

УДК 681.121

*В. В. Василюк, студент гр. ПМ-61*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ МАСОВОЇ ВИТРАТИ

**Анотація.** У статті розглянуто методи вимірювання масової витрати, що отримали найбільшого поширення у ракетній і авіаційній техніці, а також для вимірювання витрати нафтогазових потоків. Вивчено переваги і недоліки масових витратомірів прямої дії. Проведений порівняльний аналіз метрологічних характеристик витратомірів, що реалізують вихровий, силовий (вібраційний кориолісовий) і тепловий (калориметричний, термоанемометричний) методи вимірювання дозволив виявити їх індивідуальні експлуатаційні особливості.

**Ключові слова:** масова витрата, метод вимірювання, витратомір.

### ВСТУП

Основним фізичним параметром, що визначає оптимальні режими роботи об'єктів і якість процесів у системах автоматичного регулювання теплоенергетичних установок, різних хімічних процесах, ракетній і авіаційній техніці є масова витрата.

Методи вимірювання масової витрати умовно можна поділити на три групи [1, 2]:

- створення вимірювальних приладів здатних вимірювати безпосередньо масову витрату;
- застосування об'ємних витратомірів у комплексі з перетворювачами густини і обчислювачами;
- створення комбінованих витратомірів, що вимірюють масову витрату опосередкованими методами шляхом автоматичної обробки результатів прямих вимірювань пов'язаних з нею параметрів.

### ПРИНЦИПОВІ ОСОБЛИВОСТІ МАСОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Найбільш відпрацьованими і застосовуваними є масові витратоміри прямої дії, що відносяться до силового і теплового класів [1, 2].

У силових витратомірах потік набуває прискорення під дією силового збурення, залежного від масової витрати. Вимірюється будь-який параметр, що характеризує ступінь цього збурення або його ефекту.

Прискорення потоку виникає в процесі зміни його первинного руху. Залежно від характеру цієї зміни і прискорення, що надається при цьому, силові витратоміри поділяють на: кориолісові; гіроскопічні; турбосилові [2].

Найбільшого поширення серед них отримали вібраційні кориолісові витратоміри.

Кориолісовими називають витратоміри, в перетворювачах яких під впливом силового збурення виникає кориолісове прискорення, залежне від витрати [2].

До вібраційних відносяться кориолісові витратоміри, в яких рухомий елемент перетворювача витрати не обертається, а лише здійснює неперервні коливання з постійною амплітудою або з амплітудою, що періодично згасає, під впливом зовнішнього силового збурення [2].

Перевагами кориолісових витратомірів є: висока точність вимірювань; незалежність показань від в'язкості вимірюваного середовища; несуттєвий вплив

профілю швидкості вимірюваного потоку на результати вимірювань; тривалий термін експлуатації; відсутність жорстких вимог до довжини обов'язкових прямих ділянок до і після приладу; простота обслуговування [1, 2].

Недоліками таких приладів є гідравлічні втрати, пов'язані з особливостями конструкції.

Теплові витратоміри базуються на вимірюванні залежного від витрати ефекту теплового збурення на потік або тіло, яке контактує з ним. Такі прилади призначені для вимірювання витрати газу та рідше для вимірювання витрати рідини [2].

Існує багато різновидів теплових витратомірів, що розрізняються способом нагріву, розташуванням нагрівача (зовні або всередині трубопроводу) і характером функціональної залежності між витратою і вимірюваним сигналом.

За характером теплової взаємодії з потоком такі вимірювачі витрати поділяються на: калориметричні, термоконвективні і термоанемометричні [2].

Калориметричні витратоміри базуються на залежності від потужності нагріву середньо масової різниці температур потоку. Перевагами цього класу витратомірів є досить висока точність, що оцінюється (в умовах індивідуального калібрування) приведеною похибкою  $\pm(0,5-1,0)\%$ , широким діапазоном вимірювань, відносно малою інерційністю [1, 2].

Їх недоліками є складність вимірювальних схем і нестабільність характеристик, пов'язана з корозією приймальних пристроїв і осадженням на них різних частинок, які переносяться потоком [1].

У термоконвективних теплових витратомірах ні нагрівач, ні термоперетворювач не вводяться всередину трубопроводу, а розташовуються зовні. Передача тепла від нагрівача до вимірюваної речовини здійснюється через стінку труби за рахунок конвекції [2].

Перевагами таких вимірювачів витрати є відсутність контакту з вимірюваною речовиною; широкий діапазон швидкостей; висока швидкодія, що дозволяє вимірювати швидкості, змінні з частотою в декілька тисяч герц; підвищена експлуатаційна надійність.

Недоліками приладів у цьому випадку є значна інерційність; крихкість первинних перетворювачів внаслідок динамічних навантажень і високої температури нагрівання [2].

*Принцип дії термоанемометрів* базується на залежності між втратою тепла тіла, що неперервно нагрівається, та швидкістю вимірюваного середовища, в якому це тіло знаходиться.

Вони застосовуються для вимірювання витрати за відомого співвідношення між місцевою і середньою швидкостями потоку, або коли остання безпосередньо вимірюється за допомогою термоанемометра. Крім того, існують конструкції термоанемометрів, спеціально призначених для вимірювання витрати [2].

Перевагами термоанемометрів є широкий діапазон вимірюваних швидкостей і висока швидкодія [2].

Основним їх недоліком є істотний вплив на показання температури, тиску і різних теплофізичних параметрів вимірюваного середовища [1, 2].

Для виявлення особливостей застосування масових витратомірів, що реалізують різні методи вимірювання, вивчено їх метрологічні і технічні характеристики (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристики витратомірів

Параметр	EMIS-MASS 260 [3]	EMIS-VIHR 200 [4]	VA 420 [5]	Thermatel® Model TA2 [6]
Метод вимірювання	Кориолісо- вий	Вихровий	Тепловий	
			Калориметри- чний	Термоанемомет- ричний
Номінальний діаметр (DN), мм	50	50	50	50
Робоче середовище	Рідина, газ	Рідина, газ	Газ	Газ
Мінімальна витрата $Q_{\min}$ , кг/год	250 (для рідини і газу)	800 (для рідини); 12 (для газу)	2,4 (для газу)	14,5 (для газу)
Максимальна витрата $Q_{\max}$ , кг/год	55 000 (для рідини); 1 000 (для газу);	26 000 (для рідини); 240 (для газу);	1 100 (для газу)	1450 (для газу)
Діапазон вимірювання	1:220 (рідина) 1:4 (газ)	1:32 (рідина) 1:20 (газ)	1:450	1:100
Похибка	Залежно від класу точності можуть бути: $\pm 0,15\%$ , $\pm 0,25\%$ , $\pm 0,5\%$	$\pm 2,0\%$ (для рідини) і $\pm 2,6\%$ (для газів)	$\pm 1,5\%$ від показання + $0,05\%$ від повного значення від каліброваної шкали	$\pm 1\%$ від показання + $0,5\%$ від повного значення від відкаліброваної шкали
Втрати тиску, МПа	0,13	0,02	-	-
Робочий тиск, МПа	15	25	1,6	10,5
Температура робочого середовища, °C	-50 ÷ +350	-60 ÷ +460	-30 ÷ +80	-45 ÷ +200
Прямі ділянки до/після	0DN/0DN	10DN/5DN	15DN/5DN	8DN/5DN

## ВИСНОВКИ

У статті розглянуто методи вимірювання масової витрати і особливості їх застосування. Порівняння метрологічних характеристик вимірювачів масової витрати дозволило виявити наступне:

- силовий і вихровий методи вимірювання дозволяють вимірювати масову витрату як рідин, так і газів;
- найбільшого розповсюдження серед силових витратомірів отримали вібраційні кориолісові витратоміри, в яких рухомий елемент первинного

перетворювача здійснює неперервні коливання з постійною амплітудою або з амплітудою, що періодично згасає;

- найточнішими серед розглянутих приладів є кориолісові витратоміри (їх похибка може сягати  $\pm 0,15\%$ );
- найдовших прямих ділянок при встановленні потребують калориметричні витратоміри;
- кориолісові витратоміри не потребують прямих ділянок;
- найбільший робочий тиск забезпечують вихрові витратоміри;
- найменша вимірювана витрата у калориметричного витратоміра газу;
- найбільшу максимальну витрату мають кориолісовий витратомір для рідини і термоанемометричний – для газу.

Результати порівняння технічних характеристик масових витратомірів різних класів дозволили виявити індивідуальні експлуатаційні особливості кожного методу вимірювання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Хансуваров К. И., Цейтлин В. Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: Учебное пособие. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 287 с.: ил.
- [2] Кремлевский П. П., Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – 4е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 701 с.: ил. – ISBN 5-217-00412-6
- [3] Расходомер массовый «ЭМИС-МАСС 260». [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [https://emis-kip.ru/pics/uploads/MA\\_em260\\_RU\\_2009\\_.pdf](https://emis-kip.ru/pics/uploads/MA_em260_RU_2009_.pdf) – Назва з екрану.
- [4] Vortex Flow meters EMIS-VIHR 200 (EV-200). [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [https://emis-meter.com/upload/iblock/ff7/EV200\\_205-PPD.-User-Manual.pdf](https://emis-meter.com/upload/iblock/ff7/EV200_205-PPD.-User-Manual.pdf) – Назва з екрану.
- [5] VA 420 Расходомер с дисплеем, 4 ... 20 А и импульсный вход. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [https://www.cs-instruments.com/fileadmin/cs-data/Bedienungsanleitungen/IMs%20RU/VA420\\_RUS\\_V4.02\\_2010\\_manua.pdf](https://www.cs-instruments.com/fileadmin/cs-data/Bedienungsanleitungen/IMs%20RU/VA420_RUS_V4.02_2010_manua.pdf) – Назва з екрану.
- [6] THERMATEL® Усовершенствованный массовый расходомер модели TA2. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [https://www.magnetrol.com/sites/default/files/downloads/ru54-631-2\\_e-ta2.pdf](https://www.magnetrol.com/sites/default/files/downloads/ru54-631-2_e-ta2.pdf) – Назва з екрану.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А. В.*