

### **Оцінювання невизначеності результатів динамічних вимірювань витратоміром Коріоліса у складі автоматизованої системи наливу.**

*В роботі наведено основні динамічні характеристики витратоміру Коріоліса. Представлено методику оцінки невизначеності результатів динамічних вимірювань витратоміру Коріоліса за каналами вимірювання маси, густини та температури. Наведені основні формули розрахунку.*

#### **Результати дослідження**

Вимірювання витрат нафтопродуктів для транспортної галузі із виробничим та комерційним обліком регулюються міжнародними стандартами та сучасні системи вимірювання витрат нафтопродуктів мають відповідати низки критеріїв та вимогам до точності вимірювання. Точність вимірювання пов'язана з невизначеністю вимірювання, яка характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обгрунтовано приписані вимірюваній величини [1].

Отримані результати в дослідження [2], показали, що при проведенні вимірювань витратоміром Коріоліса, таких фізичних величин, як маса, густина та температура виникає перехідний режим роботи засобу вимірювання, при якому сигнал на його виході суттєво змінюється в часі. Це пов'язано з інерційністю засобу вимірювання. Реакція засобу вимірювання, через свої конструктивні особливості, на зміну параметрів потоку, наприклад, швидкість, густина, в'язкість потоку, під час вимірювання супроводжується затримкою в часі, що зумовлює появу динамічної невизначеності. Крім того, в цифрових засобах вимірювання спостерігається запізнення сигналу, обумовлене часом його перетворення в цифровий код. Тому, рівняння перетворення засобу вимірювання має бути сформовано для динамічного режиму вимірювання, яке адекватно описувало б залежність між вхідною та вихідною величинами, у вигляді диференційного рівняння. А також, необхідно розрахувати основні динамічні характеристики для кожного вимірювального каналу.

Основними динамічними характеристиками є:

- диференційне рівняння;
- імпульсна характеристика;
- перехідна характеристика;
- передавальна функція;
- сукупність амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик.

Динамічну невизначеність вихідного сигналу певного вимірювального каналу витратоміру з відомою частотною характеристикою, можна виразити через квадратний корінь з інтеграла від добутку квадрата модуля частотної характеристики витратоміру і квадрата спектральної функції вхідного сигналу в широкому діапазоні частот [3]

де,  $|S(j\omega)|$  - модуль частотної характеристики вимірювального каналу, що використовується при динамічних вимірюваннях;

$X(j\omega)$  – спектральна функція вхідного сигналу, яка пов'язана з вхідною функцією часу  $x(t)$  виразом Лапласа.

При динамічних вимірюваннях дискретних в часі сигналів рівняння для розрахунку динамічної невизначеності, має вигляд:

$$U_d = \sqrt{\frac{T_a}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(nT_a) e^{-j\frac{4\pi nk}{N}} A^2\left(k \frac{2\pi}{NT_a}\right)} \quad (2)$$

де,  $A\left(k \frac{2\pi}{NT_a}\right) = A(\omega) = |S(j\omega)|$  – амплітудно-частотна характеристика або модуль частотної характеристики, вимірювального каналу;

$\Delta\omega = \frac{2\pi}{NT_a}$  – відстань розташування дискретних значень частоти;

$T_a$  – час дискретизації;

$N$  – кількість вибірок;

$NT_a$  – сумарний час спостереження.

При вимірюванні фізичних величин, кількісне значення яких змінюється значно змінюється за коротких проміжків часу, необхідно враховувати динамічну невизначеність кожного вимірювального каналу. Ця невизначеність обумовлена неідеальністю динамічних властивостей вимірювальних каналів і пов'язана із ненульовим часом відгуку на зміну вхідного величини.

Алгоритм вираження невизначеності відновлення сигналів при динамічних вимірюваннях, наступний [1]:

- отримати вихідні відліки вимірювальних каналів з відомою невизначеністю  $u[y(t)]$ , де  $y(t)$ - вихідний сигнал вимірювального перетворювача;
- експериментально визначити амплітудно-частотну характеристику кожного вимірювального каналу і оцінити невизначеність  $u[A(\omega)]$ ;
- обчислити вхідний сигнал кожного вимірювального каналу, (задавшись необхідним рівнем методичної невизначеності, для цього визначивши необхідне число гармонік  $K$ ), за виразом:

$$x(t_i) = \frac{T_a \sum_{i=1}^N y(t_i)}{A(0)} + \sum_{k=1}^K \frac{2T_a \sum_{i=1}^N [y(t_i)]}{A(k\omega)} \cos^2(k\omega t); \quad (3)$$

- розрахувати інструментальну невизначеність відновлення сигналу кожного вимірювального каналу.

## Висновки

Описаний вище метод оцінки невизначеності результатів динамічних вимірювань вимірювальних каналів витратоміру Коріоліса дозволяє розрахувати кількісні значення невизначеності. Що, в свою чергу, дозволить оцінити вплив зміни параметрів потоку, що вимірюється на точність вимірювання витратоміром Коріоліса та, надалі, розробити методи контролю та способи покращення точності витратоміру Коріоліса при динамічних вимірюваннях.

### Список літератури

1. О.М.Васілевський, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський. Основи теорії невизначеності вимірювань: навчальний посібник – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с
2. О.М. Васілевський, Д.М. Компанець. Вплив хаотичної зміни швидкості потоку нафтопродуктів на точність вимірювання витратоміру Коріоліса – Вінниця: Вісник Вінницького політехнічного інституту.№ 1, 2021, 14-20 с.
3. O. Vasilevskiy, et al., “A new approach to assessing the dynamic uncertainty of measuring devices,” *Proc., Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, vol. 10808, 108082E, 2018.