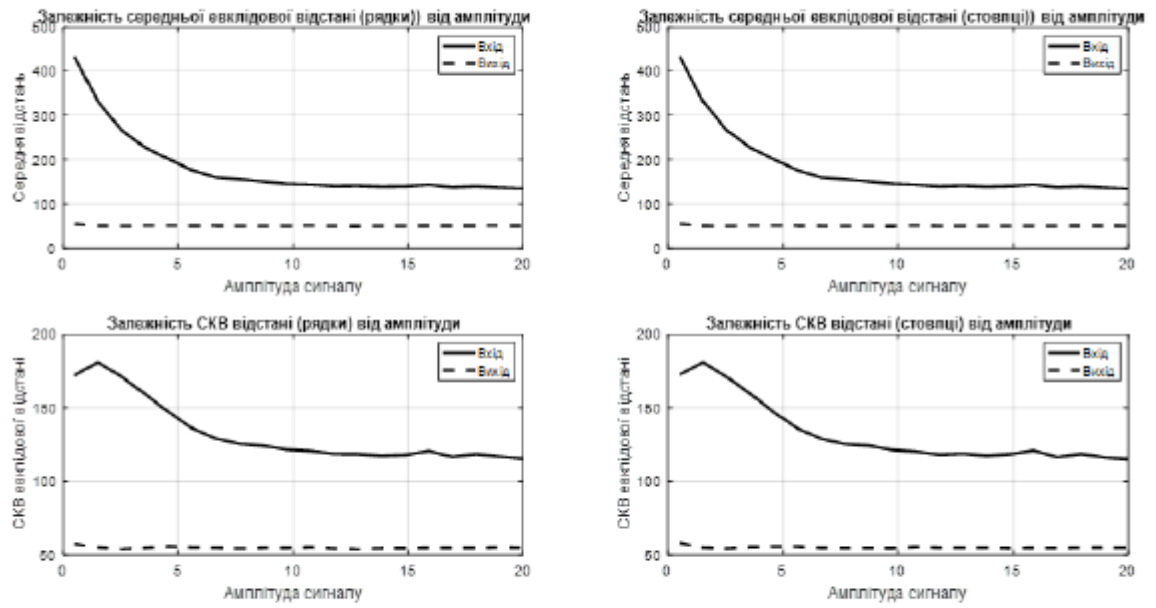
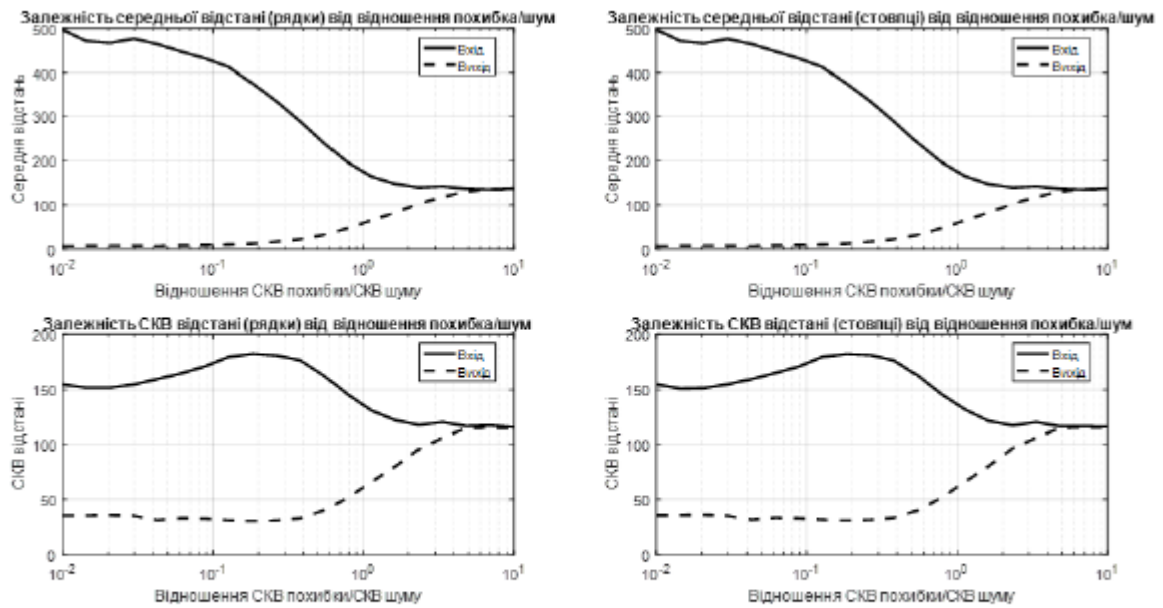


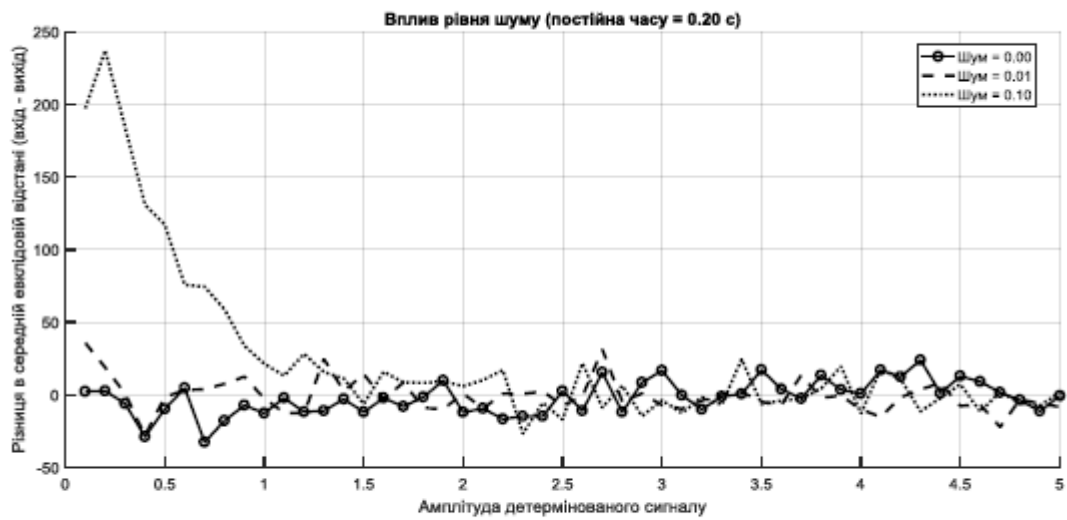
Fig. 4



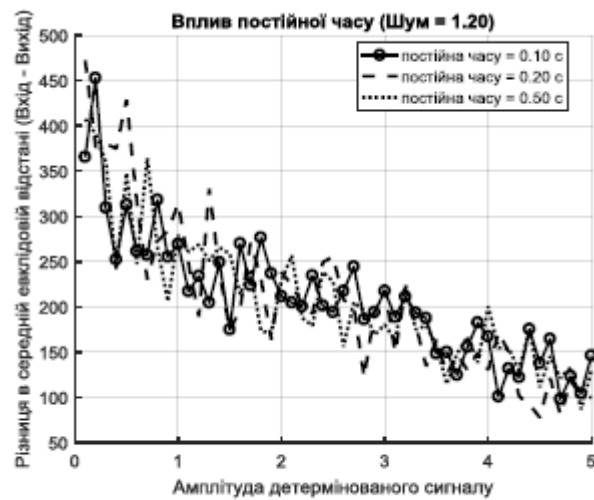
Фіг. 5



Фіг. 6



Фіг. 7



Фіг. 8

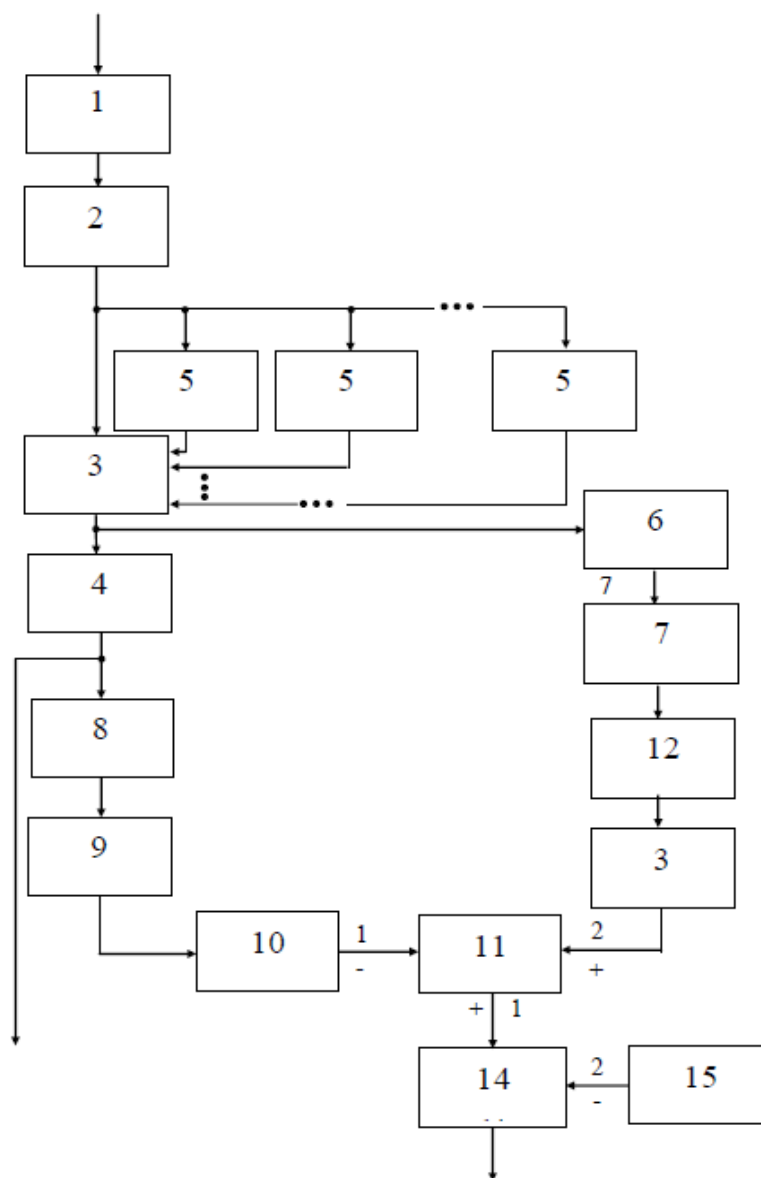


Fig. 9