

Висновки

У цій роботі розглянуто окремі питання, які стосуються особливостей оптимального функціонування МГД системи очищення води, визначено статичні метрологічні характеристики вимірювального каналу для МГД-системи за допомогою розкладу в ряд Тейлора рівняння вимірювального перетворення, що дає змогу об'єктивно оцінювати ефективність застосування вказаної системи в стаціонарному режимі. У зв'язку із тим, що МГД-технологія є ще недостатньо вивченою, через надзвичайну складність моделей гідродинаміки в умовах дії сильних магнітних полів існує невирішена проблема побудови адекватної моделі поведінки системи в умовах динамічної зміни параметрів, яка враховуватиме всі впливні величини. У перспективі, після розроблення такої моделі стане можливим отримання достовірної оцінки динамічних метрологічних характеристик вимірювального каналу для МГД-системи.

1. Васюра А.С., Шабатура Ю.В. Дослідження та оптимізація просторово-часових параметрів магнітогідродинамічної системи очищення води // "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології". – 2002.– №2. – С. 185–193. 2. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. – Вінниця. ВДТУ, 2001. – 220 с. 3. Патент України № 63514 А. Пристрій для очистки рідини в магнітному полі / Ю.В. Шабатура, О.П. Григор'єв, М.Ю. Шабатура. Опублік. 2004 Бюл. № 1. 4. Шабатура Ю.В., Штельмах І.М., Зелена О.В. Розробка теоретичних засад, та проектно-експериментальних досліджень для оптимізованої в часі магнітогідродинамічної сепарації рідини / Заключний звіт по темі № 8127 № держреєстрації 0104U008024, інвентарний № 0205U002957. 2005. – 46 с.

УДК 536.53

І.П. Микитин, Н. Кобіщанова

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ШУМОВИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

© Микитин І.П., Кобіщанова Н., 2007

Досліджено спектр моделей шумового сигналу, завади синусоїдальної, трапецієвидної, прямокутної форми і корисного шумового сигналу, спотвореного завадою до та після цифрової фільтрації на основі перетворення Фур'є. Як критерій якості проведеної фільтрації запропоновано використовувати гістограму спектра досліджуваного сигналу.

Conducted the research of spectrum of models of noise signal, hindrance of sins, trapezium, rectangular form and useful noise signal disfigured by a hindrance to and after digital filtration on the basis of the Fourier's transformation .As criterion of quality of the conducted filtration it is suggested to use the histogram of spectrum of the explored signal.

Постановка проблеми

Використання швидкого перетворення Фур'є дає змогу створювати цифрові інтелектуальні фільтри [1] для шумових термометрів (ШТ). Фільтри такої структури мають складну конфігурацію, поєднують у собі смуговий фільтр для створення робочої частотної смуги шумового термометра та режекторні фільтри на певні частоти, яких може бути досить багато. Крім того, фільтр повинен адаптуватися до змін зовнішніх завад, які виникають за рахунок наведень від потужних джерел змінної напруги, та внутрішніх, які створюються всередині вторинної апаратури шумових термометрів.

Якщо роботою ШТ керує оператор, то він повинен мати на екрані монітора інформацію про результати фільтрації. Для теплового шуму спектр має рівномірний характер. Тому провівши фільтрацію із певними заданими параметрами та візуально оцінивши спектр сигналу, оператор

може оцінити якість проведеної фільтрації та приступити до вимірювання температури або знову провести фільтрацію з іншими параметрами. Якщо ж ШТ має працювати в автономному режимі, то вибирати параметри фільтрації та оцінювати якість повинен саме ШТ. У такому випадку необхідно мати певний критерій, який би однозначно вказував на якість проведеної фільтрації.

Дослідження моделей

Для визначення оптимуму проведення фільтрації досліджувалися моделі шумового сигналу, завади синусоїдальної, трапецієподібної (обрізаного синуса) та прямокутної форми. Математичні вирази, які описують моделі, мають такий вигляд для шумового сигналу

$$\text{Data}(t) = A \cdot \text{rand}() - A/2, \quad (1)$$

для завади синусоїдальної форми

$$\text{Data}(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t), \quad (2)$$

для завади трапецієподібної форми

$$\text{Data}(t) = \begin{cases} A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \\ A/2, & \text{Data}(t) > A/2 \\ -A/2, & \text{Data}(t) < -A/2, \end{cases} \quad (3)$$

та для завади прямокутної форми

$$\text{Data}(t) = \begin{cases} A/2, & 0 > t > T/2 \\ -A/2, & T/2 > t > T, \end{cases} \quad (4)$$

де A – амплітуда сигналу, $\text{rand}()$ – функція генерування випадкових чисел у діапазоні від 0 до 1, f – частота сигналу, t – час, T – період сигналу.

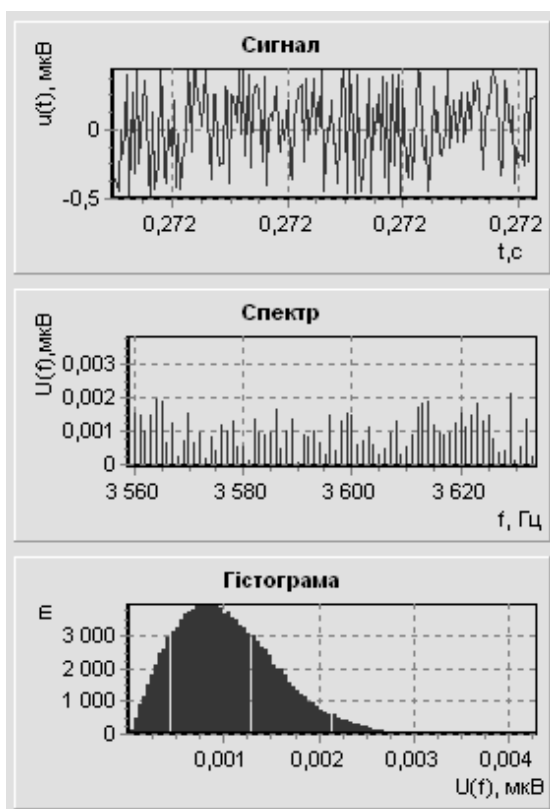


Рис. 1. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу

Використовуючи формули (1)–(4), генерували послідовність чисел, яка відповідала тій чи іншій функціональній залежності та моделювали корисний шумовий сигнал або заваду певної форми. Кількість даних дорівнює 250000, що відповідає тактовій частоті реального АЦП, який використовується в уставі для дослідження первинних перетворювачів для ШТ [2]. Така кількість даних отримується за час вимірювання – 1с. Наступним кроком є перетворення Фур'є, після якого отримуємо 125000 гармонік з кроком 1 Гц, що відповідає частотному діапазону від 0 до 125 кГц. Надалі будемо гістограму спектра досліджуваного сигналу.

Досліджуючи корисний шумовий сигнал, отримуємо графіки самого сигналу, спектра сигналу та гістограми спектра, типовий характер яких подано на рис. 1. Дослідження проводилися для різних амплітуд шумового сигналу. Отримані результати показали, що гістограми спектра мають вигляд, подібний до закону розподілу Релея [3], характер та параметри якого не залежать від амплітуди корисного сигналу. Потрібно також зазначити, що на гістограмі для чистого шумового сигналу певна кількість значень гармонік спектра шумового сигналу потрапляє до другої половини повного діапазону можливих значень амплітуд

спектра. Так, для гістограми на рис. 1. повний діапазон амплітуд спектра шумового сигналу дорівнює від 0 до 0,004 мкВ й існує певна кількість потраплянь у діапазон від 0,002–0,004 мкВ.

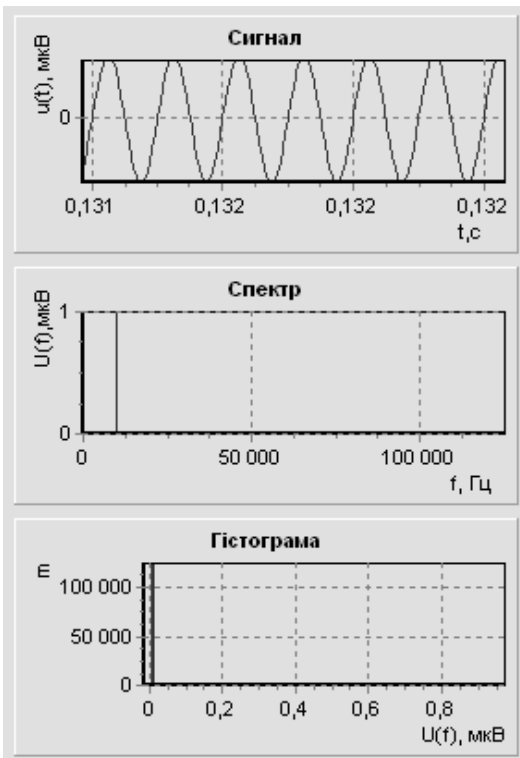


Рис. 2. Графік, спектр та гістограма завади синусоїдальної форми

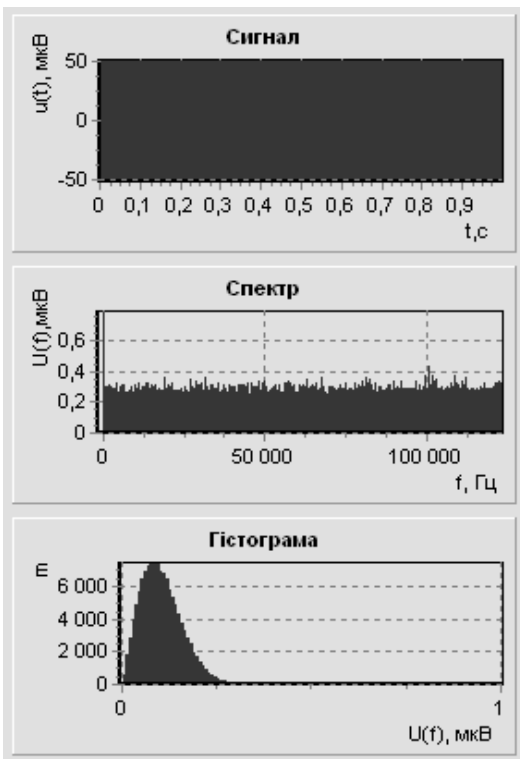


Рис. 3. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного завадою синусоїдальної форми: $A_{кс}/A_{з}=100$

Такий характер гістограми притаманний чистому корисному сигналу.

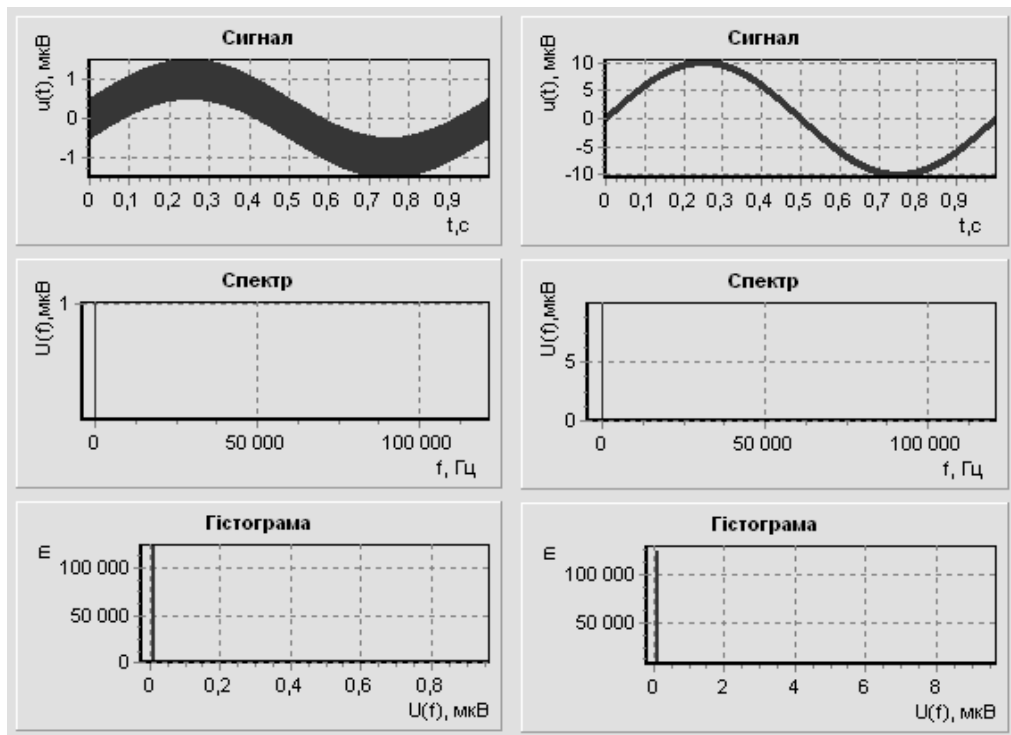
На рис. 2. наведено результати дослідження завади синусоїдальної форми частотою 10 кГц. У спектрі такого сигналу присутня лише одна гармоніка на частоті завади. Решту гармонік близькі до нуля. Зі зміною частоти завади характер спектра сигналу не змінюється, лише гармоніка посувається по осі абсцис у діапазон вищих частот.

Основною ж особливістю гістограми спектра завади синусоїдальної форми є те, що майже всі гармоніки потрапляють у перший розряд. Такий характер густини розподілу амплітуд спектра може бути ознакою завади синусоїдальної форми. Крім того, практично немає потраплянь у другу половину повного діапазону можливих значень гармонік спектра. Із зміною амплітуди завади характер гістограми залишається незмінним.

На рис. 3. і рис. 4 подано результати дослідження корисного шумового сигналу, спотвореного завадою синусоїдальної форми. Розглянуто три випадки, коли:

- рівень корисного сигналу співмірний з рівнем завади;
- рівень корисного сигналу менший за рівень завади;
- рівень корисного сигналу більший за рівень завади.

У випадку, коли рівень завади співмірний з рівнем корисного шумового сигналу $A_{кс}/A_{з}=1$ (рис.4, а) або коли рівень завади більший за рівень шуму $A_{кс}/A_{з}=1/20$ (рис. 4, б) гістограма набуває вигляду, аналогічного гістограмі спектра синусоїдального сигналу ($A_{кс}$ – максимальна амплітуда корисного шумового сигналу, $A_{з}$ – амплітуда завади). Оскільки гістограми однакові для двох випадків, то це може свідчити про наявність завади у сигналі. Отже, гістограма, для якої переважна кількість гармонік потрапляє у перший розряд, однозначно свідчить, що ми вимірюємо або просто заваду, або сильно спотворений шумовий сигнал. Отже, можна сказати, що навіть коли рівні завади і шуму співмірні, за допомогою гістограми легко виявити наявність завади синусоїдальної форми у корисному сигналі.



а

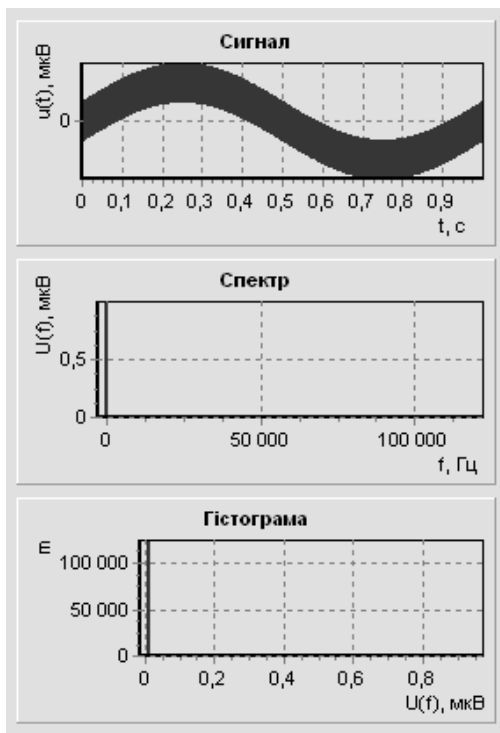
б

Рис. 4. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного завадою синусоїдальної форми: а – $A_{кс}/A_{з}=1$; б – $A_{кс}/A_{з}=1/20$

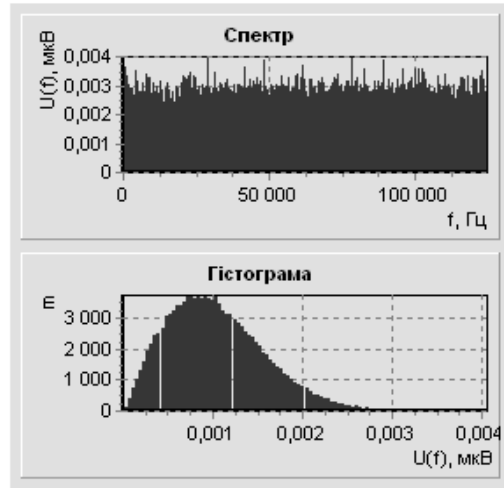
Якщо ж рівень шумового сигналу набагато більший за рівень завади $A_{кс}/A_{з}=100$ (рис.3.), то і в такому випадку у спектрі сигналу легко побачити гармоніку завади синусоїдальної форми, яка набагато більша за середній рівень гармонік шумового сигналу. Зі збільшенням відношення “корисний сигнал – завада” густина розподілу гармонік спектра все більше наближається до закону розподілу Релея. У такому випадку складніше оцінити якість проведеної фільтрації. Тому потрібно аналізувати не лише те, чи гістограма подібна до закон розподілу Релея, а також її розподіл по осі x , зокрема кількість гармонік спектра сигналу, які б потрапляли у другу половину повного діапазону можливих значень спектра (наприклад, рис. 3, діапазон рівня гармонік сигналу 0,5 ... 1 мкВ). Із збільшенням рівня корисного сигналу, гістограма спектру стає подібною до гістограми чистого шумового сигналу. Якщо рівень гармоніки завади стає меншим за максимальну гармоніку спектра шумового сигналу, відфільтрувати таку заваду не вдається. Проте вплив такої завади на результат вимірювання є нехтівно малий.

Отже, використання гістограми дає можливість виявити заваду синусоїдальної форми у корисному шумовому сигналі. Гістограма спектра може бути критерієм оцінки якості проведеної фільтрації.

Наступним кроком було дослідження запропонованого методу фільтрації за рівнем [1] для корисного сигналу, спотвореного завадою синусоїдальної форми, використовуючи гістограму спектра як критерій оцінки якості фільтрації. Результати досліджень наведено на рис. 5 – рівень завади співмірний з корисним сигналом ($A_{кс}/A_{з}=1$), на рис. 6 – рівень корисного шумового сигналу більший за рівень завади ($A_{кс}/A_{з}=20$), рис. 7 – рівень завади більший за рівень шуму ($A_{кс}/A_{з}=1/20$).

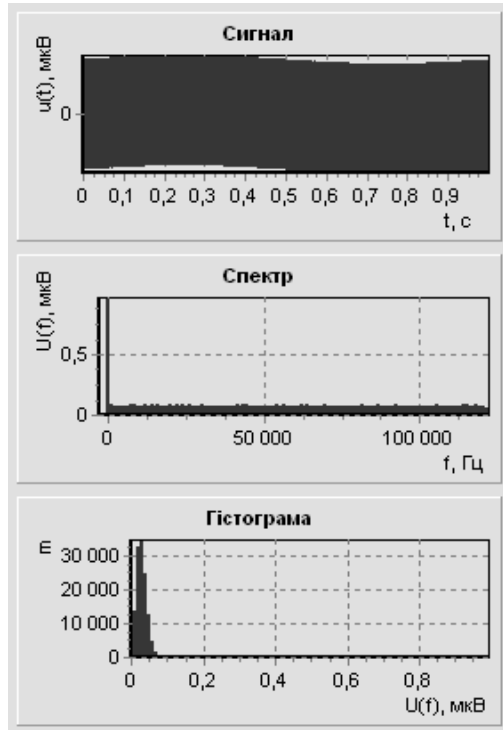


а

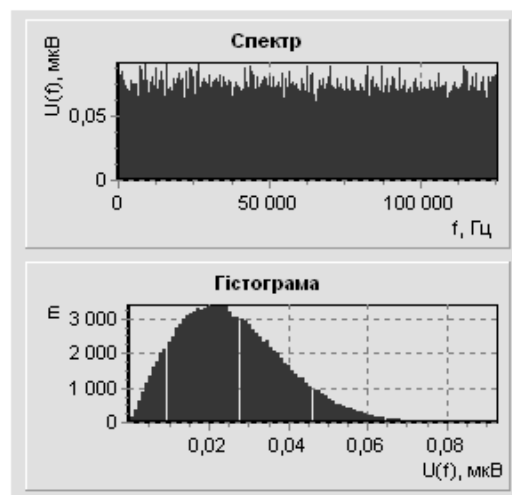


б

Рис. 5. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного завадою синусоїдальної форми ($A_{кс}/A_{з}=1$): а – до фільтрації; б – після фільтрації



а



б

Рис. 6. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного завадою синусоїдальної форми ($A_{кс}/A_{з}=20$): а – до фільтрації; б – після фільтрації

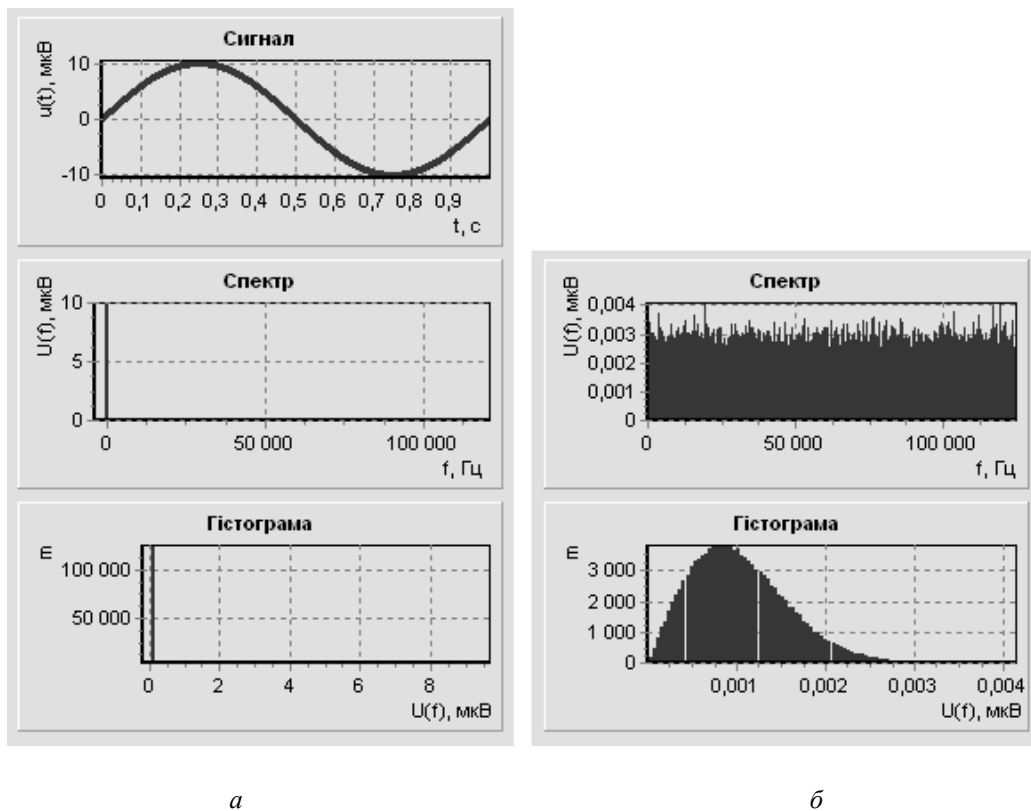
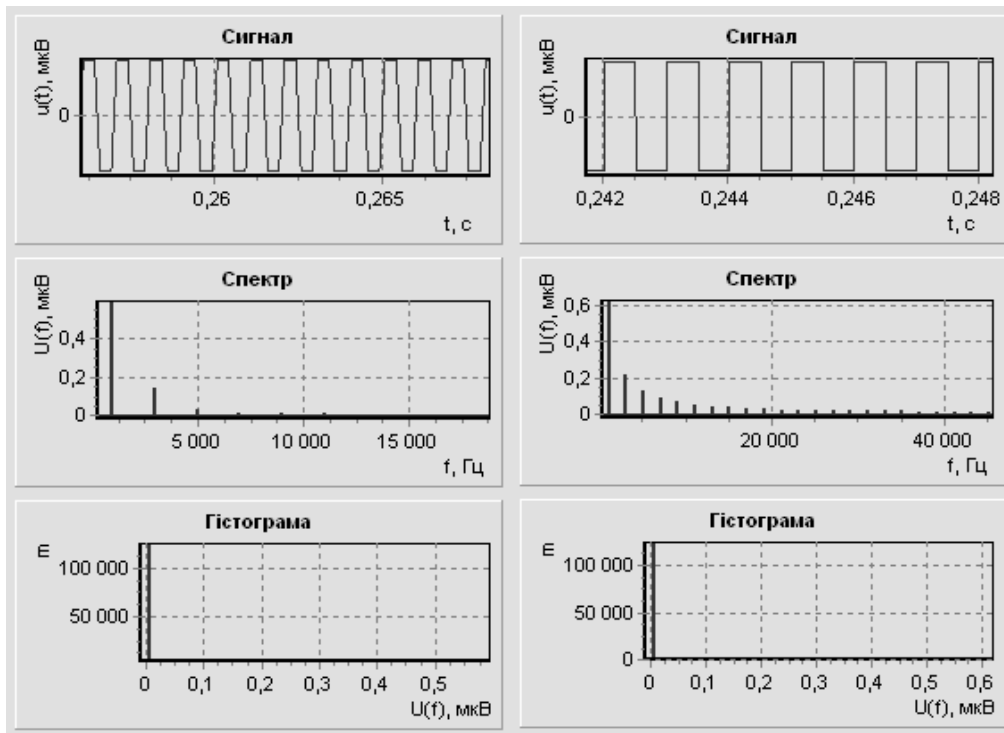


Рис. 7. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного заводою синусоїдальної форми ($A_{кс}/A_{з}=1/20$): а – до фільтрації; б – після фільтрації

На кожному з рисунків ліворуч (позиція а) подано спотворений заводою корисний сигнал, його спектр і гістограму до фільтрації, а праворуч (позиція б) – спектр та гістограму після фільтрації. У всіх трьох випадках вдалося отримати шумовий сигнал та усунути вплив завади синусоїдальної форми. Гістограми спектра після фільтрації подібні до закону розподілу Релея, що свідчить про ефективність використання фільтрації за рівнем на основі перетворення Фур'є для створення фільтрів складної будови для шумових сигналів та можливість застосування гістограми спектра корисного сигналу для оцінки якості запропонованої фільтрації.

Подальші теоретичні дослідження проводилися для завади трапецієподібної та прямокутної форми, які можуть створюватися цифровими колами шумового термометра. На рис. 8. наведено сигнал, спектр і гістограму завади трапецієподібної (позиція а) та прямокутної (позиція б) форми відповідно. Гістограма спектра обох сигналів не відрізняється від гістограми завади синусоїдальної форми. Тому розглянутий вище критерій оцінки якості фільтрації завади синусоїдальної форми можна використовувати і у цьому випадку.

Проте, розглядаючи спектр завади трапецієподібної та прямокутної форми (рис. 8) можна помітити, що сигнали мають певний спектральний склад. У спектрі присутня основна гармоніка, найбільша за рівнем, та ряд кратних гармонік, амплітудне значення яких зменшується із збільшенням частоти гармоніки. Якщо для завади синусоїдальної форми ми мали справу з чітко вираженою однією гармонікою, то для цих сигналів маємо широкий спектр амплітуд, які розподілені випадково у частотному діапазоні, за умови випадкового значення основної частоти завади. У такому випадку можлива наявність багатьох гармонік, особливо вищих порядків, рівень амплітуди яких буде меншим за середній рівень спектра шумового сигналу та які не вдасться відфільтрувати запропонованим методом. Тобто буде присутня додаткова похибка за рахунок неповної фільтрації завади.

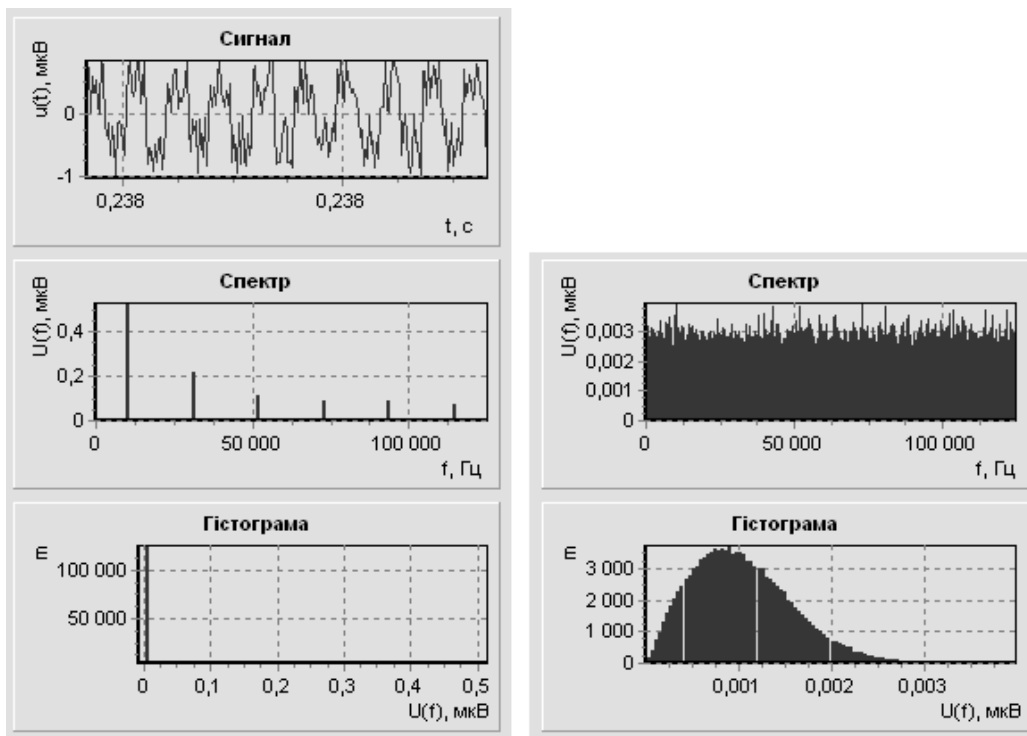


a

б

Рис. 8. Графік, спектр та гістограма завади): *a* – трапецієподібної; *б* – прямокутної форми

На рис.9. та рис.10. подано результати моделювання фільтрації для корисного шумового сигналу, спотвореного відповідно завадою прямокутної та трапецієподібної форми.



a

б

Рис. 9. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного завадою прямокутної форми ($A_{\text{кс}}/A_{\text{з}}=1$): *a* – до фільтрації; *б* – після фільтрації

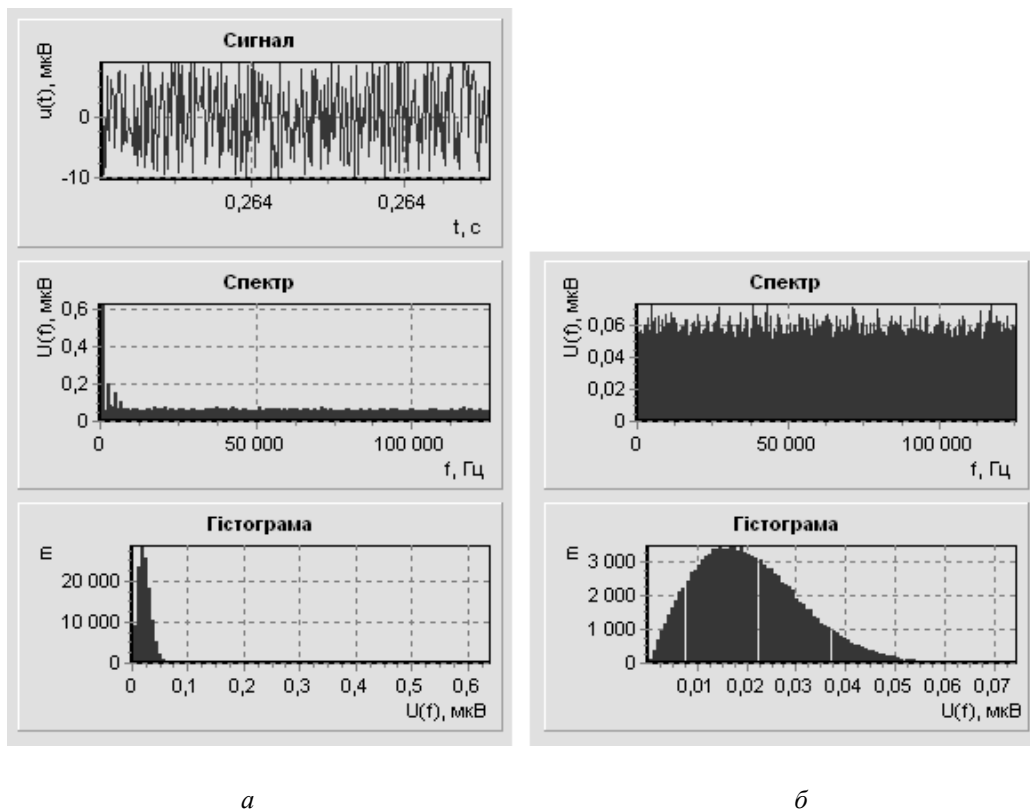


Рис. 10. Графік, спектр та гістограма корисного шумового сигналу, спотвореного завадою трапецієподібної форми ($A_{\text{кз}}/A_{\text{з}}=5$): а – до фільтрації; б – після фільтрації

У двох випадках отримано задовільні результати фільтрації шумового сигналу. Гістограми спектра після фільтрації подібні до закону розподілу Релея, що свідчить про ефективність використаного методу фільтрації та можливість застосування гістограми спектра корисного сигналу для оцінки якості.

Висновки

Досліджено спектр моделей шумового сигналу, завади синусоїдальної, трапецієподібної, прямокутної форми і корисного шумового сигналу, спотвореного завадою. Розраховувалися параметри моделей до та після цифрової фільтрації на основі перетворення Фур'є. Як критерій якості проведеної фільтрації запропоновано використовувати гістограму спектра досліджуваного сигналу. Результати моделювання показали, що гістограма чистого шумового сигналу має вигляд, подібний до закону розподілу Релея, характер та параметри якого не залежать від амплітуди корисного сигналу. Основною ж особливістю гістограми спектра завади синусоїдальної, трапецієподібної і прямокутної форми є те, що майже всі значення гармонік потрапляють у перший розряд гістограми. Такий характер густини розподілу амплітуд спектру є ознакою завади у корисному сигналі. Якість проведеної фільтрації потрібно вважати задовільною, якщо гістограма спектра корисного сигналу подібна до закону розподілу Релея.

Надалі планується проведення теоретичних досліджень оцінки додаткової похибки, яка виникає за рахунок неповної фільтрації завади синусоїдальної, трапецієподібної та прямокутної форми.

1. Микитин І.П. Фільтрація шумових сигналів з використанням швидкого перетворення Фур'є // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Автоматика, вимірювання та керування". 2006. – №551. – С. 37–42. 2. Микитин І.П., Стадник Б.І. Устава для дослідження первинних перетворювачів шумових термометрів. *Miesięcznik naukowo-techniczny "Pomiary Automatyka Kontrola"*. – 2006. №12. 3. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 574 с.