

## АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ФОРМУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ НА ОСНОВІ ЕНТРОПІЙНИХ ОЦІНОК ШУМІВ НЕЗАВИХРЕННОГО ТА ЗАВИХРЕННОГО ПОТОКІВ

Проведено аналіз джерел формування широкосмугових вимірювальних сигналів для перетворювачів витрати газу на основі ентропійних оцінок шумів незавихреного та завихреного потоків.

Ключові слова: сигнал, середовище, характеристики, шуми, ентропія, витрата.

S.M. RUDAK, S.I. MELNYCHUK

Ivano-Frankivsk National technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

### AN ANALYSIS OF SOURCES OF FORMING OF BROADBAND MEASUREMENTS SIGNALS IS FOR THE TRANSFORMERS OF EXPENSE ON THE BASIS OF ENTROPY ESTIMATIONS OF NOISES OF THE UNBEGUN TO WHIRL AND BEGUN TO WHIRL STREAMS

*Abstract – The purpose of the article is a leadthrough of analysis of sources of forming of broadband measurings signals is for the transformers of expense on the basis of entropy estimations of noises of the unbegun to whirl and begun to whirl streams.*

*The epures of speeds of the different modes of flowing of environment are in-process built for the proper charges at moving of stream by a measuring area with the reshaper of broadband measurings signals and without it. It is set that for the begun to whirl stream the increase of speed of moving of measuring environment is provided. The analysis of change of power of measurings signals is in addition, conducted with the change of frequency spectrum for the transformers of expense on the basis of entropy estimations of noises of the unbegun to whirl and begun to whirl streams of environment.*

*It is set as a result of research, that with the use of reshaper of broadband signals increasing power informative signals turns out in the point of measuring in 20 times, as compared to a transformer without it.*

*Keywords: signal, environment, descriptions, noises, entropy, expense.*

#### Постановка проблеми

В роботах [1, 2] запропоновано спосіб вимірювання витрати, що ґрунтується на принципі динамічної оцінки ентропії шумів контрольованого середовища. Для вимірювання витрати газу використано первинний перетворювач коливань акустичного діапазону, який здійснює перетворення випадкових процесів (шумів), що утворюються газом при його переміщенні замірною ділянкою, в аналоговий електричний сигнал. Для цього на замірній ділянці 1 трубопроводу змонтовано первинний перетворювач 3 таким чином, щоб він контактував з вимірюваним середовищем і не створював опору протіканню газу, а також був відділений від замірної ділянки за допомогою акустичного ізолятора 2 (рис. 1).

Неперервні шумові коливання, що утворюються потоком газу, за допомогою первинного перетворювача 3 трансформуються в аналоговий сигнал, після чого він поступає на блок перетворення в цифрові інформаційні пакети 4, які за допомогою обчислювача 5 безперервно зчитуються і одночасно трансформуються в статистичні характеристики кожного інформаційного пакету. Усереднені значення поточних пакетів зіставляються з відповідною величиною витрати газу і фіксуються в пам'яті обчислювача або комп'ютера. Оскільки запропонований спосіб опрацювання вимірювального сигналу ґрунтується на динамічному оцінюванні ентропії послідовних дискретизованих вибірок випадкових коливань акустичного діапазону, то наявність різних місцевих опорів, що впливають на утворення шумів у трубопроводі, залежно від режиму протікання, зумовлює появу додаткових складових у згаданих випадкових процесах і спотворює вимірювальний сигнал.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Запропонований в [1, 2] спосіб вимірювання витрати на основі зміни статистичних характеристик шумів вимірюваного середовища найдоцільніше реалізувати для створення транспортних еталонних засобів при проведенні звіряння стаціонарних еталонних установок, а також для створення повірочних установок в якості робочого еталону. Режим роботи в лабораторних умовах (стаціонарних повірочних установок) порівняно легкий. Він характеризується стабільністю і керованістю зовнішніх чинників, відсутністю зовнішніх механічних (вібрації, удари, лінійні прискорення) і енергетичних (теплові удари і потоки, магнітні поля) впливів, стабільністю кліматичних умов (постійна температура оточуючого середовища, атмосферний тиск, вологість повітря тощо). За таких умов первинний перетворювач запропонованого методу не є прийнятним для практичної реалізації на виробництві.

#### Формулювання цілі статті

З метою вдосконалення вимірювального перетворювача витрати за оцінками ентропії шумів доцільно розглянути аналіз основних джерел виникнення таких випадкових сигналів в потоці газу, їх

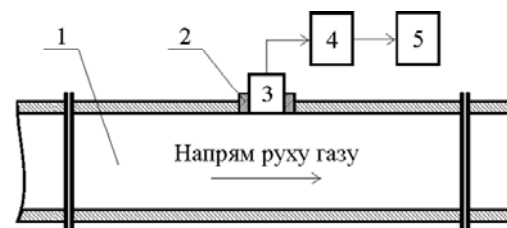


Рис. 1. Спосіб вимірювання витрати з використанням статистичних характеристик шумів вимірюваного середовища

спектральні та статистичні характеристики.

**Виклад основного матеріалу**

Основним джерелом інформації про поточну витрату для описаного в [1, 2] перетворювача при ламінарному режимі руху є пульсації тиску, створені переміщенням вимірювального середовища, що виникають внаслідок різниці швидкостей його шарів в перерізі замірної ділянки, а також завихрення, зумовлені тертям об стінки замірного вузла (рис. 2, а), які спостерігаються при наближенні режиму протікання до турбулентного [3, 4]. При переході на турбулентний режим потужність акустичних коливань суттєво зростає за рахунок завихрень, що виникають по всій довжині замірної ділянки.

З метою оцінювання швидкостей руху вимірювального середовища в різних точках поперечного перерізу замірної ділянки для запропонованого в [1] підходу, побудовано епюри швидкостей [3-5], з врахуванням режиму протікання за значенням числа  $Re$  [6], для витрат 1,87 м<sup>3</sup>/год та 7,84 м<sup>3</sup>/год згідно [7], результати подано на рис. 2, б.

При турбулентному русі газового середовища, який завжди супроводжується появою поперечних складових швидкості, що викликають перемішування середовища у всьому потоці, відбувається різке зростання опору руху середовища. При шороховатій поверхні стінки, обтікання виступів відбувається з відривом потоку, (рис. 2, а) і коефіцієнт опору  $\chi$  в цьому випадку залежатиме ще й від відносної шороховатості [3, 4].

Крім того, перехід до турбулентного режиму з шороховатою стінкою трубопроводу настає при меншому числі  $Re$  [3, 8]. Тому інтенсивність впливу сторонніх формувачів сигналів на інформативність сигналу в таких умовах буде меншою, в порівнянні з ламінарним.

З огляду на випадковий характер шумів вимірювального потоку газу, необхідно провести аналіз спектральних складових вимірювального сигналу. Результати попередніх експериментальних досліджень (на базі стаціонарної еталонної дзвонової установки ІВФ "Темпо" (м. Івано-Франківськ), границі основної відносної похибки  $\pm 0,13\%$ , діаметра трубопроводу  $D = 30$  мм, стабілізованої температури  $20 \pm 0,5$  °С, робочого тиску 114,0 мм водяного стовпа, робочого середовища – повітря) для характерних витрат, що відповідають різним режимам протікання середовища, подано на рис. 3.

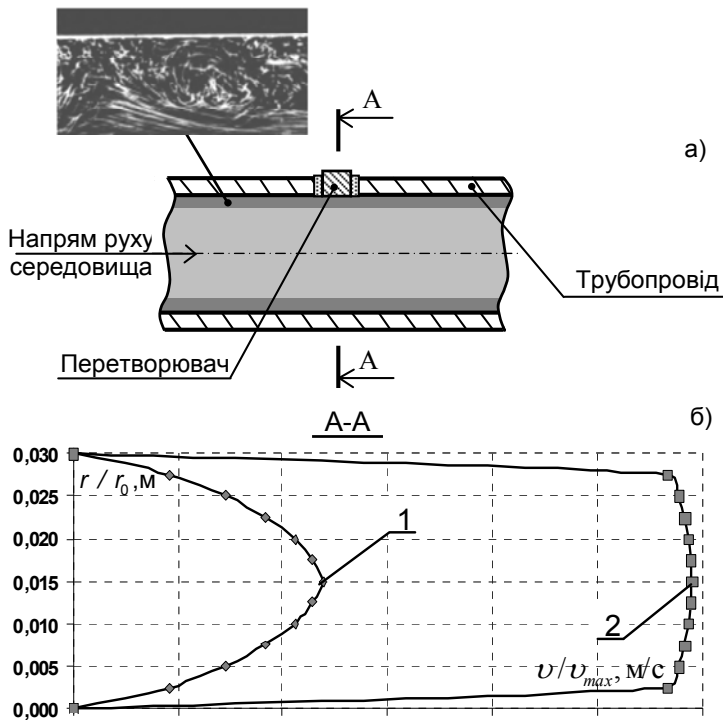


Рис. 2. Переміщення вимірювального середовища замірною ділянкою: а) джерела формування інформаційних сигналів; б) епюри швидкостей різних режимів протікання середовища для витрат 1 – 1,87 м<sup>3</sup>/год, та 2 – 7,84 м<sup>3</sup>/год

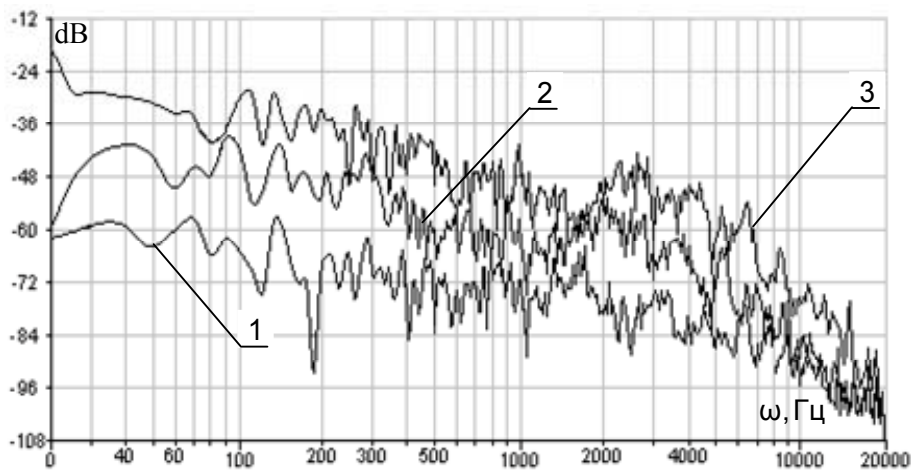


Рис. 3. Зміна потужності вимірювальних сигналів зі зміною частотного спектру для витрат: 1 – 1,87 м<sup>3</sup>/год, 2 – 5,87 м<sup>3</sup>/год, 3 – 9,89 м<sup>3</sup>/год

Як можна побачити, потужність вимірювального сигналу для витрати 1,87 м<sup>3</sup>/год має розподіл,

близький до рівномірного в діапазоні від 0 Гц до 10000 Гц, що свідчить про наявність значної кількості короткотривалих пульсацій тиску при ламінарному режимі протікання. Зі збільшенням витрати потужність сигналу зростає непропорційно за частотним діапазоном, зокрема зростання енергії в області низьких частот від 0 Гц до 1000 Гц більш інтенсивне порівняно з діапазоном від 1000 Гц до 20000 Гц, що свідчить про суттєве збільшення енергії вихорів, зумовлених переходом в турбулентний режим протікання.

Опрацьований діапазон частотного спектру (0-20000 Гц) (рис. 2) доцільно обмежити, оскільки сигнали з частотою понад 20 кГц характеризуються низькою потужністю і практично не змінюються при зростанні витрати, оскільки максимум потужності відповідає числу Струхаля 0,3 [9]. При великих числах  $Re$  ( $> 10^5$ ) вираженості обертонів вихрових частот взагалі не існує. Спектр вихрового звуку стає практично неперервним і частота Струхаля є тільки мірою для представлення в такому спектрі частот [10]. Тому можна вважати, що переміщення потоку створює широкопasmовий шум, для прикладу, в роботі [11] досліджувались рівні потужності звуку, генерованого в трубопроводах з різною формою поперечного перерізу при швидкості потоку повітря 12,5 м/с, причому спектр частот досліджуваного сигналу був в межах від 1000 Гц до 8000 Гц.

Таким чином, основною перевагою запропонованого в [1, 2] підходу до вимірювання витрати є відсутність опору протіканню газового середовища на замірній ділянці та прийнятна точність вимірювання. Проте запропонована структура перетворювача (рис. 1а) інформаційно-вимірювальної системи має недоліки, зокрема чутливість до сторонніх шумів, зумовлених конструктивними елементами трубопроводу, що не дозволяє забезпечити ефективну реалізацію та використання таких засобів у експлуатаційних умовах. З огляду на вище викладене можна зробити висновок, що відсутність додаткового джерела утворення шумів (що забезпечив би відсутність ламінарного руху середовища), як одного з варіантів вдосконалення вищезгаданого перетворювача, сприяє його підвищеній чутливості до впливу сторонніх шумів, що зумовлюють спотворення вимірювальної інформації.

Одним з варіантів мінімізації впливу сторонніх шумів, зумовлених конструктивними особливостями реалізації ІВС, може бути введення в потік формувача широкопasmових сигналів [12], який забезпечить надійне джерело інформації про контрольований параметр безпосередньо в точці вимірювання. Слід зазначити, що наявні перетворювачі, які використовують завихрювачі потоку, ґрунтуються на опрацьованні коливань тиску, що утворюються при обтіканні вихороутворюючого елемента, тобто в таких засобах джерелом інформації про витрату є гармонійні складові амплітуди низькочастотного сигналу звукового діапазону [13,14]. В результаті запропоновано спосіб вимірювання витрати газу [15], що ґрунтується на використанні широкопasmових сигналів інфразвукового та акустичного діапазонів, зумовлених обтіканням формувача, внесеного в потік (рис. 4, а).

Для запропонованого методу вимірювання, в порівнянні з попереднім методом, забезпечується збільшення швидкості переміщення вимірювального середовища. Розрахунок епюр швидкостей для формувача сигналів, розташованого на осі максимальної швидкості потоку газу подане на рис. 4, б.

При внесенні в середовище формувача сигналів, при достатньо малих швидкостях, потік рухається в ламінарному режимі. Згідно гіпотези Ландау, зі збільшенням швидкості не завихреного потоку система переходить в новий стійкий стан, що є сумою вихідного ламінарного руху та накладеного на нього періодичного коливання.

З подальшим зростанням  $Re$  цей рух також може втратити стійкість, що призводить до нового періодичного коливання. В результаті в гідродинамічній системі з великими числами  $Re$  повинно генеруватися велике число коливань, що називається розвиненою турбулентністю. Однак до сьогодення гіпотеза не одержала достовірного

експериментального підтвердження, що пояснюється виникненням нового трактування турбулентного руху середовища, однією з моделей якого є локально-ізотропна турбулентності [16], а внесення формувача в

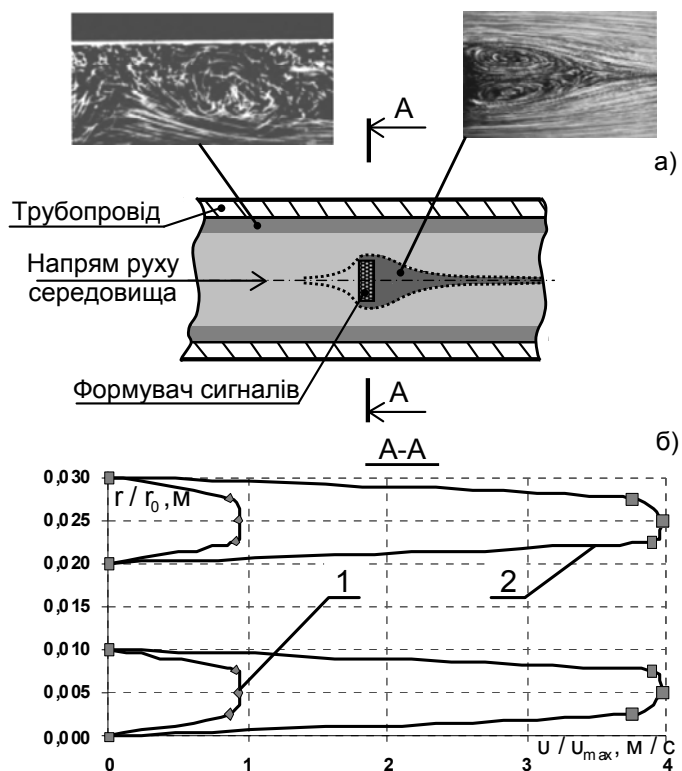


Рис. 4. Переміщення вимірювального середовища замірною ділянкою з формувачем широкопasmових сигналів: а) джерела формування інформаційних сигналів; б) епюри швидкостей різних режимів протікання середовища для витрат 1 – 1,87 м³/год, та 2 – 7,84 м³/год

потік середовища дозволяє значно прискорити межу настання розвиненої турбулентності.

На формувач сигналів, внесений в потік, діятимуть два фактори, що призводять до виникнення аеродинамічної сили. Перед ним повітряний потік гальмується, в результаті енергія руху потоку переходить в енергію статичного тиску, що призводить до виникнення різниці тисків навколо формувача. Інший фактор – утворення сили лобового опору пояснюється втратою кінетичної енергії потоку при обтіканні країв формувача.

Тут відбувається інтенсивна взаємодія з перепонами, вихроутворення та гальмування. В результаті також змінюються частотні характеристики випадкових вимірювальних сигналів, що зумовило необхідність проведення додаткових експериментальних досліджень (на базі стаціонарної дзвонивої установки ІВФ “Темпо” (м. Івано-Франківськ), границі основної відносної похибки  $\pm 0,13\%$ , трубопроводу  $D = 30$  мм, стабілізованої температури  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , робочого тиску 114,0 мм водяного стовпа, робочого середовища – повітря) для аналізу частотного спектру інформаційного сигналу, результати якого подано на рис. 5.

Як можна побачити, розподіл потужності за спектром найбільший в області частот від 0 Гц до 1000 Гц, що свідчить про наявність довготривалих завихрень, характерних для перехідного і турбулентного режимів протікання. Потужність інформаційного сигналу зі збільшенням частоти  $\omega$  суттєво зменшується і подальше розширення частотного спектру ( $> 20000$  Гц) стає недоцільним.

З огляду на досліджувані частотний діапазон (від 0 Гц до 20000 Гц) для подальшого опрацювання вимірювальних сигналів вибрано частоту дискретизації АЦП, яка згідно теореми Котельникова [17], щодо повного відтворення внутрішньоімпульсної частотної нестабільності має бути вдвічі більшою від полоси спектру частот сигналу і з врахуванням технічних характеристик задіяного АЦП вибрано частоту 44100 Гц.

Порівняння спектральних характеристик випадкових вимірювальних сигналів отриманих згідно [2] та для запропонованого методу показано на рис. 6.

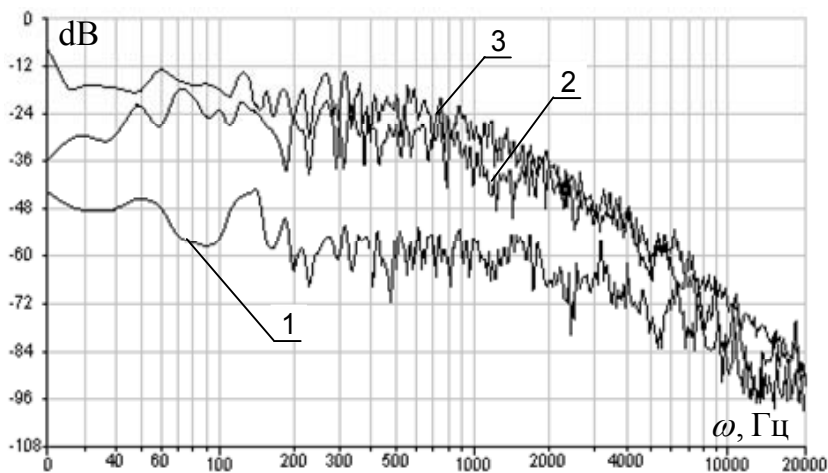


Рис. 5. Зміна потужності вимірювальних сигналів зі зміною частотного спектру для витрат: 1 – 1,87 м<sup>3</sup>/год, 2 – 5,87 м<sup>3</sup>/год,

3 – 9,89 м<sup>3</sup>/год перетворювача з формувачем широкосмугових сигналів

3 – 9,89 м<sup>3</sup>/год перетворювача з формувачем широкосмугових сигналів

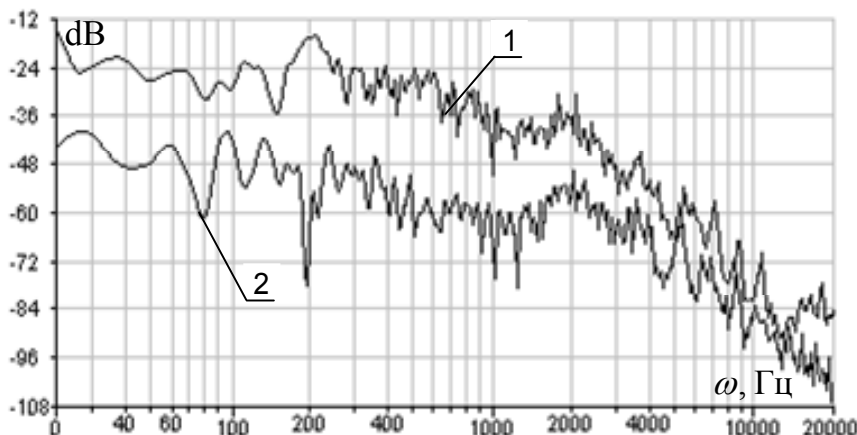


Рис. 6. Спектри вимірювальних сигналів: 1 – з використанням формувача широкосмугових сигналів, 2 – без формувача широкосмугових сигналів для витрати середовища 5,87 м<sup>3</sup>/год

## Висновки

Отже, як можна побачити (рис. 6), з використанням формувача широкосмугових сигналів отримується збільшення потужності інформаційних сигналів в точці вимірювання  $\sim 13$  dB (в 20 разів), в порівнянні з перетворювачем без формувача, що дозволяє зменшити вплив неінформативних складових, породжених сторонніми формувачами (місцевими опорами системи транспортування). Слід зазначити, що збільшення потужності сигналів за досліджувані спектральним діапазоном призводить до зміни оцінок ентропії шумів потоку, оскільки зростає кількість можливих станів, які приймає інформаційний сигнал.

## Література

1. Пат. 77083 Україна, МПК 7 G01F25/00. Спосіб вимірювання витрати на основі статистичних

- характеристик шумів вимірювального середовища / Мельничук С.І., Пашкевич О.П.; заявники та патентовласники Мельничук С.І., Пашкевич О.П.; заявл. 06.12.04; опубл. 16.10.06, Бюл. №10.
2. Пашкевич О.П. Динамічне оцінювання статистичних характеристик шумів газового потоку для вимірювання витрати: дис. ... канд. техн. наук: 17.11.06 / Пашкевич Олег Петрович. – Львів, 2006. – 167 с.
  3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
  4. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / М.Е. Дейч; – изд. 3-е, перераб. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.
  5. О механизме возникновения и развития когерентных структур в ламинарной и турбулентной круглых струях. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.phys.nsu.ru/vestnik/.../Vestnik\\_NSU\\_08T3V1\\_p12\\_p22.pdf](http://www.phys.nsu.ru/vestnik/.../Vestnik_NSU_08T3V1_p12_p22.pdf)
  6. Ван-Дейк М. Альбом течений жидкостей и газа / М. Ван-Дейк. – М.: Мир, 1986. – 184 с.
  7. Визначення режиму руху повітря у вентиляційних трубопроводах. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://fgtu.donntu.edu.ua/fm/1999-2/7.htm>.
  8. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 184 с.
  9. Аэроакустика. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/0235.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0235.html)
  10. Блохинцев Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды / Д.И. Блохинцев. 2-е изд. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
  11. Генерация аэродинамического шума в элементах систем вентиляции. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.astralok.com/view\\_st.php?id=323](http://www.astralok.com/view_st.php?id=323)
  12. Рудак С.М. Аналіз впливу форми турбулізатора вихорового витратоміра газу на ефективність ентропійних оцінок шумів потоку / С.М. Рудак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 4. – С. 39-46.
  13. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: справочник в 2 кн. / П.П. Кремлевский. Кн. 2. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
  14. Гордюхин А.И. Измерение расхода и количества газа и его учет / А.И. Гордюхин, Ю.А. Гордюхин. – Л.: Недра, 1987. – 208 с.
  15. Пат. 95677 Україна, МПК G01F 25/00. Спосіб вимірювання витрати газових середовищ / Мельничук С.І., Рудак С.М.; заявники та патентовласники Мельничук С.І., Рудак С.М.; заявл. 02.11.2009, опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16.
  16. Турбулентное течение жидкости или газа. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ligis.ru/effects/science/201/index.htm>.
  17. Басараб М.А. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона / М.А. Басараб, Е.Г. Зелкин, В.Ф. Кравченко, В.П. Яковлев – М.: Радиотехника, 2004. – 72 с.

## References

1. Melnychuk S.I., Pashkevych O.P. Pat. 77083 Ukraina, MPK 7 G01F25/00. Sposib vymiryuvannya vytraty na osnovi statystychnykh kharakterystyk shumiv vymiryvalnoho seredovyscha. Zaiavnyky ta patentovlasnyky Melnychuk S.I., Pashkevych O.P.; zaiavl. 06.12.04; opubl. 16.10.06, Biul. No 10.
2. Pashkevych O.P. Dynamichne otsiniuvannya statystychnykh kharakterystyk shumiv hazovoho potoku dlia vymiryuvannya vytraty: dys. ... kand. tekhn. nauk: 17.11.06, Lviv, 2006, 167 p.
3. Idelchik I. E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam, Moscow, Mashinostroenie, 1992, 672 p.
4. Dejch M. E. Texnicheskaya gazodinamika, Issue 3, Moscow, E'nergiya, 1974, 592 p.
5. O mekhanizme vznikhnoveniia i razvitiia kogerentnykh struktur v laminarnoj i turbulentnoj kruglykh struyakh. [http://www.phys.nsu.ru/vestnik/.../Vestnik\\_NSU\\_08T3V1\\_p12\\_p22.pdf](http://www.phys.nsu.ru/vestnik/.../Vestnik_NSU_08T3V1_p12_p22.pdf).
6. Van-dejk m. Albom techenij zhidkostej i gaza, Moscow, Mir, 1986, 184 p.
7. Vyznachennja rezhymu ruhu povitrja u ventyljacijnyh truboprovodah. <http://fgtu.donntu.edu.ua/fm/1999-2/7.htm>.
8. Shlixting G. Teoriya pogranychogo sloya, Moscow, Nauka, 1974, 184 p.
9. Ae'hroakustika. [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/0235.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0235.html).
10. Bloxincev D. I. Akustika neodnorodnoj dvizhushhejsya sredy', Issue 2, Moscow, Nauka, 1981, 208 p.
11. Generatsiya ae'hrodinamicheskogo shuma v ehlementakh sistem ventilyatsii. [http://www.astralok.com/view\\_st.php?id=323](http://www.astralok.com/view_st.php?id=323).
12. Rudak S.M. Analiz vplyvu formy turbulizatora vykhorovoho vytratomira hazu na efektyvnist entropiinykh otsinok shumiv potoku, Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 2009, No 4, pp. 39-46.
13. Kremlevskij P. P. Rasxodomery' i schetchiki kolichestva: spravochnik v 2 kn, Kn. 2, Issue 5, pererab. i dop, SPb, Politexnika, 2004, 412 p.
14. Gordyuxin A. I., Gordyuxin Ju. A. Izmerenie rasxoda i kolichestva gaza i ego uchet, Lenengrad, Nedra, 1987, 208 p.
15. Melnychuk S.I., Rudak S.M. Pat. 95677 Ukraina, MPK G01F 25/00. Sposib vymiryuvannya vytraty gazovyh seredovyssh. Zaiavnyky ta patentovlasnyky Melnychuk S.I., Rudak S.M.; zaiavl. 02.11.2009, opubl. 25.08.2011, Bjul. No. 16.
16. Turbulentnoe techenie zhidkosti ili gaza. <http://ligis.ru/effects/science/201/index.htm>.
17. Basarab M. A., Zelkin E. G., Kravchenko V. F., Yakovlev V. P. Cifrovaya obrabotka signalov na osnove teoremy' uittekera-kotelnikova-shennona, Moscow, Moscow, Radiotexnika, 2004, 72 p.

Рецензія/Peer review : 27.3.2014 p.

Надрукована/Printed :9.4.2014 p.

Рецензент: Середюк О.Є., д.т.н., проф. кафедри МПКЯіСП ІФНТУНГ