

УДК 681.121.04

Мельничук С.І., Рудак С.М.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СКЛАДОВИХ СПЕКТРУ ШУМІВ ПОТОКУ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ВИТРАТИ ГАЗУ

За схемою вимірювання витрати газових середовищ [1] вихровим ентропійним перетворювачем частоти шумового сигналу, які фіксуються чутливим елементом знаходяться в діапазоні 20-20000 Гц. Одним з невирішених завдань є встановлення величини впливу наявних гармонійних складових вимірювального сигналу на такі його характеристики як математичне сподівання Mx та середнє квадратичне відхилення СКВ. Враховуючи те, що інтенсивність різних гармонійних складових вимірювального сигналу по-різному впливає на його статистичні характеристики доцільно розглянути можливість виділення частотних смуг, які б дозволили мінімізувати вплив гармонійних складових, що не несуть інформації про витрату контрольованого середовища.

Для вирішення окресленої задачі проведено низку експериментальних досліджень з використанням турбулізатора конусної форми [2], вимірювальний перетворювач розташовано на прямолінійній ділянці трубопроводу, відстань до перетворювача – 25D. Для максимізації неконтрольованих збурень обрано місцевий опір невизначеного типу, в склад якого увійшли коліна, заглушені трійники і крани. Дослідження проводились для витрат вимірювального середовища 1,87 м³/год, 3,93 м³/год, 5,87 м³/год, 7,84 м³/год та 9,89 м³/год у лабораторних умовах на базі стаціонарної дзвонової установки ІВФ “Темпо” (м. Івано-Франківськ), границі основної відносної похибки якої $\pm 0,13\%$, в умовах стабілізованої температури вимірюваного середовища $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$, робочого тиску 114,0 мм водяного стовпа, робочого середовища – повітря.

Отриманий з первинного перетворювача шумовий сигнал [1], параметри якого пропорційні до швидкості потоку газу, оцифровується в результаті чого формується послідовність фрагментів сигналу фіксованої довжини, на основі яких здійснюється розрахунок поточних оцінок їх ентропії. Один з варіантів частотного розділення вимірювального сигналу – застосування цифрових фільтрів [3], зокрема реалізації програмного цифрового фільтру з фінітною імпульсною характеристикою – КІХ-фільтра. Така реалізація забезпечує оброблення сигналів без внесення змін в конструкцію засобу вимірювання, крім того поки динамічний діапазон вимірювального каналу має бути розрахований на передачу без спотворення суми найбільшого корисного сигналу і найбільшої завади. Таке підвищення вимог до динамічного діапазону вимірювальних перетворювачів негативно впливає на їх точності.

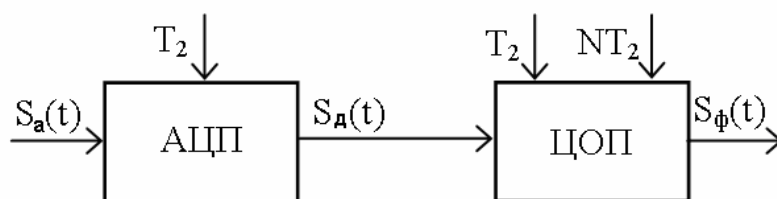


Рисунок 1 - Структурна схема КІХ-фільтра шумового сигналу вихрового ентропійного перетворювача

В склад цифрового КІХ-фільтра входить аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та цифровий обчислювальний пристрій (ЦОП) (рис.1). АЦП формує коди, пропорційні інтегральним або миттєвим квантованим значенням вимірювального аналогового сигналу. Далі ці коди обробляються в ЦОП, де відтворюється алгоритм роботи цифрового КІХ-фільтра – обчислення зваженої суми послідовних значень коду. На схемі T_2 – час дискретизації, NT_2 – оновлення вихідного результату.

Фільтр спроектовано методом зважування за допомогою формуючого вікна. Суть цього способу полягає в наступному. Відомо, що частотна характеристика цифрового фільтра $H(\omega)$ є періодичною функцією частоти, тому може бути представлена рядом Фур'є

$$H(\omega) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} h[l]e^{-j\omega lT} \quad (1)$$

де $h[l]$ – імпульсна характеристика фільтра; T – інтервал дискретизації.

Імпульсна характеристика фільтра, що відповідає бажаній частотній характеристиці, як правило інфінітна, тому її практично реалізувати складно. Для реалізації КІХ-фільтра потрібно обмежити область зміни імпульсної характеристики фільтра $h[l]$ по аргументу l деяким апріорно вибраним значенням L .

На першому етапі досліджень проведено (почергово) оброблення інформаційно-вимірювального сигналу вузькосмуговим фільтром з метою покрокового дослідження всього діапазону частот спектру шумового сигналу для максимальної витрати контрольованого діапазону ($9,89 \text{ м}^3/\text{год}$) з підсиленням кожної частотної смуги відповідно до енергетичних характеристик сигналу $S_a(t)$ кожної з витрат (рис.2).

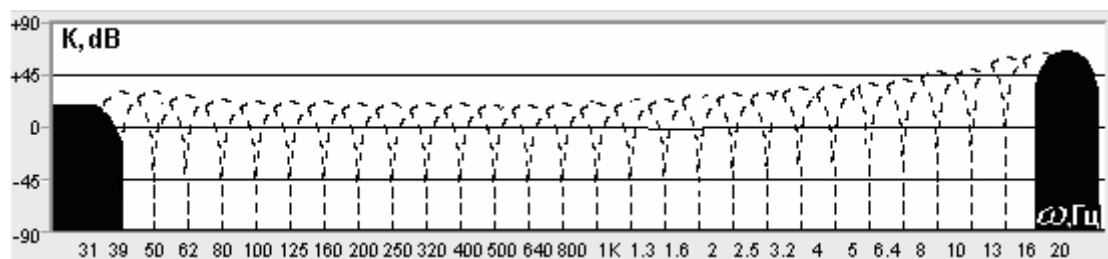


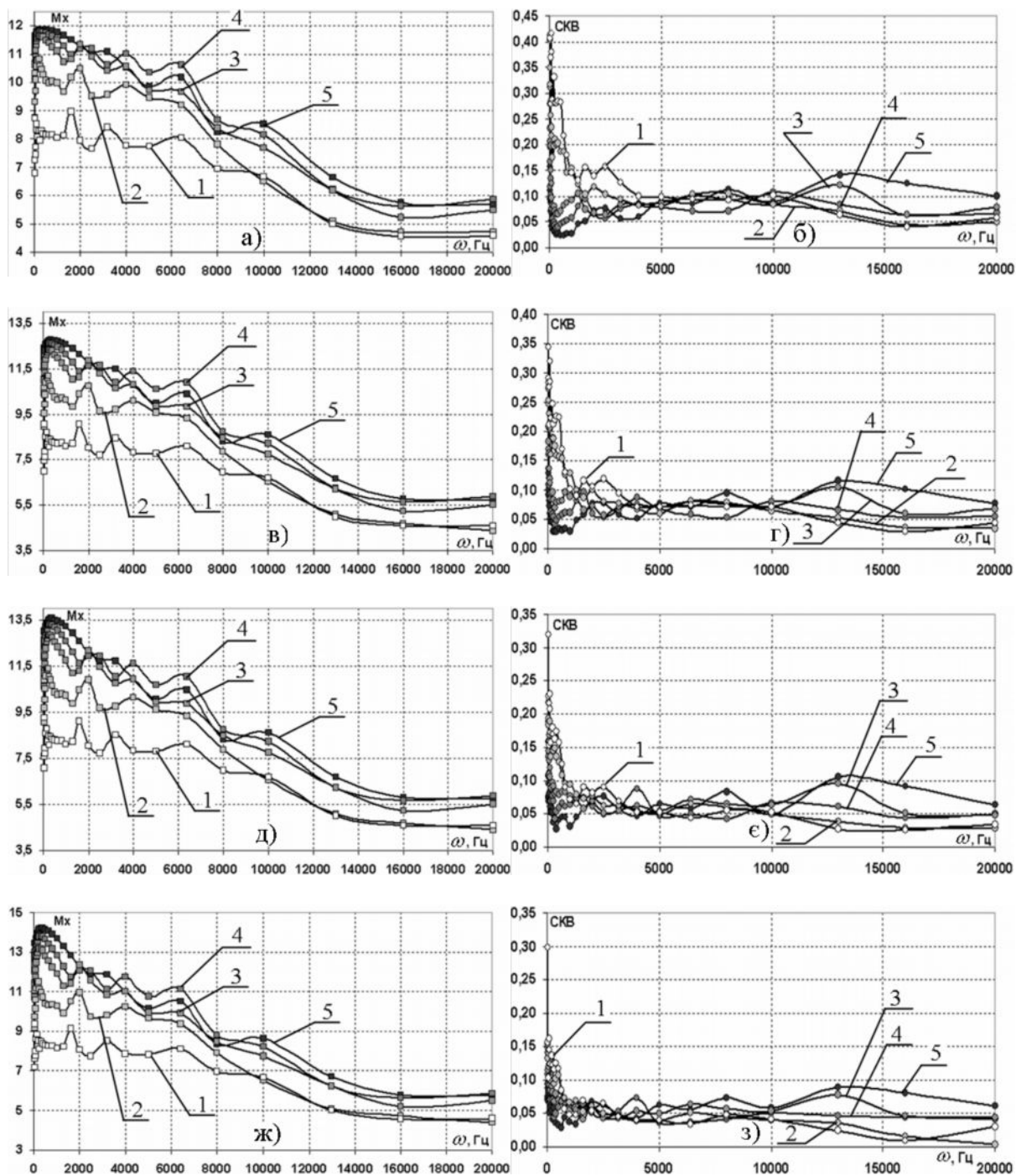
Рисунок 2 - Значення коефіцієнту підсилення K гармонік спектру шумового сигналу з урахуванням енергетичних характеристик витрати $9,89 \text{ м}^3/\text{год}$

Таким чином встановлено, що найменше значення коефіцієнту підсилення потребує окіл частоти 400 Гц – $12,05 \text{ dB}$. З метою мінімізації спотворень вимірювального

сигналу, які зумовлені обмеженням розрядності АЦП та зручності алгоритмічної реалізації оброблення сигналів прийнято коефіцієнт підсилення 10 dB.

На наступному етапі досліджень з метою виявлення найефективніших частотних складових сигналу за Мх (рис. 3 а, в, д, ж, і) та СКВ (рис. 3 б, г, е, з, і) проведено фільтрацію кожної з гармонік спектру з коефіцієнтом підсилення 10 dB для різних розмірів вибірок та для кожної вимірювальної витрати.

Визначальним критерієм оцінки якості за Мх вибрано найбільше розмежування (різниця) відповідності послідовності значень випадкових величин за діапазоном вимірювання.



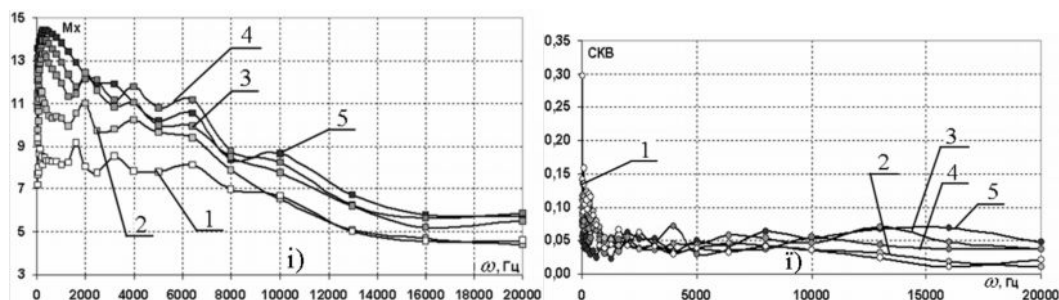


Рисунок 3 - Характеристики M_x а), в), д), ж), і) та СКВ б), г), є), з), і) для витрат середовища 1 – 1,87 м³/год, 2 – 3,97 м³/год, 3 – 5,87 м³/год, 4 – 7,84 м³/год, 5 – 9,89 м³/год після фільтрації з коефіцієнтом підсилення 10 dB для розміру вибірок $n=4096$, $n=8192$, $n=16384$, $n=32768$, $n=44100$ відліки (зверху вниз).

Як бачимо на рисунках, це діапазон гармонік частот $\approx 31 - 1600, 3200, 10000$ Гц. Для СКВ – найменше середнє значення із урахуванням наявного діапазону витрат: $\approx 500 - 11000$ Гц.

З урахуванням накладання діапазонів гармонік частот спектрів сигналів для M_x та СКВ найефективнішими ділянками можна вважати 500-1600, 3200 та 10000 Гц. Далі доцільно дослідити об'єднання вищезначених спектральних смуг інформаційно-вимірювального сигналу, враховуючи характеристики M_x та СКВ (рис. 4).

Як і для першого етапу дослідження, з метою усунення спотворень вимірювального сигналу, зумовлених обмеженням розрядності АЦП вибрано коефіцієнт підсилення $K=2$ dB для об'єднання спектральних смуг 500-1600, 3200 та 10000 Гц.

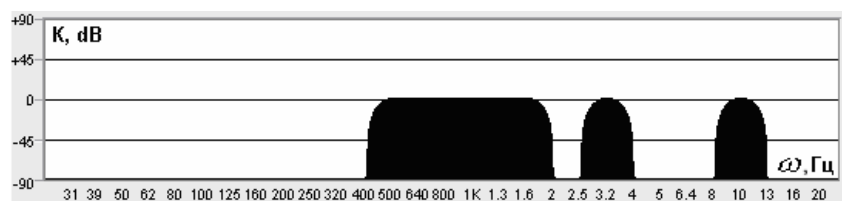


Рисунок 4 - Фільтрування спектру шумового сигналу з урахуванням критеріїв якості за M_x та СКВ з коефіцієнтом підсилення $K=2$ dB

Для визначення ефективності виділення (фільтрування) шумових сигналів, фіксованими вихровим ентропійним перетворювачем, порівняння за M_x та СКВ проведено з сигналами повного частотного спектру (відзнятими) відповідних витрат Q та розмірів вибірок n .

Фрагменти інформаційно-вимірювальних шумових сигналів до та після оброблення програмно-цифровим фільтром подано на рис. 5

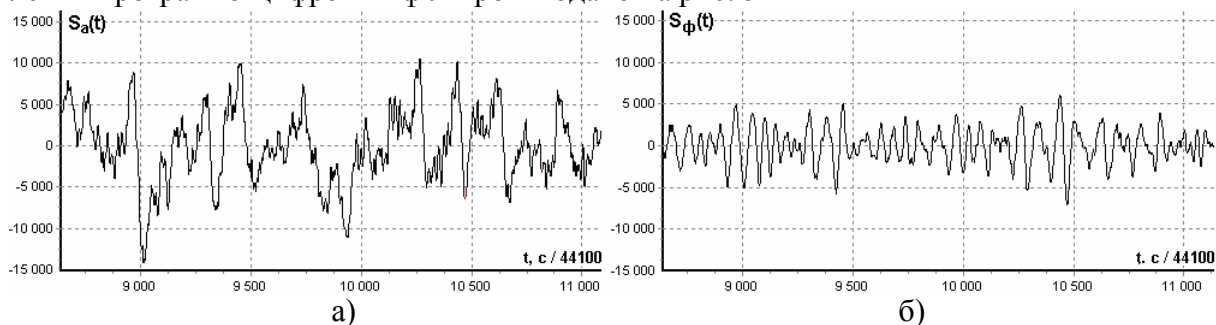


Рисунок 5 - Характеристики відзнятого а) та фільтрованого б) шумових сигналів витрати середовища 5,87 м³/год з коефіцієнтом підсилення $K=2$ dB.

Після виділення (фільтрування) окремих частотних смуг спектру з подальшим обчисленням ентропійних оцінок послідовних фрагментів сигналу можна зауважити, що розподілення (рис.6 б) ентропійних оцінок $S_{\phi}(t)$ за досліджуваним діапазоном витрат є дещо вищим порівняно з відзнятим сигналом (рис.6 а). Особливо це прослідковується для розміру вибірки $n=4096$ відліки (рис.6 а), де значення оцінок ентропії для витрат $5,87 - 9,89 \text{ м}^3/\text{год}$ практично не відрізняються.

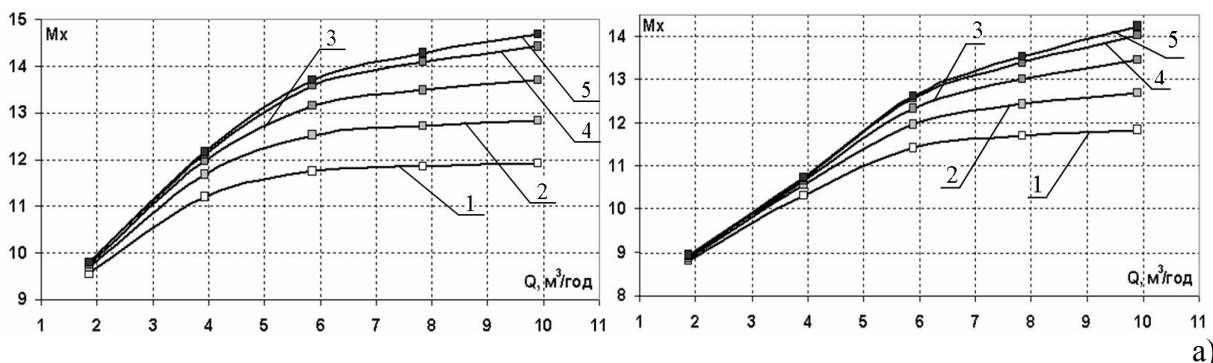


Рисунок 6 - Характеристики зміни маточікування для фільтрованих вимірювальних сигналів досліджуваних витрат з урахуванням критеріїв якості за M_x та СКВ для розмірів вибірок 1 – $n=4096$, 2 – $n=8192$, 3 – $n=16384$, 4 – $n=32768$, 5 – $n=44100$ відліки.

Крім того, СКВ оцінок ентропії вимірювального сигналу $S_{\phi}(t)$ (рис. 7б) – дещо менше в області малих витрат та для малих розмірів вибірок ($n=4096$, $n=8192$ відліки) відповідно до відзнятого сигналу $S_a(t)$ (рис. 7а), а це важливий фактор, оскільки енергія та стаціонарність шумового сигналу для ентропійних характеристик менша, а розсіяність результатів відповідно більша.

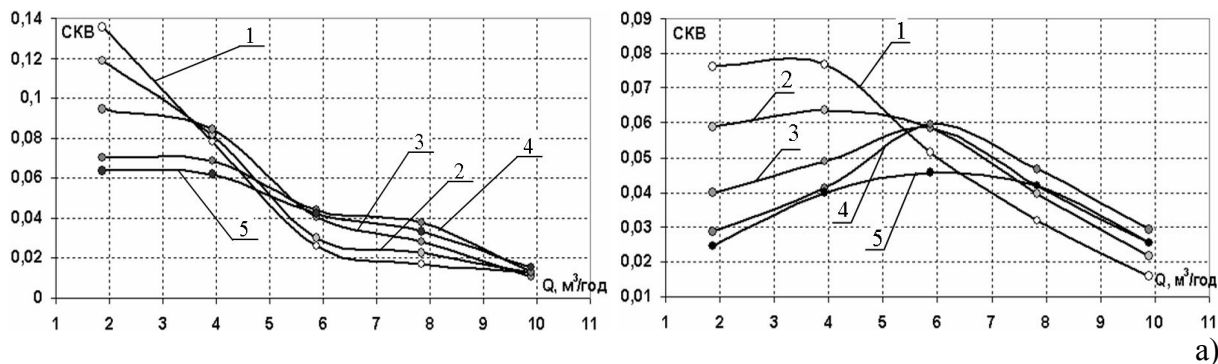


Рисунок 7 - Характеристики зміни середнього квадратичного відхилення для фільтрованих вимірювальних сигналів досліджуваних витрат з урахуванням критеріїв якості за M_x та СКВ для розмірів вибірок 1 – $n=4096$, 2 – $n=8192$, 3 – $n=16384$, 4 – $n=32768$, 5 – $n=44100$ відліки.

Під час вимірювання витрати газових середовищ вихровим ентропійним перетворювачем контрольована величина може бути повністю описана лише при необмеженій кількості даних (інформації). Тому визначення такої величини майже завжди неповне і робить внесок в невизначеність [3], тобто параметр, що зв'язаний з результатом вимірювання і характеризує розсіяння значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині, що може бути, а може і не бути значимою в порівнянні з необхідною точністю вимірювання.

Відношення стандартної невизначеності $u(y)$ (СКВ) до значень оцінки вимірювальної величини y (M_x), що виражене у відсотках визначається відносною стандарт-

ною невизначеністю [4, 5]:

$$u'(y) = 100 \cdot \frac{u(y)}{y} \quad (2)$$

Найбільша невизначеність результатів вимірювання і для відзнятих, і для оброблених фільтром сигналів, що відповідають малим витратам середовища (рис.8а, б), при збільшенні останніх зменшується, проте для безпосередньо відзнятих сигналів (рис.8а) невизначеність для малих витрат є більшою. Зростання ж розмірів вибірок n приводить до зменшення невизначеності.

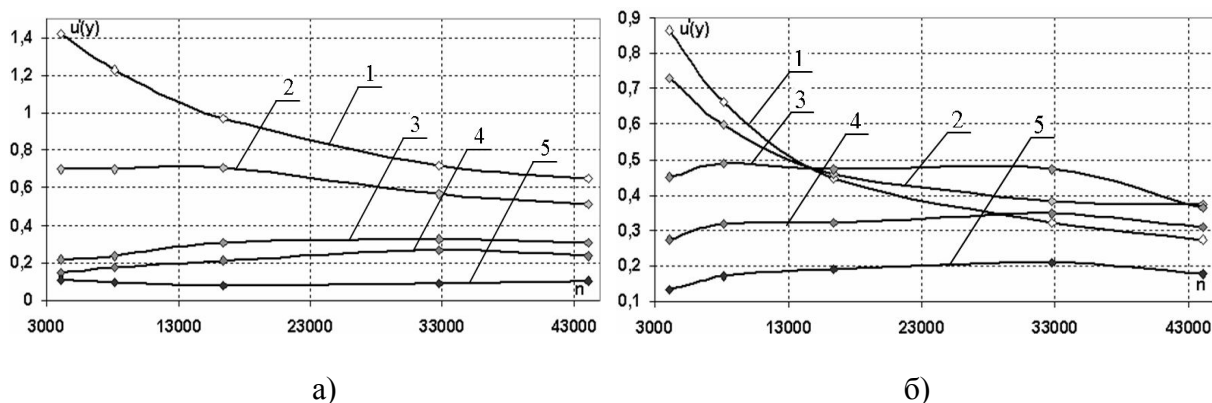


Рисунок 8 - Результати відносної стандартної невизначеності фільтрованих сигналів для витрат середовища 1 – 1,87 м³/год, 2 – 3,97 м³/год, 3 – 5,87 м³/год, 4 – 7,84 м³/год, 5 – 9,89 м³/год

Отже, в результаті проведення вищеповисаних досліджень встановлено доцільність застосування попереднього виділення частотних смуг вимірювального сигналу, які забезпечують мінімальну невизначеність під час оброблення вимірювальних сигналів за ентропійними оцінками. За результатами експериментальних досліджень виділено частотний спектр сигналів (500-1600, 3200, 10000 Гц), який забезпечує найбільше розмежування M_x та найменше СКВ сигналів, що відповідають суміжним витратам потоку газу за діапазоном вимірювання. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити невизначеність результатів вимірювання вихровим ентропійним перетворювачем порівняно з результатами нефільтрованих сигналів для витрат середовища 1,87 та 3,97 м³/год незалежно від розміру вибірки, за якою здійснюється оцінка ентропії.

На наступних етапах досліджень доцільно проаналізувати вплив відстані прямих ділянок трубопроводів до первинного перетворювача, порівнюючи з фільтрованими та нефільтрованими шумовими сигналами на невизначеність вимірювання згаданим способом.

Литература: 1. Заявка на пат. а 2009 11068 Україна, МПК G 01 F 25/00. Спосіб вимірювання витрати газових середовищ / Мельничук С. І., Рудак С. М. (Україна); заявл. 02.11.2009. 2. Рудак С. М. Аналіз впливу форми турбулізатора вихрового витратоміра газу на ефективність ентропійних оцінок шумів потоку. – 2009. – № 4. – Хмельницький: "Вісник Хмельницького національного університету", 2009. – с. 39 – 46 3. Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов. Л: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. – 192 с. 4. Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: ЗАТ "Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв", 2006. – 576

с. 5. Новиков В. М., Коцюба А. М. Основы метрологии та метрологічна діяльність: Частина 2. Навчальний посібник. – К: Нора-прінт, 2001. – 210 с.

Мельничук С.И., Рудак С.М.

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СПЕКТРА
ШУМОВ ПОТОКА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РАСХОДА ГАЗА**

Проведено исследование эффективности применения разных составляющих спектра при измерении затраты газа вихревым энтропийным преобразователем

Melnychuk S.I., Rudak S.M

**ANALYSIS OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF CONSTITUENTS OF SPECTRUM
OF NOISES OF STREAM AT MEASURING OF EXPENSE OF GAS**

Research of efficiency of application of different constituents of spectrum at measuring of expense of gas is conducted by noise entropy transformer.
