ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 23, 2009

УДК 681.121.04

ВПЛИВ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ СИНАЛІВ ЗУМОВЛЕНИХ ПЕРЕМІЩЕННЯМ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

С. І. Мельничук, С. М. Рудак

Науково - дослідний і проектний інститут ВАТ «Укрнафта», вул. Північний бульвар ім. Пушкіна, 2, м. Івано-Франківськ, 76019, тел.(03422) 4-32-25, e-mail: vpa@ndpi.ukrnafta.com

На основі моделювання розподілів випадкових сигналів проведено дослідження ефективності їх застосування та досліджено верхню границю похибки вимірювання витрати газу на основі вихрового ентропійного перетворювача.
Ключові слова: вимірювання витрати, похибка, закон розподілу, випадковий сигнал, турбулізатор, густинна імовірність розподілу.

На основе моделирования распределений случайных сигналов проведено исследование эффективности их применения и исследовано верхнюю границу погрешности измерения расхода газа на основе вихревого ентропийного преобразователя
Ключевые слова: измерение расхода, погрешность, закон распределения, случайный сигнал, турбулизатор, плотностная вероятность распределения.

On the basis of design of distributing of casual signals research of efficiency of their application is conducted and explored the high bound of error of measuring of expense of gas by a noise entropy transformers.
Keywords: measuring of expense, error, distributing law, casual signal, closeness probability of distributing.

На основі попередніх досліджень [1] встановлено, що реалізація сигналів вихорового ентропійного перетворювача витрати газу з використанням турбулізатора конусної форми забезпечує найбільшу ефективність вимірювання, зокрема, максимальне розмежування ентропійних характеристик відповідних витрат за діапазоном вимірювання. Також було досліджено, що процес вимірювання витрати газових середовищ, реалізований згаданим турбулізатором, із найбільшою ймовірністю відповідає нормальному закону розподілу випадкових величин.

Однак дослідження впливу виду розподілу випадкової величини, що представляє вимірювальний інформаційний сигнал, на ефективність вимірювання не проводились, що зумовлює доцільність досліджень в цьому напрямку. З огляду на значну вартість та складність експериментальних досліджень прийнято рішення провести моделювання основних розподілів випадкових сигналів, що за енергетичними характеристиками є близькими до інформаціно-вимірювальних сигналів, які отримані на основі експериментальних досліджень.

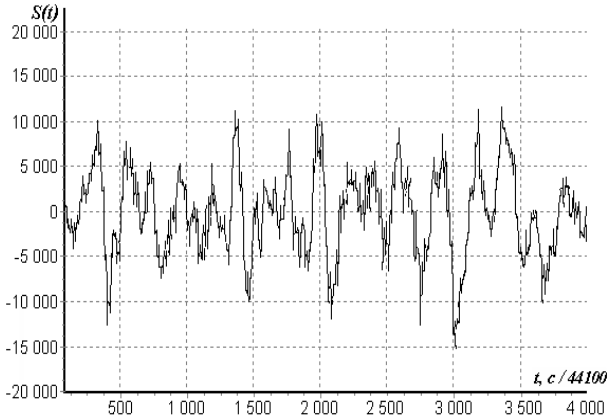
На першому етапі проведено ряд експериментальних досліджень з використанням турбулізатора конусної форми, вимірювальний перетворювач розташовано на прямолінійній ділянці трубопроводу, відстань до перетворювача 25*D*. Для максималізації неконтрольованих збурень обрано місцевий опір невизначеного типу, в склад якого увійшли коліна, заглушені трійники і крани. Варто зазначити, що місцевий опір складено таким чином, щоб було забезпечено зміну напрямку потоку газу в різних площинах під кутами 45^{o} та 90^{o}.

Дослідження проводились для витрат вимірювального середовища 2; 4; 6; 8 та 10 $м^3$/год. у лабораторних умовах на базі стаціонарної дзвонової установки ІВФ “Темпо” (м. Івано-Франківськ), границі основної відносної похибки якої ±0,13%, в умовах стабілізованої температури вимірюваного середовища 20±0,5^{o}С, робочого тиску 114,0 мм водяного стовпа, робочого середовища повітря.

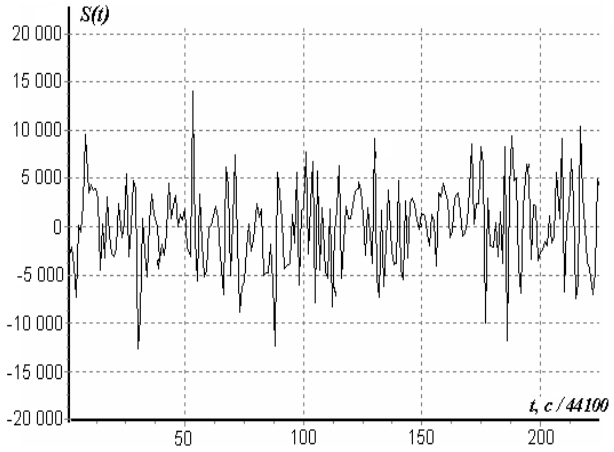
Для перевірки відповідності реалізацій випадкових сигналів [2] до змодельованих з нормальним законом розподілу використано програмний комплекс математичних досліджень Mathcad [3]. Основним критерієм при

порівнянні експериментальних і модельованих сигналів вибрано потужність на відповідних витратах (Total RMS Power): для витрати газу 6 м^3/год. виміряного сигналу – 17,51 dB, згенерованого – 17,52 dB, СКВ 4580 та 4450, відповідно.

На рис. 1 подано характер випадкових шумових сигналів після аналого-цифрового перетворення.



а)



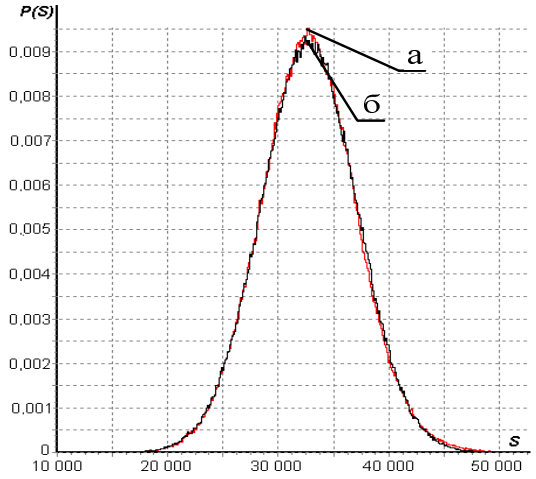
б)

а) – виміряний; б) - згенерований

Рисунок 1 - Вимірювальний сигнал вихорового витратоміра після аналого-цифрового перетворення

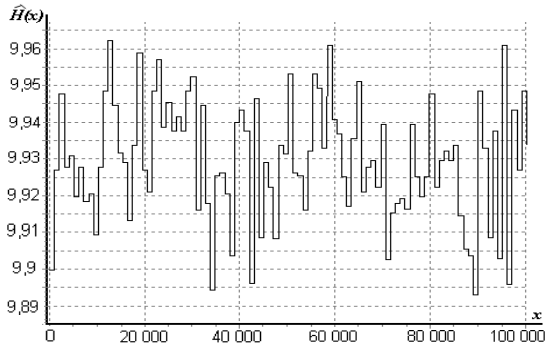
Гістограми розподілу значень випадкового процесу виміряних експериментально та згенерованих шумів (рис. 2) близькі за формою, незначна розбіжність простежується в пікових значеннях густини імовірності.

Ентропійні характеристики вище розглянутих сигналів подано на рис. 3, причому діапазон та структура зміни ентропійних значень майже однакові.

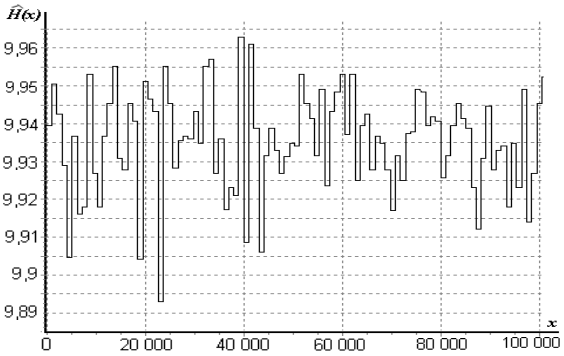


а) – експериментальної; б) – згенерованої

Рисунок 2 - Графіки густини імовірності інформаційного сигналу



а)



б)

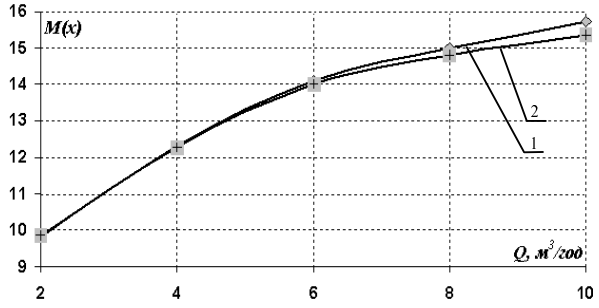
а) – виміряні; б) – згенеровані

Рисунок 3 – Ентропійні характеристики шумових сигналів вихорового витратоміра газу

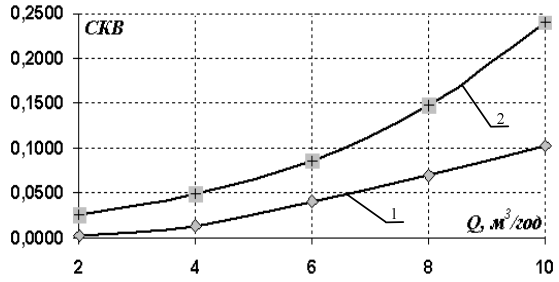
Математичне очікування ($M(x)$) ентропійних оцінок фрагментів сигналу (рис. 4, *а*) в області малих витрат газового

середовища (2 – 6 м^3/год) для виміряного та згенерованого сигналу з нормальним законом розподілу майже збігаються, незначна відмінність простежується в верхньому діапазоні вимірювання: для витрат 6 – 10 м^3/год, причому (M(x)) для згенерованого сигналу є дещо більшими.

Відповідно СКВ ентропійних характеристик (рис. 4,*б*) дещо відрізняються. За обраним діапазоном вимірювання витрат значення для згенерованого випадкового сигналу є дещо меншими і при зростанні витрати ця різниця зростає. За результатами можна стверджувати, що ентропійна характеристика сигналів з теоретичним нормальним розподілом відліків стабільніша, тобто стаціонарність експериментального сигналу гірша порівняно із змодельованим.



а)

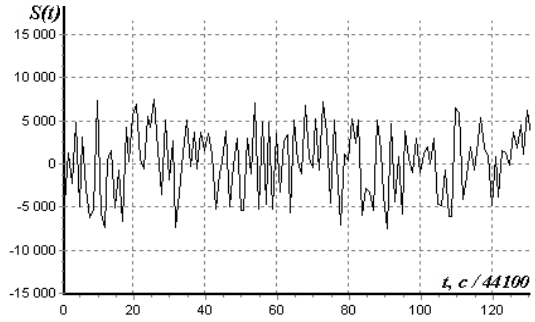


б)

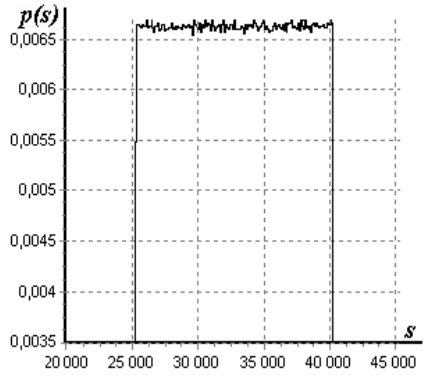
Рисунок 4 - Характеристики зміни математичного очікування (*а*) та середнього квадратичного відхилення (*б*) згенерованого 1 та виміряного 2 сигналів перетворювача залежно від витрати середовища для вибірки *n* = 65536 відліків

Щоб провести аналіз та дослідження ефективності застосування різних характеристик вимірювальних сигналів, розглянуто сигнали з розподілом за основними (часто вживаними) законами розподілу, що за формою чи структурою значень близькі до експериментальних, зокрема; нормальний, рівномірний, експоненціаьний та Фішера. Як і для нормального закону розподілу, їх згенеровано в програмному комплексі Mathcad з енергетичними характеристиками, ідентичними до вимірювальних сигналів відповідних витрат. З погляду найбільшої наочності представлено результати аналізу згенерованих сигналів , що за потужністю відповідають витраті вимірювального середовища 6 м^3/год.

Найефективніші з погляду оцінок ентропії – це згенеровані сигнали з рівномірним розподілом випадкових величин (рис. 5, *а*), хоча густина імовірності розподілу відмінна від нормально розподілу, але це забезпечує максимальні значення оцінок ентропії модельованого сигналу. Крім того, шумовий сигнал *S(t)* має дещо меншу амплітуду порівняно з експериментально отриманими даними.



а)



б)

Рисунок 5 - Шумовий сигнал (*а*) та графік функцій густини імовірності (*б*) згенерованих за рівномірним законом розподілу

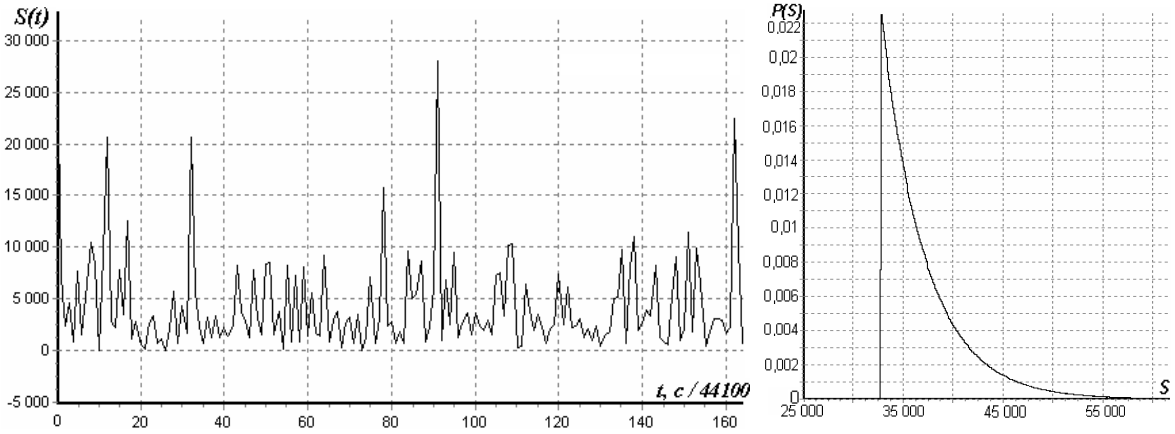
Згенерований за експоненціальним законом розподілу (рис. 6, *а, б*) сигнал має односторонній характер, що фактично можна отримати і для сигналів, розподілених за нормальним законом, застосовувавши функцію модуля. Доцільно зазначити, що цей сигнал також характеризується значною кількістю

пікових відліків, що характерно для газових середовищ з домішками твердих часточок, які розширюють діапазон можливих амплітуд (станів сигналу).

Іншим, близьким до експоненціального закону розподілу, є розподіл Фішера (рис. 7), проте у випадку обмежених (фіксованих) енергетичних характеристик досліджуваного сигналу спостерігається розширення діапазону амплітуд і наявність від'ємних значень.

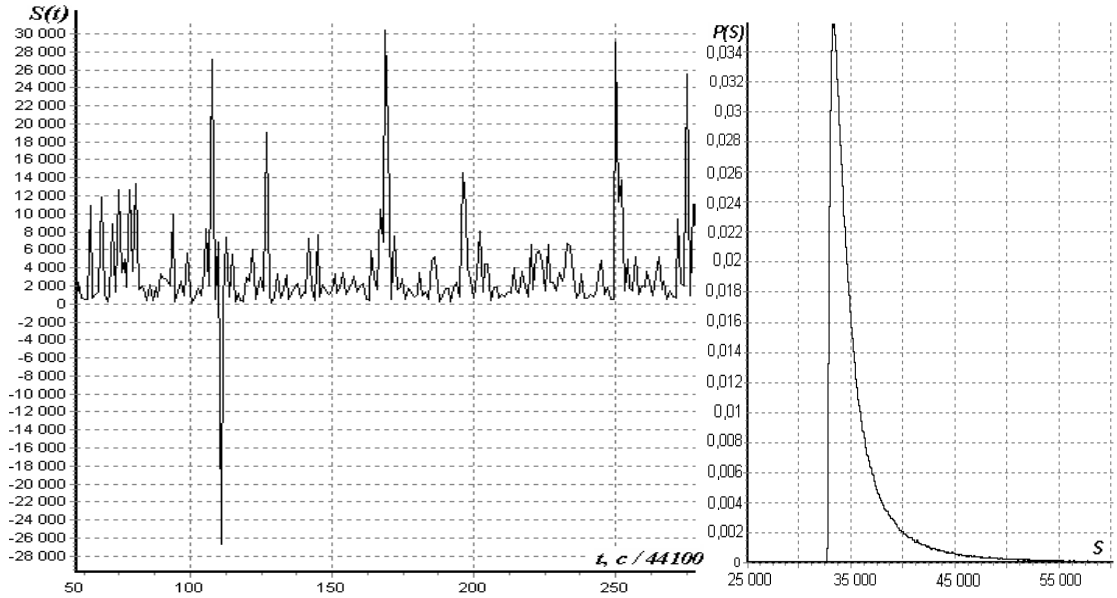
Ефективність застосування випадкових сигналів з різними розподілами відліків проаналізовано для витрат 2; 4; 6; 8; 10 м^3/год., як характерні ознаки обрано математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення (СКВ) оцінок ентропії послідовних фрагментів сигналу. Результати порівняння подано на рис. 8.

Як бачимо, із зростанням витрати середовища від 2 до 10 м^3/год. різниця між значеннями математичних сподівань сигналів для різних розподілів зменшується (рис. 8,*а*) Слід відзначити, що для сигналу з розподілом за законом Фішера значення *M(x)* найменше серед розглянутих, максимальне *M(x)* спостерігається для сигналів з нормальним розподілом.



а) *б)*

Рисунок 6 - Шумовий сигнал (*а*) та графік функцій густини імовірності (*б*) згенерованих за експоненціальним законом розподілу

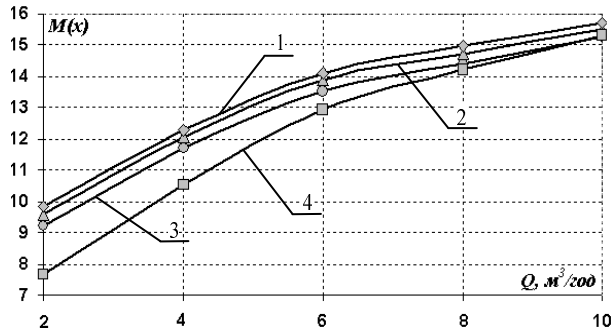


а) *б)*

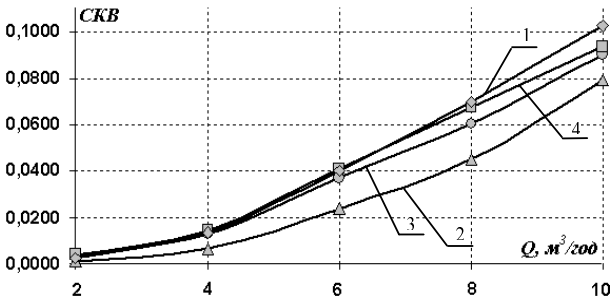
Рисунок 7 - Шумовий сигнал (*а*) та графік функцій густини імовірності (*б*) згенерованих за законом розподілу Фішера

Відповідно для нормального, експоненціального та розподілу Фішера значення СКВ (рис. 8,*б*) для малих витрат середовища майже одинакові, для діапазону 6-10 м^3/год – відрізняються, найменші СКВ спостерігаються для експоненціального розподілу, найбільші для нормального. СКВ для рівномірного розподілу випадкових величин набуває мінімального значеня. В загальному із зростанням витрати контрольованого середовища, а отже енергії вимірювальних сигналів в досліджуваному діапазоні, різниця між значеннями *M(x)* математичних сподівань для різних розподілів зменшується (рис. 8, *а*).

Після графічного представлення *M(x)* ентропійних характеристик витрат у диференційному вигляді (рис. 9) можна побачити, що найбільші величини приймають сигнали, значення яких розподілені за законом Фішера. Характер зміни цієї кривої досить близький до нормального та рівномірного законів розподілу. Крім того, *M(x)* ентропійних оцінок останніх розташовуються дещо нижче і накладаються. Лише для різниці витрат 10 та 8 м^3/год. спостерігається незначна розбіжність.

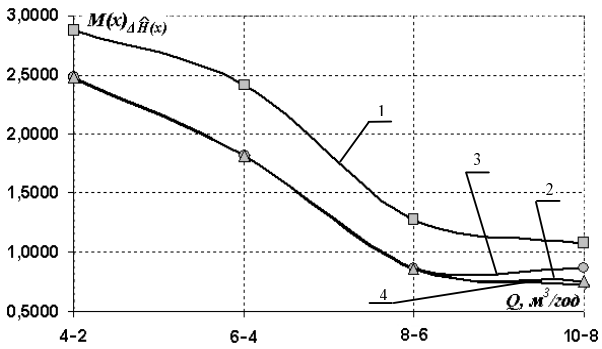


а)



б)

Рисунок 8 - Характеристики зміни математичного очікування (*а*) та СКВ (*б*) нормального (1), рівномірного (2), експоненціального (3), Фішера (4) законів розподілу змодельованих випадкових сигналів залежно від витрати середовища для вибірки *n*= 65536 відліків



1 – Фішера; 2 – рівномірного; 3 – експоненціального; 4 – нормального

Рисунок 9 – Диференційне представлення M(x) ентропійних оцінок вимірювального сигналу для різних законів розподілу

На основі отриманих результатів можна припустити, що реалізація турбулізатора, який може забезпечити формування вимірювального сигналу з розподілом близьким до розподілу Фішера, дозволить отримати максимальну роздільну здатність при вимірюванні порівняно з іншими розподілами.

Одним з поширених способів оцінки властивостей випадкових величин є метод Монте-Карло. Незалежно від закону розподілу змодельованого інформаційно-вимірювального сигналу оцінку верхньої межі δ допустимої похибки із заданою імовірністю (надійністю) γ випадкових величин, що мають кінцеву дисперсію при достатньо великих n, обчислюють за формулою [4]:

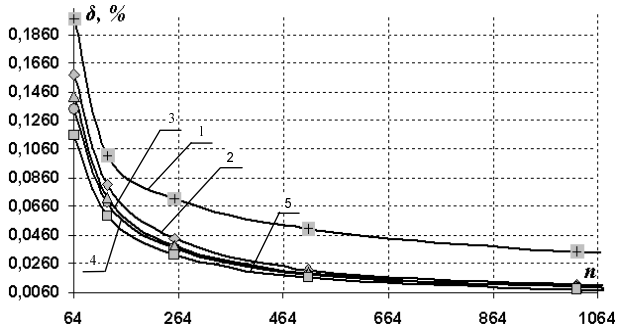
$$\delta = t\sigma / \sqrt{n}, \qquad (1)$$

де n – кількість дослідів; t – значення аргументів функції Лапласа при якому $2\Phi(t) = \gamma$; σ – середнє квадратичне відхилення.

При максимально можливій надійності γ=0,999 значення t=3,29 [5]. Визначивши δ для різних випадкових процесів і зіставивши їх із оцінкою δ, отриманою за експериментальними даними, подано характер зміни значення верхньої границі похибки вимірювання залежно від розміру вибірки n для витрати середовища 6 м^3/год. відповідних законів розподілу в графічному вигляді (рис. 10).

Як бачимо з рис.10, оцінки δ для змодельованих випадкових сигналів з різною густиною розподілу майже не відрізняються, дещо кращі характеристики притаманні для випадкових процесів з розподілом Фішера. Загалом із збільшенням вибірки n (розміру

фрагменту сигналу, за яким обчислюють оцінку ентропії) δ змодельованих сигналів майже збігаються.



1 – експериментального; 2 – нормального; 3 – рівномірного закону розпаду, 4 – експоненціального законом розпаду; 5 – законом розподілу Фішера

Рисунок 10 − Верхня границя похибки вимірювання витрати вимірювального середовища 6 м^3/год.

Слід зауважити, що значення верхньої границі похибки експериментально отриманих вимірювань є відчутно більшими порівняно з теоретичними згенерованими випадковими процесами.

ВИСНОВКИ

Враховуючи те, що реалізація вимірювальних сигналів витрати газу з турбулізатором конусної форми наближається за розподілом до нормального закону з рівнем значимості 0,95; то доцільно застосовувати саме такий розподіл як критерій для оцінки ефективності збурювача потоку (турбулізатора) при вимірюванні витрати газових середовищ за ентропійними оцінками шумів потоку.

1. Рудак С. М. Аналіз впливу форми турбулізатора вихрового витратоміра газу на ефективність ентропійних оцінок шумів потоку / С. М. Рудак // Вісник Хмельницького нац.. ун-ту – 2009. – №4.– С. 26 – 30. 2. Пашкевич О. П. Динамічне оцінювання статистичних характеристик шумів газового потоку для вимірювання витрати:дис. ... канд. техн. наук. / Пашкевич О.П.– Львів, 2006. 3. Алгоритмізація, програмування, числові та символьні обчислення в пакеті MathCAD / Я.С. Паранчук, А.В.Маляр, Р.Я. Паранчук, І.Р. Головач − Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2008. 4. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учебн. пособие для вузов /И.Н. Коваленко, М.А. Филлипова - М.: Высшая школа, 1973. – 368 с. 5. Дубинин-Бараковский И. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике / И. В.Дубинин-Бараковский, Н. В. Смирнов– М: Гос. из-во техн.– теор. литературы, 1955. – 556 с.

Поступила в редакцію 08.10.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Горбійчук М.І.