

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

УДК 681.121.04

ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОГОНІВ НА СКВ ОЦІНОК ЕНТРОПІЇ ВИПАДКОВИХ КОЛИВАНЬ ПОТОКУ В ШУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ВИТРАТИ ГАЗУ

© Степан Мельничук, Степан Рудак, 2009

Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ “Укрнафта”,
вул. Північний бульвар ім. Пушкіна, 2, 76019, м. Івано-Франківськ

Виконано експериментальні дослідження та моделювання впливу розміру прямих ділянок трубопроводів на метрологічні характеристики шумових ентропійних перетворювачів витрати газу.

Выполнено экспериментальное исследование и моделирование влияния размера прямых участков трубопроводов на метрологические характеристики шумовых энтропийных преобразователей расхода газа.

Experimental researches and designs of influencing of direct areas size of pipelines are conducted on metrological descriptions of noise entropy transformers of gas expense.

Постановка проблеми. Запропонований в [1] спосіб вимірювання газових середовищ ґрунтується на динамічному оцінюванні ентропії послідовних дискретизованих вибірок випадкових коливань акустичного діапазону. Одним із істотних факторів, який впливає на утворення шумів у газопроводах, є наявність різноманітних місцевих опорів, які залежно від режиму протікання контрольованого середовища зумовлюють появу додаткових складових у згаданих випадкових процесах, що спотворюють вимірювальну інформацію. Отже, дослідження та зменшення впливу конструктивних особливостей газопроводів шляхом зміни їх віддаленості від замірної ділянки під час вимірювання витрати газу за оцінками ентропії шумів потоку є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При застосуванні динамічного оцінювання статистичних характеристик шумів газового середовища [1, 5] останні, спричинені конструктивними особливостями трубопроводу за межами замірної ділянки, а також функціонуванням наявного обладнання, мають періодичний характер. Амплітуда таких шумів є на кілька порядків більшою від інших випадкових коливань. Це фактично унеможливило реалізацію процесу вимірювання без попереднього

їх усунення, яке здійснюється перенесенням замірної ділянки, використанням додаткових конструктивних елементів — акустичних компенсаторів, а також аналогових і цифрових фільтрів. Це свідчить про використання цього методу вимірювання в ідеальних (лабораторних) умовах. Питання впливу місцевих опорів та довжин прямих ділянок трубопроводів на ентропійні характеристики шумового ентропійного перетворювача витрати газових середовищ [2] практично не досліджувалось.

Формулювання цілі статті. Основною метою статті є дослідження впливу місцевих опорів і встановлення довжин прямих ділянок трубопроводу до вимірювального перетворювача, за яких математичне сподівання оцінок ентропії для однакових величин витрати газу практично не відрізняються, тобто є істотно меншими за їх СКВ в межах однієї витрати.

Виклад основного матеріалу. Оскільки вплив місцевих опорів залежить від їх конструкції, особливостей будови, матеріалів, а також від режиму протікання контрольованого середовища, то на першому етапі досліджень виконано експерименти для прямих ділянок трубопроводів довжинами — $5D$, $10D$, $20D$ та $25D$, причому для максималізації неконтро-

льованих збурень вибрано місцевий опір невизначеного типу, до складу якого увійшли коліна різного типу, заглушені трійники і крани. Доцільно зазначити, що місцевий опір складено так, щоб було забезпечено зміну напрямку потоку газу в різних площинах під кутом 90° . З метою оцінки впливу місцевих опорів при різних режимах протікання газу експериментальні дослідження здійснено для витрат $5 \text{ м}^3/\text{год}$, $7 \text{ м}^3/\text{год}$, $9 \text{ м}^3/\text{год}$ та $11 \text{ м}^3/\text{год}$ в 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 $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, робочого тиску $114,0 \text{ мм}$ водяного стовпа, робочого середовища — повітря.

Зазначимо, що з огляду на результати, отримані в попередніх роботах, найменше значення СКВ оцінок ентропії шумів потоку газу спостерігається при застосуванні 16-розрядного АЦП. Необхідно врахувати вплив зміни розміру вибірки для забезпечення максимально адекватної оцінки. Результати попереднього оцінювання ентропії шумового сигналу для величини вибірки 40960 відліків (дискретизованих значень) наведено в табл. 1.

Під час досліджень встановлено, що зі збільшенням прямої ділянки трубопроводу до перетворювача ентропійні оцінки випадкових сигналів зменшуються, причому вплив шумів, зумовлених місцевим опором, послаблюється з віддаленням його від замірної ділянки. Також треба зауважити, що для різних величин витрат контрольованого середовища вплив

місцевого опору неоднаковий, причому спостерігається збільшення розбіжності математичних очікувань оцінок ентропії при зменшенні витрати і розміру прямої ділянки до перетворювача (рис.1).

Оскільки експерименти виконано для обмеженої кількості прямих ділянок довжиною до $25D$, що не дало змогу отримати прийнятні значення матсподівань вимірювальних величин (флуктуація матсподівань для сусідніх розмірів прямих ділянок повинна бути на порядок меншою за СКВ виміряних значень), то подальші дослідження доцільно вести за допомогою моделювання, зокрема, екстраполяції отриманих характеристик для кожної з величин витрат окремо.

Одним з основних недоліків традиційних екстраполяційних методів є істотне зменшення точності з віддаленням від границь заданого інтервалу даних (експериментально отриманих значень). Тому при застосуванні методів інтерполяції – екстраполяції необхідно враховувати розподіл даних упродовж всього інтервалу досліджень.

Найдоступнішим в такій ситуації є застосування потужного математичного середовища Mathcad, засоби якого дають змогу обробляти значні обсяги даних, а інструменти аналізу статистичної інформації враховують розподіли даних упродовж всього інтервалу, навіть для обмеженої – так звана екстраполяція за допомогою функцій прогнозування [3] (табл. 2).

Результати виконаних обчислень для довжини прямої ділянки трубопроводу до $100D$ з однаковим кроком наведено в табл. 2.

Таблиця 1

**Результати розрахунку оцінок ентропії
та СКВ оцінок шумового сигналу**

Прямі ділянки трубопроводу, D	Витрата середовища Q, м ³ /год							
	5		7		9		11	
	\hat{H}	СКВ	\hat{H}	СКВ	\hat{H}	СКВ	\hat{H}	СКВ
5	13,47	0,0344	14,1	0,0215	14,51	0,0147	14,7	0,0085
10	13,3	0,0274	13,92	0,0267	14,34	0,0140	14,57	0,0148
20	13,25	0,0438	13,88	0,0403	14,3	0,0228	14,56	0,0258
25	13,24	0,0412	13,84	0,0361	14,27	0,0105	14,51	0,0162

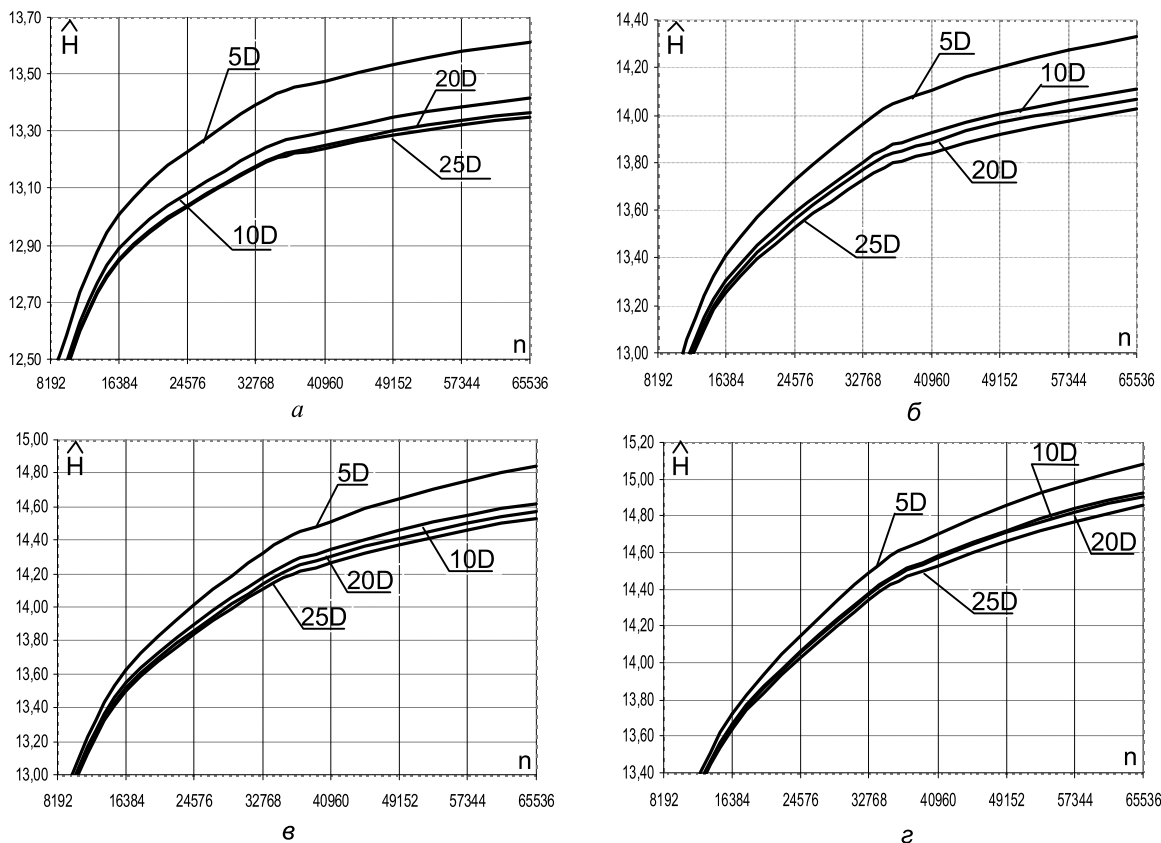


Рис. 1. Ентропійні характеристики шумового перетворювача різних прямолінійних ділянок трубопроводу для витрат: а – 5 м³/год; б – 7 м³/год; в – 9 м³/год; г – 11 м³/год

Таблиця 2

Результати екстраполяції характеристик перетворювача

Витрата середовища Q, м³/год	Прямі ділянки трубопроводу, D											
	30	35	45	50	55	60	70	75	80	85	95	100
5	13,234	13,231	13,228	13,226	13,224	13,223	13,222	13,22	13,219	13,218	13,217	13,215
7	13,815	13,796	13,782	13,771	13,763	13,757	13,752	13,748	13,745	13,742	13,739	13,736
9	14,252	14,239	14,231	14,225	14,221	14,218	14,216	14,214	14,212	14,21	14,209	14,207
11	14,5	14,466	14,457	14,434	14,426	14,41	14,403	14,392	14,386	14,378	14,374	14,367

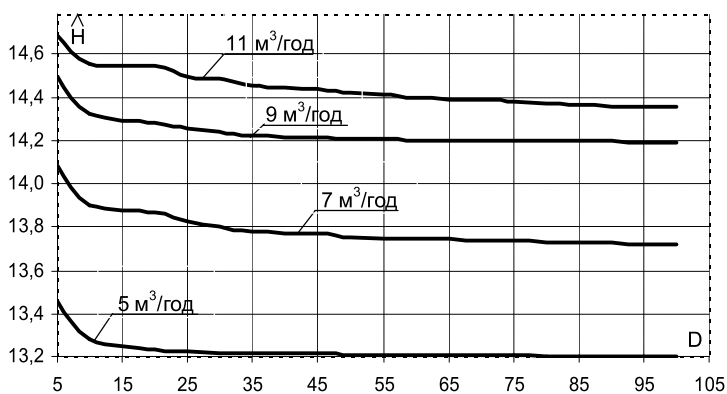


Рис. 2. Результат екстраполяції характеристики шумового перетворювача для більших довжин прямолінійних ділянок трубопроводу

Як можна побачити, залежність для витрати 5 м³/год є порівняно чітко вираженою щодо подальшого свого поведіння і може бути описана степенною або експоненціальною функціями, що практично не потребує використання всіх експериментальних даних. Для більших витрат вимірювального середовища (7 м³/год, 9 м³/год, 11 м³/год) взято до уваги максимальну кількість вихідних даних для отримання екстрапольованих точок, оскільки їх характеристики мають дещо складніший характер, проте в усіх них спостерігається чітка тенденція до зменшення флуктуації маточікувань ентропійних оцінок: чим більша витрата, тим більше зменшення.

Для спрощення оцінювання одержаних результатів доцільно подати отримані результати у вигляді диференційної моделі [4]. Диференційні моделі давачів інформації характеризують похідну вихідного сигналу і для дискретних процесів описуються виразом:

$$D_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t} \quad (1)$$

при $\Delta t = 1$

$$D_i = x_i - x_{i-1}. \quad (2)$$

Отже, цей вираз характеризує зміну поточного значення відносно попереднього і є різницею сусідніх дискретних відліків.

Після перетворення за (2) ентропійні характеристики наведено в диференційному вигляді (табл. 3).

У дискретних диференціальних моделях операції інтегрування замінюють відповідно на додавання і віднімання. Ці операції значно легше реалізувати в технічних обчислювальних системах. Внаслідок цього дискретні моделі є зручнішими, ніж аналогові при використанні в інформаційно-вимірювальних системах контролю.

Таблиця 3

Екстраполюючі значення ентропійних характеристик у диференційному вигляді

Витрата середовища Q, м ³ /год	Прямі ділянки трубопроводу, D														
	10	20	25	30	35	45	50	55	60	70	75	80	85	95	100
5	0,17	0,05	0,01	0,006	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
7	0,18	0,04	0,04	0,025	0,019	0,014	0,011	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
9	0,17	0,04	0,03	0,018	0,013	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
11	0,13	0,01	0,05	0,01	0,034	0,009	0,023	0,008	0,016	0,007	0,011	0,006	0,008	0,004	0,007

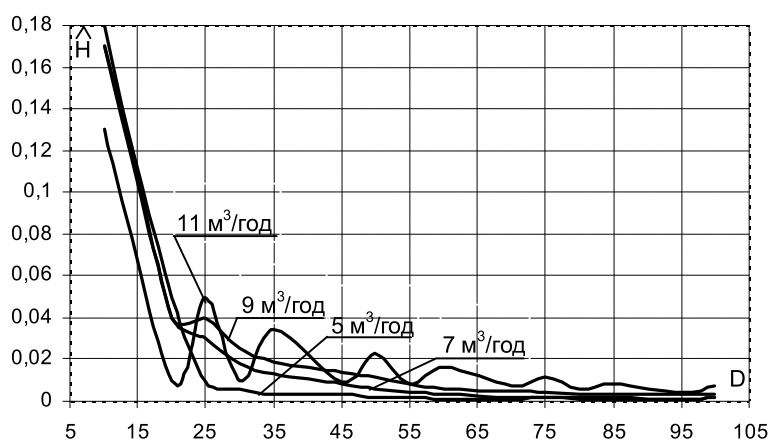


Рис. 3. Диференційні характеристики зміни маточікування перетворювача залежно від довжини прямої ділянки трубопроводу для різних витрат

Як видно з рис. 3, зі збільшенням прямої ділянки трубопроводу флуктуація математичних сподівань ентропійних оцінок шумового перетворювача зменшується, відповідно коливальні процеси (особливо для витрати $11 \text{ м}^3/\text{год}$) загасають.

Якщо розглянути наведені значення характеристик (табл. 3), то вже на відстані $95\text{--}100D$ до замірної ділянки шумового ентропійного перетворювача значення характеристик лежать в межах від 0,001 до 0,007 для різних витрат вимірювального середовища, що є на порядок менше від значень СКВ, отриманих для прямолінійної ділянки завдовжки $25D$: 0,0412, 0,0361, 0,0105, 0,0162 для витрат $5 \text{ м}^3/\text{год}$, $7 \text{ м}^3/\text{год}$, $9 \text{ м}^3/\text{год}$ та $11 \text{ м}^3/\text{год}$ відповідно. Це дає змогу припустити, що використання прямих ділянок трубопроводу до шумового витратоміра завдовжки понад $100D$ практично забезпечить відсутність впливу місцевих опорів на вимірювальну інформацію. Виконана перевірка для довжин прямих ділянок $100D$ та $125D$ підтвердила сформульоване вище припущення.

Проте в умовах виробництва такі довжини прямих ділянок трубопроводів до вимірювального пристрою є доволі великими, особливо lkz великих діаметрів трубопроводів (як приклад, для Ду 150 мм $l \approx 15 \text{ м}$), тобто побудова замірних ділянок є доволі трудомістким процесом, складним для монтажу та матеріалоємним.

Одним з варіантів усунення названих недоліків може бути введення у вимірювальне середовище збурювального елемента (турбулізатора), який дає змогу істотно збільшити потужність випадкових акустичних коливань в точці вимірювання. Такий підхід, своєю чергою, зумовлює зростання потужності інформаційного сигналу і, як наслідок, зменшення впливу сторонніх сигналів, які утворюються в результаті взаємодії потоку з місцевими опорами газогону.

Висновки. Як підтверджують результати досліджень, реалізація шумового ентропійного перетворювача витрати газу без застосування вихроутворювального елемента є доцільною за умови використання прямих ділянок трубопроводів великих довжин або в лабораторних умовах, де калібрування здійснюється для конкретної конфігурації технологічного обладнання (трубопроводів, місцевих опорів, первинних перетворювачів тощо).

Отже, одним з перспективних напрямків подальших досліджень є розроблення вимірювальних систем, які здатні самостійно генерувати потужний вимірювальний сигнал, який давав би змогу нехтувати впливом останніх і забезпечував стабільність метрологічних характеристик порівняно із сигналами, зумовленими конструктивними елементами газогону.

1. Пат. 7 G01F25/00. Спосіб вимірювання витрати на основі статистичних характеристик шумів вимірювального середовища / С.І. Мельничук, О.П. Пашкевич. – № 77083; опубл. 16.10.06, Бюл. № 10. 2. Рудак С.М. Дослідження впливу місцевих опорів та довжини прямих ділянок трубопроводів на метрологічні характеристики шумових витратомірів: Зб. тез доповідей 15 Міжнародної конференції з автоматичного управління. Одеса, 2008. 3. Паранчук Я.С., Маляр А.В., Паранчук Р.Я., Головач І.Р. Алгоритмізація, програмування, числові та символічні обчислення в пакеті MathCAD. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2008. 4. Таланчук П. М. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах. Підручник для ВУЗів. – К.: Райдуга, 1999. 5. Пашкевич О.П., Мельничук С.І. Статистичний аналіз випадкових сигналів, які утворюються при переміщенні газових потоків в транспортній магістралі. – Харків, 2004.