

УДК 681.121.89.082.4

В.І. Роман канд. техн. наук, Ф.Д. Матіко докт. техн. наук, доц.
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ SALAMI

V.I. Roman Ph.D., F.D. Matiko Dr., Assoc. Prof.

STUDY OF ULTRASONIC FLOWMETERS ERRORS USING FUNCTIONS SALAMI

Багатоканальні ультразвукові витратоміри (УЗВ) часто встановлюють на вимірювальних трубопроводах (ВТ), які містять різнотипні місцеві опори (МО) – заслінки, коліна, групи колін тощо. При цьому кожен МО спотворює структуру потоку (профіль швидкості), що проходить через нього. В результаті УЗВ, встановлений на невеликій відстані після МО (за рухом потоку), вимірює витрату з похибкою $\delta_{D(u)}$, яка зумовлена спотворенням структури потоку. Похибка $\delta_{D(u)}$ залежить від типу і розташування МО, а також від конструкції (кількості АК) УЗВ і може досягати до 10 % [1]. Для зменшення значення похибки $\delta_{D(u)}$ є кілька способів [2]: 1) визначення достатньої мінімальної відстані між МО і УЗВ; 2) удосконалення методів визначення координат розташування та вагових коефіцієнтів АК УЗВ; 3) удосконалення схеми розташування акустичних каналів (АК) УЗВ (збільшення їх кількості).

Для застосування перерахованих способів необхідно мати розподіл швидкості потоку в поперечному перерізі ВТ. За умови неспотвореної структури потоку можна застосувати відомі аналітичні залежності (закони розподілу) які описують значення швидкості потоку в точці в залежності від радіального розміщення цієї точки в перерізі ВТ [3]. Для отримання закону розподілу в умовах спотвореної структури потоку у цій роботі пропонується застосовувати аналітичні моделі спотворень структури потоку у вигляді функцій швидкості Salami. Функції швидкості професора L.A. Salami розроблені ним на базі експериментальних досліджень [3], виконаних в метрологічному центрі Великобританії. Суть розроблених функцій швидкості полягає в наступному:

1. Будь-який спотворений профіль швидкості потоку в циліндричному ВТ аналітично можна описати як суму двох компонент – основної (симетричної, u_{sym}) та поліноміальної (асиметричної, u_{asym}) $u_{SAL} = u_{sym} + u_{asym}$.

2. Симетрична складова швидкості u_{sym} при турбулентному режимі течії може бути описана за степеневим законом $u_{sym} = (1-r)^{(1/n)}$, де n – показник степені, як один з чинників, що характеризують профілі швидкості потоків і залежить від числа Рейнольдса а r – радіальна координата точки в поперечному перерізі ВТ.

3. Поліноміальна компонента швидкості u_{asym} може бути описана виразом $u_{asym} = mr(1-r)^{(1/n)}f(\theta)$, де m – чинник форми профілю а f – певна модельна функція.

4. Кожна з функцій швидкості Salami (загальна кількість 24) описує кінематичну структур потоку після найпоширеніших МО (коліно, подвійне коліно, завихрювач та ін.) [3]. Значення швидкості та координати точки отримують у відносних одиницях за допомогою перерахунків u/u_{max} та r/R .

Рівняння об'ємної витрати багатоканального УЗВ з хордовим розташуванням АК q_{USM} можна записати за допомогою наступної формули [1, 2]

$$q_{USM} = \pi R^2 \sum_{i=1}^N \left(\frac{2\sqrt{R^2 - x(i)^2}}{\pi R} \right) w(i)u_h(i), \quad (1)$$

де R – внутрішній радіус ВТ на якому встановлений УЗВ; $x(i)$, $w(i)$ – координата розташування та ваговий коефіцієнта i -го АК УЗВ; u_h – середня швидкість потоку вздовж i -го хордового АК УЗВ; N – кількість хордових АК УЗВ.

Для вибору x та w в ультразвуковій практиці часто застосовують класичні числові методи інтегрування [2]. Швидкість потоку вздовж i -го хордового АК УЗВ розраховуємо за формулою [4]

$$u_h = \frac{1}{T_h} \left[\int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} u_{SAL} \left(\sqrt{x^2+l^2}, \theta + \arctg \frac{l}{x} \right) dl + \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} u_{SAL} \left(\sqrt{x^2+l^2}, \theta - \arctg \frac{l}{x} \right) dl \right], \quad (2)$$

де u_{SAL} – функція швидкості Salami; $T_h = 2\sqrt{R^2-x^2}$ – ширина площини в якій проходить хордовий АК УЗВ; l – довжина хордового АК УЗВ; θ – кут повороту площини в якій проходить хордовий АК УЗВ відносно горизонтальної площини.

Оскільки $x(i)$ та $w(i)$ визначені для профілю швидкості потоку, який відрізняється від профілю функцій Salami, то результати обчислення витрати за рівнянням (1) відрізняються від витрати, обчисленої прямим інтегруванням профілю функції Salami. Нами пропонується виконувати уточнення рівняння (1) введенням в це рівняння

коефіцієнта $k_{cal} = q/q_{USM} = 2\pi \cdot \int_0^1 r(1-r)^{\frac{1}{n}} dr / q_{USM}$, де q – значення об'ємної витрати

обчислене за середньою швидкістю потоку в поперечному перерізі ВТ, що отримана прямим інтегруванням степеневого закону розподілу (u_{sym}); q_{USM} – витрата визначена за формулою (1) в якій u_h визначена за (2) при умові $u_{asym} = 0$.

Уточнене таким чином рівняння (1) пропонується застосовувати для дослідження похибки УЗВ $\delta_{D(u)} = 100 \cdot (q_{USM} - q_{SAL}) / q_{SAL}$, зумовленої спотворенням структури потоку.

Значення витрати q_{SAL} обчислюється за функцією Salami за формулою [4]

$$q_{SAL} = \int_0^{2\pi} \left(\int_0^1 r \cdot u_{SAL}(r, \theta) dr \right) d\theta. \quad (3)$$

Вплив спотворень структури потоку на покази УЗВ буде вважатись незначним (допустимим) за умови $|\delta_{D(u)}| \leq 0,3\%$. Доцільність вибору числа АК УЗВ слід перевіряти за умовою $(|\delta_{D(u)}(N)| - |\delta_{D(u)}(N+1)|) \leq 0,3\%$.

Застосування запропонованого способу дослідження похибки УЗВ із застосуванням функцій Salami дає можливість дослідити метрологічні характеристики нових конструкцій УЗВ на стадії їх проектування без застосування дороговартісних експериментальних установок та стендів.

Література

1. Installation effects on multi-path ultrasonic flow meters : technical report EUR 16175 EN / Research & Engineering Centre BP International Ltd. ; editor M. B. Wilson. – Sunbury (UK), 1995. – 81 pages.
2. Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement : ISO 17089-1 : 2010. – Geneva (Switzerland) : International Organization for Standardization (ISO), 2010. – 100 pages.
3. Salami L. A. Application of a computer to asymmetric flow measurement in circular pipes / L. A. Salami // Trans. Inst. Meas. Control. – 1984. – Volume 6. – Pages 197–206.
4. Маслобоев Ю.П. Характеризация возмущенных потоков на основе данных ультразвуковых измерений с использованием набора базисных функций Салами / Ю.П. Маслобоев, С.В. Ручкин, М.Н. Рычагов, С.А. Терещенко // Труды Нижегородской акустической научной сессии : ННГУ. – 2002. – С. 388-390.