

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗМІРУ ВИБІРКИ ТА РОЗРЯДНОСТІ АЦП НА СКВ ЕНТРОПІЙНИХ ОЦІНОК ВИХРОВИХ АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ ГАЗУ

С.М.Рудак, С.І.Мельничук

Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ«Укрнафта»,
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Північний бульвар ім. Пушкіна, 2, тел. (03422) 43225,
e-mail: vpa@ndpi.ukrnapfta.com

Проаналізовано вплив розміру вибірки та розрядності аналого-цифрових перетворювачів на зміну середнього квадратичного відхилення ентропійних характеристик вихрових витратомірів

Проанализировано влияние размера выборки и разрядности аналого-цифровых преобразователей на изменение среднего квадратичного отклонения энтропийных характеристик вихревых расходомеров.

The influence of size of selection and bit of ADC on changing of standard deviation of entropy descriptions of vortical transformers are analyzed.

Сучасні засоби вимірювання витрати, які використовують для визначення збурення потоку газу, що утворюється внесенням вихроутворюючого тіла (турбулізатора), практично вичерпали можливості подальшого покращення метрологічних характеристик. Така ситуація зумовлена значною нестационарністю фізичних параметрів вимірювального середовища в контрольованих межах, що використовуються як носій інформації про поточну витрату [3].

Одним із перспективних напрямків вдосконалення витратомірів газу згаданого типу є використання статистичних, зокрема ентропійних оцінок шумів, що утворюються потоком після проходження турбулізатора. Застосування принципу оцінювання статистичних характеристик випадкових коливань дає змогу суттєво спростити апаратну реалізацію вимірювальних каналів, проте зумовлює необхідність проведення аналізу можливих факторів, які безпосередньо впливають на точність вимірювання. Процедура вимірювання реалізується на послідовному перетворенні шумів акустичного діапазону у відповідні аналогові електричні коливання з подальшою дискретизацією, формуванням послідовності вибірок сигналу і обчисленням оцінок ентропії цих вибірок (рис. 1).

Одним із основних критеріїв ефективності функціонування первинних перетворювачів є повторюваність вимірювальних даних в діапазоні вимірювання такого пристрою, яка практично визначається величиною середнього квадратичного відхилення. Доцільно зазначити, що у випадку застосування статистичного підходу СКВ різних оцінок, зокрема ентропії, буде залежати від багатьох факторів, таких, що призводять до зміни шумів середовища не зумовлених зміною витрати (роботою різноманітного обладнання в експлуатаційних умовах), від розрядності аналого-цифрового перетворювача, а також від розміру вибірки. Крім того, характеристики випадкових акустичних коливань

зазнають суттєвих змін під впливом місцевих опорів на відстанях прямолінійних ділянок трубопроводу, що перевищують $100D$ [1], тому з метою усунення такого впливу доцільно розглянути можливість введення в потік збурюючого елемента, який буде основним джерелом шуму, що, в свою чергу, дасть можливість зменшити вплив неконтрольованих зовнішніх впливів.

При застосуванні турбулізатора, потужність випадкових акустичних коливань суттєво збільшується порівняно з реалізацією засобу вимірювання без нього [1], що зумовлює зростання потужності інформаційного сигналу і, як наслідок, призводить до збільшення ентропійних оцінок послідовних фрагментів реалізацій шумів потоку газу.

З вищевикладеного можна сказати, що важливою передумовою для розрахунку оцінок ентропії є вибір оптимального значення величини вибірки та розрядності АЦП, за яких значення СКВ вимірювань було б мінімальним [2, 4].

З метою дослідження згаданих питань, проведено низку експериментів на базі стаціонарної дзвонової установки ІВФ «Темпо» м. Івано-Франківськ, границі основної відносної похибки якої $\pm 0,13\%$ (свідоцтво про повірку №113), для трубопроводу діаметром $D = 0,03$ м з робочим тиском 114,0 мм водяного стовпа, робоче середовище — повітря.

Для проведення аналізу взято до уваги пряму ділянку трубопроводу $100D$ до вихрового акустичного перетворювача (з метою мінімізації впливу місцевих опорів на перетворювач), витрати середовища ≈ 3 м³/год, 5 м³/год, 7 м³/год та 9 м³/год, при яких потік середовища знаходиться в турбулентному режимі. Перехід в турбулентний режим відбувається при витраті середовища $\approx 3,12$ м³/год, що відповідає числу Рейнольдса $Re=2300$, з врахуванням в'язкості для повітря $\nu = 1,49 \cdot 10^{-5}$ м²/с та діаметру трубопроводу $D = 0,03$ м [3].

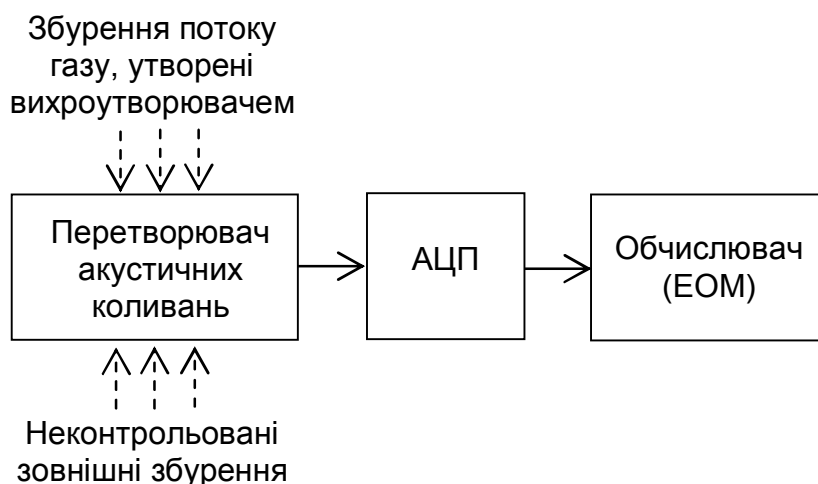


Рисунок 1 — Узагальнена структура системи вимірювання витрати за ентропійними оцінками шумів контрольованого середовища вихровим акустичним перетворювачем

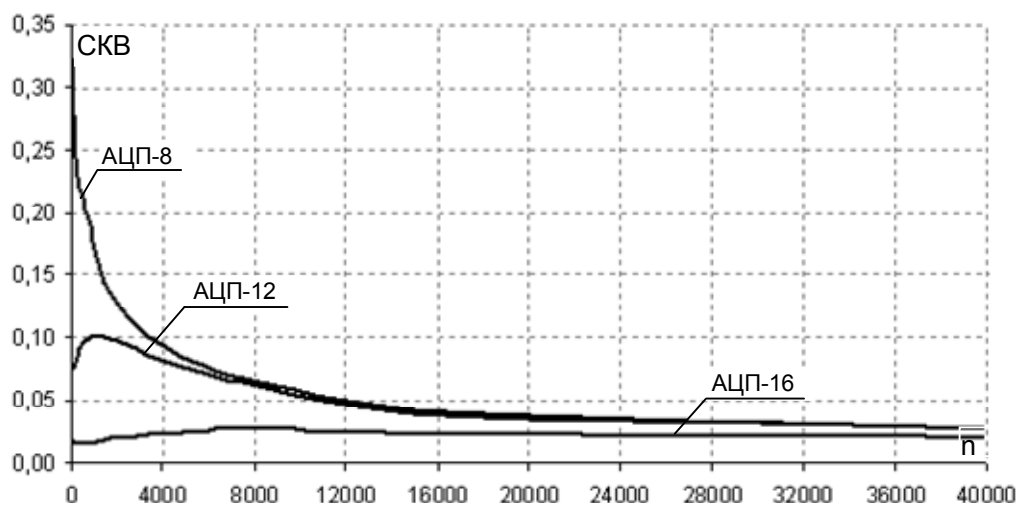


Рисунок 2 – Залежність значення СКВ оцінок ентропії від розміру вибірки n для різних розрядностей АЦП ($Q \approx 5 \text{ м}^3/\text{год}$)

На першому етапі проведено дослідження впливу розрядності АЦП для промислових пристроїв, які найбільш поширені, тобто аналізувались перетворювачі з розрядною сіткою 8, 12 та 16 біт. Результати дослідження свідчать (рис.2), що для обраного діапазону витрат найменше значення СКВ оцінок ентропії спостерігається для 16 розрядного АЦП, прийнятним також може бути застосування і 12-ти розрядного перетворювача, оскільки з його використанням значення СКВ не істотно відрізняються від вищенаведеного.

Уточнені результати обчислень СКВ ентропійних оцінок для різних витрат газу з обраного діапазону для АЦП 16, 12 та 8 біт зображено в табл.1-3. Результати розрахунку дають можливість простежити тенденцію та пропорційність зміни значень СКВ із зміною вищезгаданих параметрів.

З табл.1 видно, що за більших значень витрати середовища різниця в зміні СКВ досить незначна. Ця різниця збільшується із зменшенням розрядності АЦП.

З табл.1-3 видно, що найменші значення СКВ оцінок ентропії випадкових шумів контрольованого середовища спостерігаються для АЦП розрядністю 16 біт.

Наступним та важливим етапом є дослідження і порівняльний аналіз СКВ оцінок ентропії вищерозглянутих величин витрат для різних розмірів вибірок, яке проведено для n від 32 до 40960 послідовних відліків (значень) (рис. 3-5).

Із зростанням розміру вибірки значення СКВ для АЦП-12 та АЦП-8 розрядного суттєво зменшуються (рис. 4, 5). Фактично для АЦП-16 розрядів (табл. 1) найменші значення СКВ лежать в межах розміру вибірок від 128 до 1024 елементи (відліки) для різних витрат відповідно, проте починаючи вже з 36000 ці значення стабілізуються з постійною тенденцією до їх зменшення (рис. 3). Також слід зазначити, що АЦП-8 розрядів має найкращі характеристики (рис.5): збільшення розміру вибірки, а також зростання витрати вимірювального середовища приводить до зменшення СКВ і межі розмірів

Таблиця 1 – СКВ ентропійних оцінок різних розмірів вибірок та витрат АЦП 16 біт

Витрата середовища Q, м ³ /год	Розмір вибірки, n											
	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768	40960
3	0,0393	0,0366	0,0357	0,0372	0,0422	0,0531	0,0610	0,0825	0,0828	0,0686	0,0520	0,0501
5	0,0203	0,0177	0,0158	0,0153	0,0156	0,0174	0,0203	0,0239	0,0268	0,0228	0,0218	0,0208
7	0,0153	0,0129	0,0114	0,0104	0,0100	0,0102	0,0112	0,0122	0,0141	0,0161	0,0177	0,0160
9	0,0129	0,0104	0,0088	0,0079	0,0075	0,0073	0,0076	0,0080	0,0089	0,0103	0,0121	0,0108

Таблиця 2 – СКВ ентропійних оцінок різних розмірів вибірок та витрат АЦП 12 біт

Витрата середовища Q, м ³ /год	Розмір вибірки, n											
	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768	40960
3	0,1621	0,1571	0,2225	0,1696	0,1688	0,1607	0,1487	0,1290	0,1074	0,0806	0,0573	0,0546
5	0,0814	0,0756	0,0755	0,0841	0,0957	0,1020	0,0977	0,0813	0,0609	0,0384	0,0297	0,0271
7	0,0567	0,0511	0,0486	0,0511	0,0576	0,0643	0,0685	0,0627	0,0519	0,0388	0,0294	0,0234
9	0,0439	0,0368	0,0332	0,0323	0,0340	0,0372	0,0411	0,0437	0,0390	0,0328	0,0225	0,0202

Таблиця 3 – СКВ ентропійних оцінок різних розмірів вибірок та витрат АЦП 8 біт

Витрата середовища Q, м ³ /год	Розмір вибірки, n											
	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768	40960
3	0,3742	0,3087	0,2671	0,2329	0,2009	0,1754	0,1556	0,1319	0,1083	0,0807	0,0568	0,0542
5	0,3248	0,3102	0,2927	0,2295	0,2126	0,1648	0,1270	0,0926	0,0647	0,0405	0,0305	0,0267
7	0,3400	0,2454	0,2416	0,2232	0,1919	0,1492	0,1133	0,0822	0,0598	0,0420	0,0306	0,0242
9	0,2212	0,1816	0,1611	0,1490	0,1291	0,1044	0,0781	0,0583	0,0425	0,0324	0,0219	0,0200

вибірок з найменшими значеннями СКВ не простежується, як для АЦП-16, проте їхні значення є (порівняно з АЦП-12 та АЦП-16) дещо вищими (табл. 3).

З рис. 3-5 також видно, що збільшення розрядності перетворювача веде до збільшення непропорційності розподілу значень СКВ з зменшенням витрати вимірювального середовища (відносно великих витрат). Відповідно, це зумовлює нерівномірність розподілу математичних сподівань для даних витрат.

Залежність енергії сигналу від ентропійних оцінок величини витрати існує по всьому досліджуваному діапазоні. Основна частка енергії шумового сигналу припадає на максимальне значення ентропійних характеристик, а, відповідно, і на витрати вимірювального середовища. При цьому збільшення величини витрати вимірювального середовища приводить до збільшення енергії шумів E_s (рис.6), в такому випадку спостерігається зменшення значення СКВ ентропійних оцінок, що породжуються переміщенням потоку контрольованого середовища (табл. 1-3) [5].

Проведений аналіз і отримана залежність ентропійних оцінок послідовних вибірок реалізації випадкових процесів (шумів) потоку газу від енергії, що отримується при обробці інформаційного потоку з вимірювального перетво-

рювача витрати, з впевненістю описується степеневою функцією. Результат також підтверджує пропорційність зростання математичного сподівання ентропійних оцінок із зростанням витрати потоку газу.

Для визначення оцінки точності вимірювання витрати в контексті статистичного аналізу оперують поняттям ентропійної величини похибки. Величина цієї похибки буде безпосередньо залежати від значення СКВ випадкової величини ентропійних характеристик та описуватися Гауссовим інтегралом помилок.

У випадку застосування статистичного підходу СКВ оцінок ентропії буде мати найменше значення при зростанні розрядності АЦП та із збільшенням розміру вибірки. Це, в свою чергу, за подальших досліджень дасть змогу мінімізувати верхню границю похибки вимірювання шумовим перетворювачем.

Таким чином, результати проведених досліджень мають практичне значення і підтверджують необхідність подальшої роботи в даному напрямку, особливо в питанні підвищення точності вимірювання запропонованим методом, а також можуть стати підґрунтям для оцінювання впливу прямих ділянок трубопроводів до та післяшумового вихрового перетворювача витрати газу.

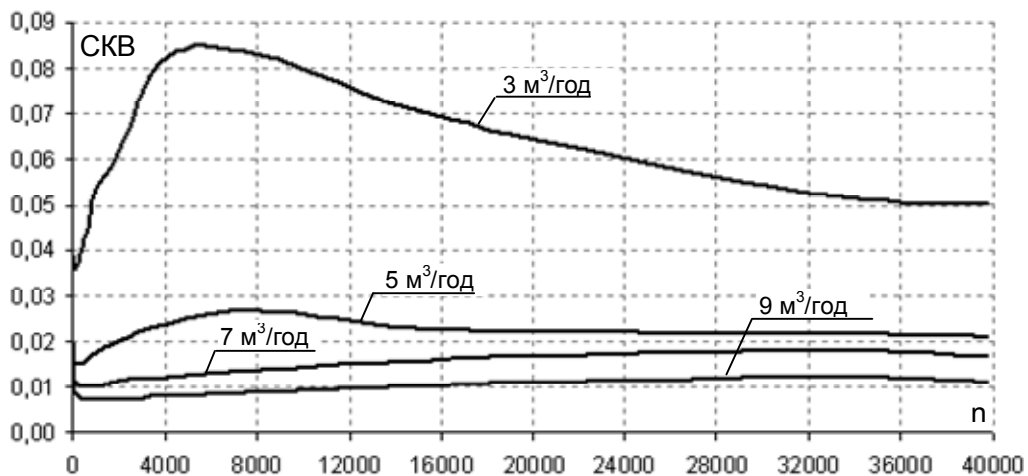


Рисунок 3 – Залежність значення СКВ ентропійних характеристик від розміру вибірки n для АЦП 16 біт

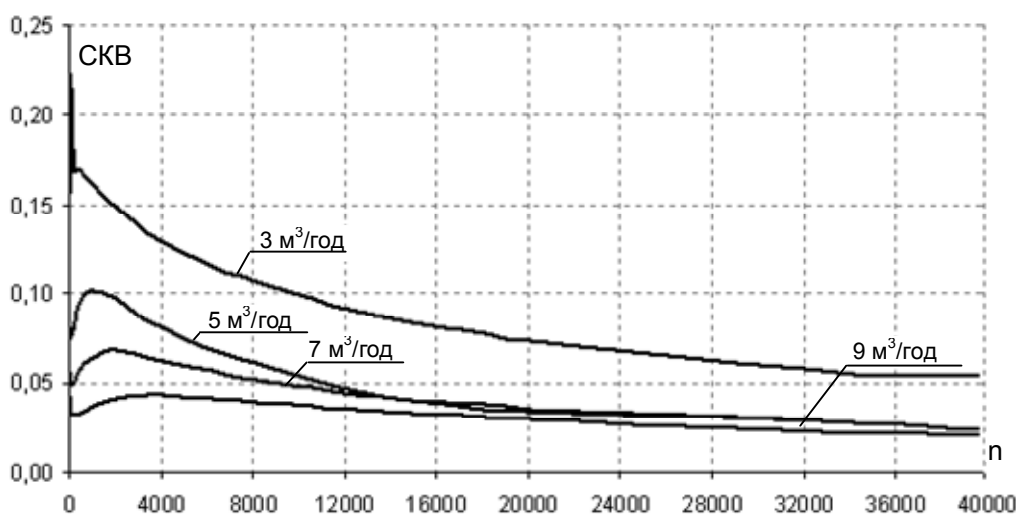


Рисунок 4 – Залежність значення СКВ ентропійних характеристик від розміру вибірки n для АЦП 12 біт

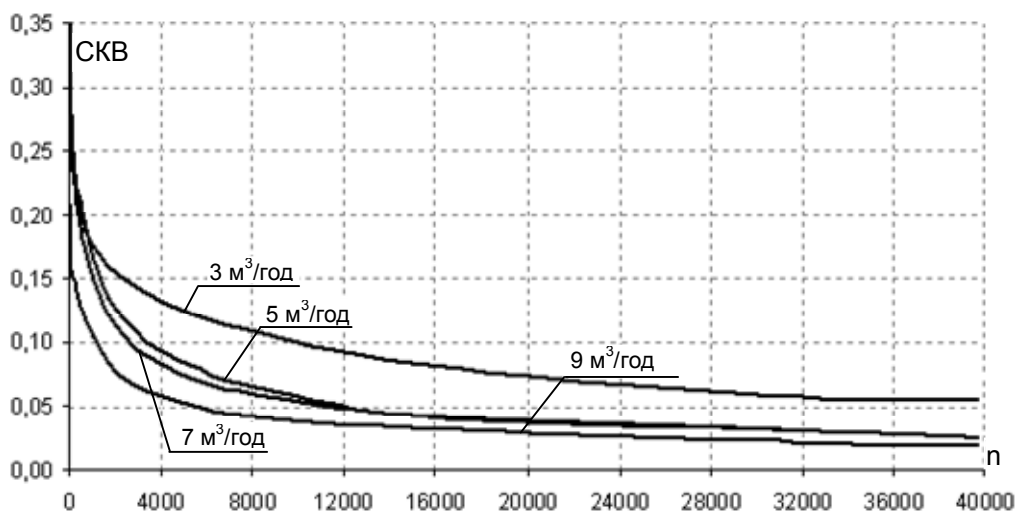


Рисунок 5 – Залежність значення СКВ ентропійних характеристик від розміру вибірки n для АЦП 8 біт

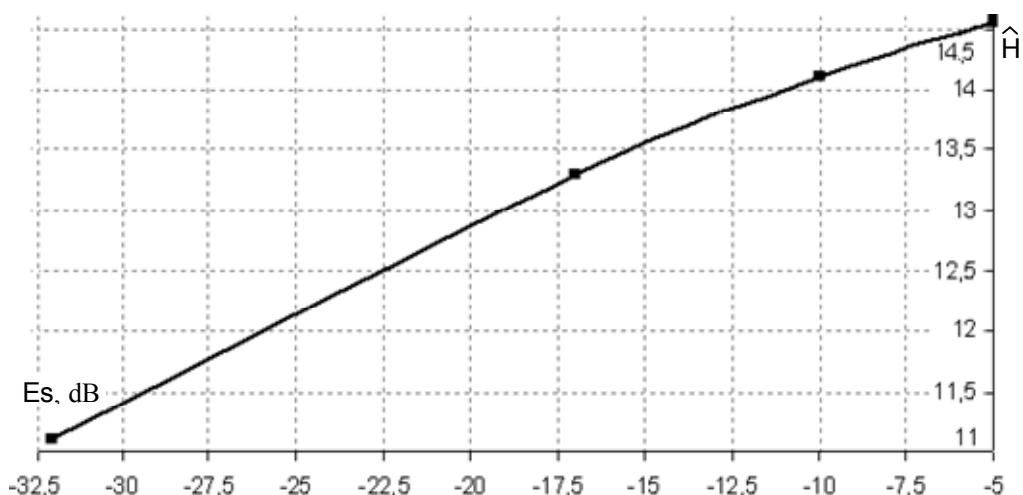


Рисунок 6 – Залежність енергії сигналу E_s від значень ентропійних оцінок величини витрати газу (повітря) \hat{N} для розміру вибірки 40960 відліків

Література

1 Рудак С.М. НДПІ ВАТ "Укрнафта" – "Автоматика 2008" [Текст] / С.М. Рудак // Дослідження впливу місцевих опорів та довжини прямих ділянок трубопроводів на метрологічні характеристики шумових витратомірів: зб. тез доповідей 15 Міжнародної конференції з автоматичного управління, 23-26 вер., 2008 р., доповнення 2. – Одеса: ОНМА, 2008. – С.17-19.

2 Пат. 7 G01F25/00. Спосіб вимірювання витрати на основі статистичних характеристик шумів вимірювального середовища [Текст] / Мельничук С. І., Пашкевич О. П.; – № 77083; опубл. 16. 10. 06, Бюл. №10.

3 Кремлевский П.П. Расходомеры [Текст] / П. П. Кремлевский. – М.–Л.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 656 с.

4 Кісіль І. С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань [Текст]: [навчальний посібник] / І. С. Кісіль. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с.

5 Пашкевич О.П. "Галицька академія" – Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] / О. П. Пашкевич, С. І. Мельничук // Статистичний аналіз випадкових сигналів, які утворюються при переміщенні газових потоків в транспортній магістралі: наукові праці конференції. – Харків, 2004. – С.126-128.

Стаття постуила в редакційну колегію
01.04.09

Рекомендована до друку професором
Горбійчуком М.І.