

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 8438-2:2017**

**ISO 17089-2:2012**

Xuất bản lần 1

**ĐO DÒNG LƯU CHẤT TRONG ỐNG DẪN KÍN -  
ĐỒNG HỒ SIÊU ÂM ĐO KHÍ - PHẦN 2: ĐỒNG HỒ  
CHO ỨNG DỤNG CÔNG NGHIỆP**

*Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic meters for gas -  
Part 2: Meters for industrial applications*

**HÀ NỘI - 2017**

**Mục lục**

	Trang
Lời nói đầu .....	5
Lời giới thiệu .....	6
1 Phạm vi áp dụng .....	7
2 Tài liệu viện dẫn .....	7
3 Thuật ngữ, định nghĩa và ký hiệu .....	7
3.1 Thuật ngữ và định nghĩa .....	7
3.2 Ký hiệu và các chỉ số .....	12
3.3 Các từ viết tắt .....	14
4 Nguyên lý đo .....	14
4.1 Đồng hồ siêu âm thời gian chuyển tiếp .....	14
4.2 Đồng hồ đo khí đốt hoặc khí thải .....	16
4.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến tính năng .....	16
4.4 Mô tả các loại chung .....	17
4.5 Tác động của áp suất và nhiệt độ lên hình dạng của đồng hồ .....	21
4.6 Xác định độ không đảm bảo đo của USM .....	22
4.7 Phân loại USM .....	22
5 Đặc tính của đồng hồ .....	23
5.1 Chỉ số tính năng .....	23
5.2 Điều kiện vận hành .....	23
5.3 Thân đồng hồ, vật liệu và cấu trúc .....	24
5.4 Đầu nối .....	24
5.5 Kích thước .....	24
5.6 Cổng siêu âm .....	24
5.7 Vòi áp suất .....	25
5.8 Trang bị chống lẩn .....	25
5.9 Thiết bị ổn định dòng .....	25

5.10	Ghi nhãn.....	25
5.11	Bộ biến đổi .....	25
5.12	Thiết bị điện tử .....	26
5.13	Phần mềm hệ thống và phần mềm máy tính .....	27
5.14	Chức năng kiểm tra và xác nhận .....	27
5.15	Yêu cầu vận hành và lắp đặt .....	28
5.16	Yêu cầu lắp đặt và xem xét biên dạng dòng chảy.....	30
5.17	Xử lý và vận chuyển.....	32
6	Thử nghiệm và hiệu chuẩn.....	32
6.1	Thử nghiệm và hiệu chuẩn dòng chảy.....	32
6.2	Kiểm tra tĩnh rò rỉ và áp suất.....	32
6.3	Các chiều đo .....	33
6.4	Thử nghiệm động (thử nghiệm và hiệu chỉnh, điều chỉnh theo điều kiện dòng chảy).....	35
6.5	Chẩn đoán đồng hồ.....	37
6.6	Xác nhận hiện trường.....	38
	Phụ lục A (Quy định) – Chú ý ứng dụng đặc biệt về đặc tính van và tạp âm .....	40
	Thu mục tài liệu tham khảo .....	48

## Lời nói đầu

TCVN 8438-2:2017 hoàn toàn tương đương với ISO 17089-2:2012

TCVN 8438-2:2017 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 30 *Đo lưu lượng lưu chất trong ống dẫn kín* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 8438 (ISO 17089) *Đo dòng lưu chất trong ống dẫn kín – Đồng hồ siêu âm đo khí* bao gồm các phần sau:

- TCVN 8438-1:2017 (ISO 17089-1:2010), Phần 1: Đồng hồ dùng cho giao nhận thương mại và phân phối.
- TCVN 8438-2:2017 (ISO 17089-2:2012), Phần 2: Đồng hồ cho các ứng dụng công nghiệp.

## Lời giới thiệu

Các đồng hồ siêu âm (USMs) đo lưu lượng khí đã thâm nhập thị trường các đồng hồ đo từ năm 2000 và đã trở thành khái niệm lưu lượng kế chủ yếu để đo lường trong giao nhận thương mại và phân phối. Hơn nữa, với khả năng lặp lại và độ chính xác cao, công nghệ siêu âm có các tính năng vốn có như: hao hụt áp suất không đáng kể, phạm vi làm việc cao và khả năng xử lý các dòng tạo xung.

Đồng hồ siêu âm có thể cung cấp thông tin chẩn đoán mở rộng để thông qua đó, có thể kiểm tra xác nhận không chỉ tính năng của đồng hồ siêu âm mà còn cả một số thành phần khác trong hệ thống, chẳng hạn như sắc ký khí và bộ truyền áp suất và nhiệt độ. Do khả năng chẩn đoán mở rộng, tiêu chuẩn này tán thành việc bổ sung và sử dụng chẩn đoán tự động thay vì kiểm tra chất lượng cần nhiều phép đo.

Tiêu chuẩn này tập trung vào đồng hồ cho các ứng dụng công nghiệp (loại 3 và loại 4). Đồng hồ cho phép đo giao nhận thương mại và phân phối là chủ đề của TCVN 8438-1(ISO 17089-1).

Các hệ số điển hình của sơ đồ phân loại được trình bày dưới đây:

Cấp	Ứng dụng điển hình	Độ không đảm bảo đo điển hình với độ tin cậy 95% (lưu lượng thể tích) <sup>a</sup>	Tham khảo
1	Giao nhận thương mại	$\pm 0,7\%$	TCVN 8438-1 (ISO 17089-1)
2	Phân phối	$\pm 1,5\%$	TCVN 8438-1 (ISO 17089-1)
3	Dịch vụ và quá trình	$\pm 1,5\%$ đến $5\%$ đối với $q_v > q_{v,t}$ <sup>b</sup>	Tiêu chuẩn này
4	Khí đốt và khí thải	$\pm 5\%$ đến $10\%$ đối với $q_v > q_{v,t}$	Tiêu chuẩn này

<sup>a</sup> Tính năng của đồng hồ, bao gồm độ không đảm bảo đo tổng của đồng hồ, độ tái lập, độ phân giải và sai số định-dinh lớn nhất, phụ thuộc vào một số yếu tố gồm đường kính trong của ống, độ dài đường truyền âm, số đường truyền âm, thành phần khí và tốc độ âm cũng như thời gian lặp lại phép đo.

<sup>b</sup> Với điều kiện dòng chảy cụ thể hoặc khi sử dụng các đồng hồ nhiều đường truyền âm, có thể đạt được độ không đảm bảo thấp hơn.

Các lưu ý với ứng dụng đặc biệt được trình bày trong Điều 7 cũng như các thông tin trong ngoặc đơn là thông tin đầy đủ.

## Đo dòng lưu chất trong ống dẫn kín - Đồng hồ siêu âm đo khí

### Phần 2: Đồng hồ cho các ứng dụng công nghiệp

*Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas*

*Part 2: Meter for industrial applications*

#### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu và khuyến nghị cho đồng hồ siêu âm đo khí (USMs), sử dụng các tín hiệu âm để đo lưu lượng pha thể khí trong ống dẫn kín.

Tiêu chuẩn này có thể áp dụng cho các USMs kiểu thời gian chuyển tiếp và tập trung vào các phép đo lưu lượng trong công nghiệp, bao gồm cả các đồng hồ loại thân có vỏ cứng như các loại chỉ có bộ biến đổi lắp tại hiện trường đo.

Không có giới hạn về kích thước của đồng hồ. Tiêu chuẩn này có thể được áp dụng cho hầu hết các loại khí chẳng hạn như không giới hạn đối với không khí, khí hydrocacbon và hơi nước.

Tiêu chuẩn này quy định tính năng, việc hiệu chuẩn (khi được yêu cầu) và các đặc trưng đầu ra của USM để đo lưu lượng khí và giải quyết các điều kiện lắp đặt.

CHÚ THÍCH: Có thể áp dụng các quy định quốc gia hoặc quy định khác mà có thể nghiêm ngặt hơn tiêu chuẩn này.

#### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi (nếu có).

TCVN 8112 (ISO 4006), *Đo lưu lượng lưu chất trong ống dẫn kín – Từ vựng và ký hiệu*

#### 3 Thuật ngữ, định nghĩa và ký hiệu

##### 3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

###### 3.1.1 Quy định chung

Tiêu chuẩn này, áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong TCVN 8112 (ISO 4006) và các thuật ngữ định nghĩa sau:

3.1.2 Các đại lượng (quantities)

3.1.2.1

Lưu lượng thể tích (volume flow rate)

$q_v$

$$q_v = \frac{dv}{dt}$$

Trong đó

$v$  là thể tích

$t$  là thời gian

CHÚ THÍCH: Theo 4-30 của ISO 80000-4:2006,<sup>[8]</sup>

3.1.2.1.1

Lưu lượng thực tế (actual flow rate)

Thể tích của lưu chất trên bằng thời gian được đo tại ở các điều kiện đo.

3.1.2.1.2

Tốc độ dòng hiệu chỉnh (corrected flow rate)

Khối lượng dòng chảy theo thời gian được đo ở điều kiện đo, nhưng đã được chuyển đổi tương đương ở điều kiện cơ sở

3.1.2.2

Hiển thị (indication)

Lưu lượng được chỉ thị trên đồng hồ

3.1.2.3

Phạm vi làm việc (working range)

Tập hợp các đại lượng cùng loại có thể đo được bằng phương tiện đo hoặc hệ thống đo đã cho với độ không đảm bảo đo thiết bị cụ thể, trong những điều kiện xác định.

CHÚ THÍCH 1: Theo TCVN 6165:2009 (ISO/IEC GUIDE 99:2007) <sup>[10]</sup> 4.7, 'khoảng làm việc'

CHÚ THÍCH 2: Trong tiêu chuẩn này, tập hợp các đại lượng cùng loại" là lưu lượng thể tích có giá trị giới hạn giữa lưu lượng tối đa,  $q_{v,max}$ , và lưu lượng tối thiểu,  $q_{v,min}$ , "phương tiện đo đã cho" là một đồng hồ đo.

CHÚ THÍCH 3: Các thuật ngữ "phạm vi đo khả dụng" và "tỷ số lưu lượng" thường có thể thấy trong bảng thông số của đồng hồ lưu lượng trong mối quan hệ với phạm vi làm việc của đồng hồ. Các thuật ngữ này đôi khi được sử dụng thay thế cho nhau mặc dù ý nghĩa chính xác của chúng khác nhau và có thể không cùng nghĩa là phạm vi làm việc. Ví dụ, có thể tìm được một giới hạn lưu lượng kế xác định giới hạn mềm dẻo từ lưu lượng đo được cao nhất chia cho lưu lượng đo được thấp nhất (biểu diễn lưu lượng theo thuật ngữ vận tốc dòng)

**3.1.2.4**

**Áp suất đo tại đồng hồ (metering pressure)**

$p$

Áp suất tuyệt đối của khí trong đồng hồ đo tại điều kiện dòng liên quan đến thể tích khí được hiển thị.

**3.1.2.5**

**Vận tốc trung bình (average velocity)**

$v$

Lưu lượng thể tích chia cho diện tích mặt cắt ngang

**3.1.3 Thiết kế đồng hồ (meter design)****3.1.3.1**

**Thân đồng hồ (meter body)**

Cấu trúc chịu áp của đồng hồ

**3.1.3.2**

**Đường truyền âm (acoustic path)**

Đường truyền của sóng âm giữa một cặp chuyển đổi siêu âm.

**3.1.3.3**

**Đường trục (axial path)**

Đường truyền của sóng âm hoàn toàn theo hướng của trục ống dẫn chính. Xem Hình 1

CHÚ THÍCH: Đường trục này có thể trùng hoặc song song với đường tâm hoặc trục dài của ống dẫn

Xem Hình 1



**Hình 1 – Đường trục**

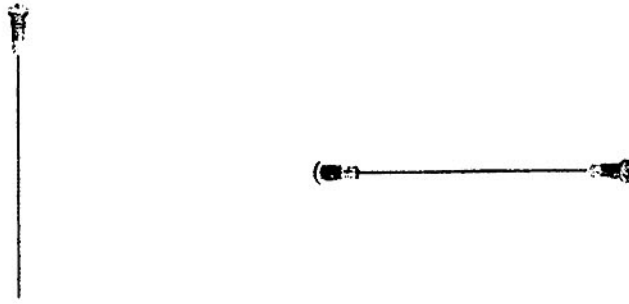
**3.1.3.4**

**Đường xuyên tâm (diametrical path)**

Đường truyền âm nhờ đó sóng âm di chuyển qua đường tâm hoặc trục dài của ống dẫn



Xem Hình 2.



Hình 2 – Đường xuyên tâm

### 3.1.3.5

#### Đường dây cung (chordal path)

Đường truyền âm nhờ đó sóng âm di chuyển song song với đường xuyên tâm.

Xem hình 3.



Hình 3 – Đường dây cung

### 3.1.4 Điều kiện nhiệt động học (thermodynamic conditions)

#### 3.1.4.1

##### Điều kiện đo (metering conditions)

Các điều kiện của lưu chất trong đó thể tích của lưu chất được đo tại điểm đo.

CHÚ THÍCH 1: Các điều kiện đo bao gồm thành phần khí, nhiệt độ, và áp suất còn được gọi là các điều kiện không được điều chỉnh.

CHÚ THÍCH 2: Theo 3.1.6 của TCVN 8115:2009 (ISO 9951:1993),[5].

**3.1.4.2****Điều kiện cơ bản (base conditions)**

Điều kiện mà tại đó thể tích khí đo được của lưu chất được quy đổi

CHÚ THÍCH 1: Các điều kiện cơ bản bao gồm nhiệt độ cơ bản và áp suất cơ sở

CHÚ THÍCH 2: Theo 3.1.7 của TCVN 8115:2009 (ISO 9951:1993),[5].

CHÚ THÍCH 3: Các lựa chọn được ưu tiên bao gồm điều kiện quy chiếu, điều kiện tiêu chuẩn, điều kiện thông thường.

CHÚ THÍCH 4: Điều kiện đo và điều kiện cơ bản chỉ liên quan đến thể tích của khí được đo hoặc chỉ thị, và không nên nhầm lẫn với điều kiện vận hành được định mức và điều kiện vận hành quy chiếu (xem 4.9 và 4.11 của TCVN 6165:2009 (ISO/IEC GUIDE 99),[10]), những điều kiện này đề cập đến đại lượng ảnh hưởng (xem 2.52 của TCVN 6165:2009 (ISO/IEC GUIDE 99),[10]).

**3.1.4.3****Điều kiện quy định (specified conditions)**

Điều kiện của lưu chất tại đó các thông số kỹ thuật về tính năng của đồng hồ được đưa ra.

CHÚ THÍCH: Theo 3.1.8 của TCVN 8115:2009 (ISO 9951:1993),[5].

**3.1.5 Thống kê (Statistics)****3.1.5.1****Sai số đo (measurement error)****Sai số của phép đo (error of measurement)****Sai số (error)**

Giá trị đại lượng đo được trừ đi giá trị đại lượng quy chiếu

[Xem 2.16 của TCVN 6165:2009 (ISO/IEC GUIDE 99),[10]]

VÍ DỤ: chênh lệch giữa chỉ số đồng được kiểm tra và chỉ số của phép đo quy chiếu.

**3.1.5.2****Đường cong sai số (error curve)**

Sự nối liền của một đường cong (ví dụ đa thức) được làm khớp với tập hợp dữ liệu sai số là hàm của lưu lượng đồng hồ quy chiếu.

**3.1.5.3****Sai số đỉnh – đỉnh lớn nhất (maximum peak-to-peak error)**

Sự chênh lệch lớn nhất giữa hai giá trị sai số bất kỳ.

**3.1.5.4****Độ lặp lại (repeatability)**

Độ chụm đo trong điều kiện tái lập của phép đo.

[Xem 2.21 TCVN 6165:2009 (ISO/IEC Guide 99),<sup>[10]</sup>]

VÍ DỤ: Sự gần nhau giữa một số phép đo liên tiếp đầu ra của đồng hồ kiểm tra đối với cùng một lưu lượng quy chiếu trong cùng một điều kiện đo.

CHÚ THÍCH: Độ lặp lại tương ứng với khoảng tin cậy 95% của sai số

3.1.5.5

**Độ phân giải (resolution)**

Chênh lệch nhỏ nhất giữa các số chỉ của một đồng hồ có thể phân biệt được một cách rõ ràng.

CHÚ THÍCH: Theo 3.28 của TCVN 8780:2011 (ISO 11631:1998)<sup>[6]</sup>.

3.1.5.6

**khoảng lấy mẫu vận tốc (velocity sampling interval)**

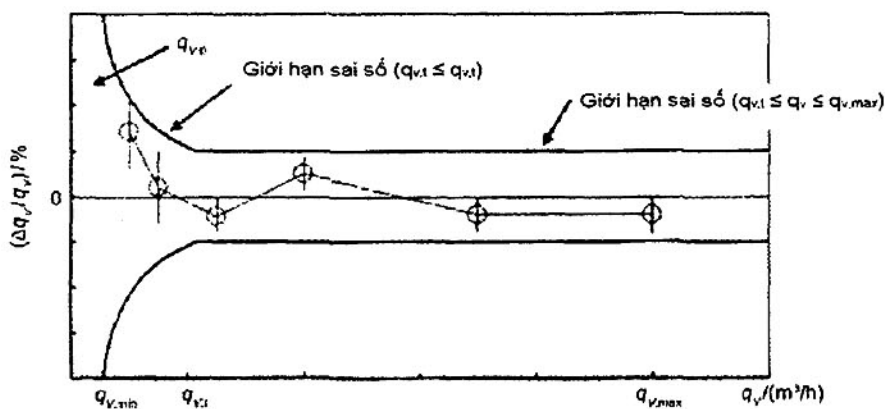
Khoảng thời gian giữa hai phép đo vận tốc khí liên tiếp

3.1.5.7

**Số đọc dòng không (zero flow reading)**

Sai số mốc đo của đồng hồ khi khí ở trạng thái dừng; nghĩa là cả hai giá trị thành phần vận tốc dọc trục và không dọc trục đều là "không".

Hình 4 trình bày lưu lượng trong mỗi quan hệ với các nguồn không đảm bảo.



Hình 4 – Đường cong sai số điển hình là hàm của lưu lượng

3.2 Ký hiệu và chỉ số dưới

Các ký hiệu và chỉ số dưới được sử dụng trong tiêu chuẩn này được đưa ra trong Bảng 1 và 2. Ví dụ sử dụng biểu tượng lưu lượng thể tích được đưa ra trong Bảng 3.

Bảng 1 – Ký hiệu

Đại lượng.	Ký hiệu	Kích thước <sup>a</sup>	Đơn vị SI
Diện tích mặt cắt ngang	A	L <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Tốc độ âm trong lưu chất	c	LT <sup>-1</sup>	m/s
Đường kính bên trong thân đồng hồ	D	L	m
Trọng số (đầu vào trực tiếp)	f <sub>i</sub>	1 <sup>b</sup>	—
Số nguyên (1,2,3, ...)	i,n	1 <sup>b</sup>	—
Hệ số hiệu chuẩn	K	1 <sup>b</sup>	—
Hệ số hiệu chỉnh biên dạng dòng chảy	k <sub>n</sub>	1 <sup>b</sup>	—
Van giảm âm	L <sub>p</sub> ,N,v	1 <sup>b</sup>	dB
Độ dài đường truyền	l <sub>p</sub>	L	m
Hệ số suy giảm	N <sub>d</sub>	1 <sup>b</sup>	—
Hệ số trọng số van	N <sub>v</sub>	1 <sup>b</sup>	—
Số mẫu được sử dụng trong quá trình xử lý tín hiệu.	n <sub>s</sub>	1 <sup>b</sup>	—
Áp suất tuyệt đối	p	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	Pa
Áp suất âm phát	p <sub>n</sub>	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	Pa
Chênh áp	Δp	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	Pa
Lưu lượng khối lượng	q <sub>m</sub>	MT <sup>-1</sup>	kg/s
Lưu lượng thể tích	q <sub>v</sub>	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /s
Thời gian chuyển tiếp	t	T	s
Vận tốc trung bình	v	LT <sup>-1</sup>	m/s
Vận tốc đường truyền âm thứ i	v <sub>i</sub>	LT <sup>-1</sup>	m/s
Hệ số trọng số (giá trị cố định)	w <sub>i</sub>	1 <sup>b</sup>	—
Góc đường truyền	∅	—	rad
Mật độ lưu chất	ρ	ML <sup>-3</sup>	kg/m <sup>3</sup>

<sup>a</sup> M ≡ khối lượng; L ≡ chiều dài; T ≡ thời gian ; ∅ ≡ nhiệt độ.  
<sup>b</sup> Đại lượng không thứ nguyên.

Bảng 2 – Chỉ số dưới

Chỉ số dưới	Ý nghĩa
min	Nhỏ nhất
max	Lớn nhất
t	Chuyển trạng thái

Bảng 3 – Ví dụ về ký hiệu của lưu lượng

Ký hiệu	Ý nghĩa
q <sub>v,max</sub>	Lưu lượng thiết kế thiết kế lớn nhất
q <sub>v,min</sub>	Lưu lượng thiết kế thiết kế nhỏ nhất
q <sub>v,t</sub>	Lưu lượng chuyển tiếp để xác định các yêu cầu về độ chính xác

### 3.3 Các từ viết tắt

ES	Hệ thống điện tử
FAT	Thử nghiệm chấp nhận tại nhà máy
FC	Bộ ổn định dòng
MSOS	Tốc độ âm đo được
SNR	Tỷ lệ tín hiệu nhiễu
SOS	Tốc độ âm
TSOS	Tốc độ âm lý thuyết
USM	Đồng hồ lưu lượng siêu âm
USMP	Hệ thống đồng hồ lưu lượng siêu âm bao gồm, ống đầu nguồn, thiết bị ổn dòng và đồng hồ nhiệt độ hai chiều

## 4 Nguyên lý đo

### 4.1 Đồng hồ siêu âm thời gian chuyển tiếp

Hình 5 mô tả sự bố trí hệ thống cơ bản để giải thích nguyên lý thời gian chuyển tiếp. Một cặp bộ biến đổi có khả năng truyền và nhận xung siêu âm được đặt ở cả hai mặt của ống ở vị trí A và B. Bộ biến đổi truyền và nhận các xung tuần tự. Dưới điều kiện dòng "không", thời gian chuyển tiếp xung siêu âm đi từ A đến B,  $t_{AB}$ , bằng từ B đi đến A,  $t_{BA}$ , và không có sự khác biệt về thời gian.

Khi một dòng chảy được đưa vào, xung siêu âm từ A đến B được hỗ trợ theo dòng chảy, và kết quả là thời gian chuyển tiếp xung giảm đi. Ngoài ra, các xung từ B đến A ngược dòng chảy và làm thời gian chuyển tiếp xung tăng lên. Chênh lệch đo được theo thời gian chuyển tiếp tỷ lệ thuận trực tiếp với vận tốc chiều trục của dòng chảy khí. Với điều kiện đã biết khoảng cách giữa các đầu chuyển đổi, có thể đo được vận tốc chiều trục của chất khí giữa bộ biến đổi A và B. Bỏ qua hiệu ứng bậc hai như quỹ đạo đường cong, thời gian di chuyển của xung âm,  $t_{AB}$  và  $t_{BA}$ , có thể biểu diễn:

$$t_{AB} = \frac{l_p}{(c + v \cos \phi)} \quad (1)$$

và

$$t_{BA} = \frac{l_p}{(c - v \cos \phi)} \quad (2)$$

Trong đó:

$l_p$  là chiều dài đường truyền;

$c$  là tốc độ âm thanh (SOS) trong dòng khí;

$v$  là vận tốc trung bình của chất khí;

$\Phi$  là góc đường truyền.

Công thức (3) cho vận tốc chất khí đo được có thể được lấy theo hiệu của công thức (2) và công thức (1):

$$v = \frac{l_p}{2 \cos \theta} \left( \frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right) \quad (3)$$

Điều quan trọng cần lưu ý là trong công thức (3), điều kiện cho tốc độ âm thanh (SOS) trong khí đã được loại bỏ. Điều này có nghĩa là phép đo vận tốc khí độc lập với tính chất của dòng khí, như áp suất, nhiệt độ, và thành phần chất khí. Tuy nhiên, nếu các bộ biến đổi dùng hoạt động, có thể sẽ có thêm các ảnh hưởng phụ thuộc vào tốc độ âm thanh SOS.

Tương tự như vậy, SOS được lấy ra bằng cách cộng công thức (1) và công thức (2):

$$c = \frac{l_p}{2} \left( \frac{1}{t_{AB}} + \frac{1}{t_{BA}} \right) \quad (4)$$

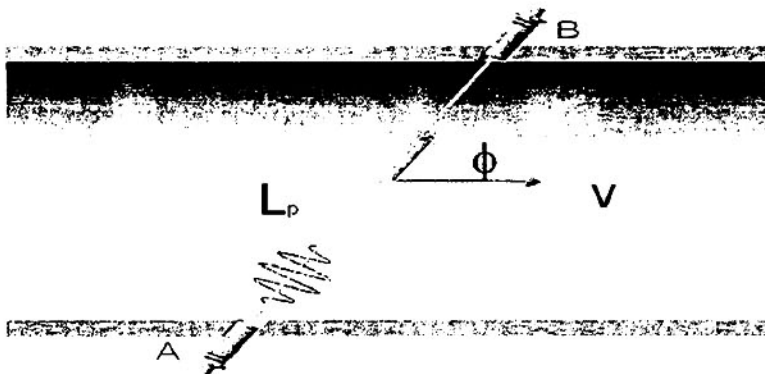
Trong các đồng hồ đa đường truyền, các phép đo vận tốc đường truyền riêng biệt được kết hợp bởi một hàm toán học để cho ra ước lượng vận tốc trung bình trong đường ống:

$$v = f(v_1, \dots, v_n) \quad (5)$$

Trong đó  $n$  là tổng số đường truyền. Do sự biến đổi trong cấu hình đường truyền và cách tiếp cận đường dẫn khác nhau để giải công thức (5), ngay cả với một số đường truyền nhất định, dạng chính xác của  $f(v_1, \dots, v_n)$  có thể khác.

Để đạt được lưu lượng thể tích,  $q_v$ , ước lượng vận tốc trung bình trong đường ống,  $v$ , được nhân với diện tích mặt cắt của phần đo,  $A$ , như sau:

$$q_v = Av \quad (6)$$



Hình 5 – Cấu hình hệ thống cơ bản

## 4.2 Đồng hồ đo khí đốt hoặc khí thải

Ngoài việc các đồng hồ cấp 1, 2 và 3, đồng hồ siêu âm thời gian chuyển tiếp cũng được sử dụng rộng rãi trong phép đo khí cháy hoặc khí thải cấp 4. Mặc dù ứng dụng rất khác biệt so với đồng hồ cấp 1, 2 và 3, nhưng nguyên lý thời gian chuyển tiếp nêu trên vẫn áp dụng được.

Kích thước đường ống được sử dụng cho các hệ thống khí thải hoặc khí cháy trong các nhà máy lọc dầu, nhà máy hóa chất hoặc trên các nền sản xuất có thể có đường kính rất lớn, và các thành phần và điều kiện của quá trình cháy hoặc khí thải thường thay đổi đáng kể giữa điều kiện trạng thái ổn định và bất ổn. Sự thay đổi nhanh về áp suất, nhiệt độ, thành phần chất khí, và vận tốc dòng chảy thường xảy ra do sự xáo trộn thiết bị hoặc quy trình. Người sử dụng cần phải đảm bảo rằng đồng hồ USM được thiết kế cho nhiệm vụ đo khí đốt để đáp ứng các điều kiện như vậy. Việc bổ sung các đầu vào nhiệt độ và áp suất cũng được yêu cầu để cho phép lấy được lưu lượng thể tích tiêu chuẩn và điều này có thể là một yêu cầu cho báo cáo sự phát tán hoặc thậm chí thỏa thuận làm việc. Một yêu cầu nữa cho việc cân bằng khối lượng và kiểm soát hơi phun cho đầu ống xả là khối lượng phun được tính toán. Một số các USM có thể sử dụng các thuật toán độc quyền sử dụng MSOS, áp suất tuyệt đối và nhiệt độ đầu vào của chất khí để suy ra trọng lượng của phân tử trung bình, và khối lượng lưu thông.

Người sử dụng nên kiểm tra với nhà sản xuất đồng hồ USM về thành phần chất khí, nhiệt độ và áp suất gia công tương thích với trọng lượng phân tử bất kỳ hoặc các thuật toán lưu lượng khối liên quan đến phạm vi dự kiến của các biến số của quá trình này.

## 4.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến tính năng

Tính năng của đồng hồ USM phụ thuộc một số yếu tố bên trong và bên ngoài của đồng hồ.

Các yếu tố bên trong (tức là liên quan đến đồng hồ và hiệu chuẩn nó trước khi giao hàng) bao gồm:

- Hình học của thân đồng hồ và các vị trí đầu chuyển đổi siêu âm và độ không đảm bảo đã biết (bao gồm hệ số nhiệt độ và áp suất);
- Độ chính xác và chất lượng của bộ biến đổi và các linh kiện điện tử được sử dụng trong mạch thời gian chuyển tiếp (ví dụ: độ ổn định của xung nhịp điện tử)
- Các kỹ thuật được sử dụng để xác định thời gian chuyển tiếp và tính toán vận tốc trung bình (sau đó xác định độ nhạy của đồng hồ đối với sự thay đổi vận tốc dòng chảy)

Các yếu tố bên ngoài, tức là những yếu tố liên quan đến quá trình và các điều kiện môi trường xung quanh của ứng dụng, bao gồm:

- Biên dạng vận tốc dòng chảy
- Sự phân bố nhiệt độ
- Xung động của dòng chảy
- Nhiều, bao gồm âm và điện từ
- Tạp chất rắn và lỏng
- Nhiệt độ và áp suất
- Sự suy giảm âm theo các chất khí riêng (như là CO<sub>2</sub>)

8) Các hiệu ứng âm theo các chất khí riêng (như là Hydro)

#### 4.4 Mô tả các loại chung

##### 4.4.1 Quy định chung

Mô tả chung về USM cho việc đo chất khí phạm vi đa dạng trong các thiết kế thương mại và tiềm năng trong phát triển mới. Với mục đích mô tả, USM được coi là bao gồm một số thành phần, cụ thể là:

- a) Bộ biến đổi
- b) Thân đồng hồ với cấu hình đường truyền âm
- c) Các cấu kiện điện tử
- d) Bộ xử lý dữ liệu và hiển thị;

##### 4.4.2 Bộ biến đổi

Bộ biến đổi cho chức năng đồng hồ USM là một cặp có các đặc tính âm đã biết. Mỗi bộ biến đổi riêng biệt bao gồm một phần tử âm có mạch điện và một kết cấu cơ khí để hỗ trợ thực hiện việc ghép nối.

Đầu chuyển đổi có thể tiếp xúc với chất lỏng (còn gọi là xâm nhập) như là một phần của thân đồng hồ trong một nhà máy sản xuất USM nhưng cũng có thể được lắp như là một phần bổ sung trên một ống đã có. Ngoài ra, đầu chuyển đổi cũng có thể được kẹp (cũng được gọi là không xâm nhập) với một ống dẫn kín (thường được gọi là: thân đồng hồ, ống ráp nối, ống công nghệ, hoặc ống chính)

- a) Đầu chuyển đổi ướt được tiếp xúc trực tiếp với chất khí và có thể được cung cấp như là một bộ phận không thể tách rời của thân đồng hồ, hoặc như một phần riêng biệt của hợp bộ lắp đặt tại đầu lạnh hoặc nóng, được chế tạo trên một ống thực hiện tại chỗ.
- b) Việc lắp đặt đầu lạnh yêu cầu ống thực hiện không hoạt động, bị cô lập, rỗng và được coi là an toàn cho việc cắt và hàn.
- c) Việc lắp đặt đầu nóng ngược lại được thực hiện trên một ống đang hoạt động và do đó có đầy đủ chất khí xử lý và ở áp suất và/hoặc nhiệt độ khác với môi trường xung quanh và được coi là nguy hiểm. Việc lắp đặt như vậy đòi hỏi một cơ chế chèn bộ chuyển đổiii đặc biệt để đạt được một mối nối kín trong quá trình khai thác lỗ.
- d) Van cách ly cũng được sử dụng trong việc lắp đặt ống, lắp đặt lạnh và nóng để cho phép đầu chuyển đổi được đưa vào hoặc rút ra khi van mở.

Các bộ biến đổi ướt có thể được chèn vào thân đo hoặc ống chính, trong điều kiện áp suất khí quyển hoặc áp suất rất thấp nếu cần thiết. Trong trường hợp này, bộ biến đổi được gọi là xâm nhập ngoài.

Các bộ chuyển đổi ướt cũng có thể bao gồm một bộ đệm cách ly bộ biến đổi từ các phía của quá trình xử lý chất khí mà có thể gây hại cho nó, ví dụ như nhiệt độ thấp hoặc nhiệt độ rất cao và/hoặc áp suất cao. Thiết kế một bộ đệm như vậy thường để duy trì tính toàn vẹn của đường ống trong trường hợp cần phải loại bỏ đầu chuyển đổi, và thậm chí có thể phục vụ cho việc truyền dẫn âm bằng cách đóng vai trò như một ống dẫn sóng.



bộ biến đổi kẹp có thể được làm bằng kim loại hoặc vật liệu tổng hợp và được gắn vào ống bằng bộ ghép kẹp thích hợp. Thành ống là một phần không thể tách rời của lưu lượng kế và đặc tính âm của vật liệu, độ dày, các điều kiện bên trong và bên ngoài cũng như các vị trí của mặt bích cần phải được xem xét. Góc tối đa của đường truyền âm bị giới hạn và chủ yếu được xác định bởi tỉ lệ SOS giữa vật liệu thành ống và chất khí.

Các biểu đồ điển hình của bộ biến đổi ướt, kẹp và bộ đệm được chỉ ra trên hình 6.

Do có phạm vi hoạt động rộng trong công nghiệp, nên không thể thiết kế một kiểu đầu chuyển đổi duy nhất về mặt kỹ thuật và thương mại cho tất cả các tình huống, vì vậy các thiết kế rất nhiều và đa dạng. Theo đó, người sử dụng nên tham khảo ý kiến của nhà sản xuất USM để có lựa chọn đúng đầu chuyển đổi và ứng dụng sử dụng.

#### 4.4.3 Thân đồng hồ và cấu hình đường truyền âm

##### 4.4.3.1 Quy định chung

Các đồng hồ USM kiểu kẹp và ướt để đo chất khí và hơi có sẵn trong một loạt các cấu hình đơn và đa đường truyền. Số lượng các đường truyền đo được yêu cầu và cấu hình các đường truyền có thể bị ảnh hưởng bởi yêu cầu về độ chính xác hoặc bất kỳ sự thay đổi tiềm ẩn nào về phân bố vận tốc.

Cũng như sự thay đổi vị trí xuyên tâm của các đường truyền đo trong mặt cắt ngang, cấu hình đường truyền cũng có thể thay đổi hướng tới trục ống. Bằng cách dùng sự phản xạ của sóng siêu âm từ bên trong thân đồng hồ hoặc từ một gương phản xạ, đường truyền có thể đi qua mặt cắt nhiều lần.

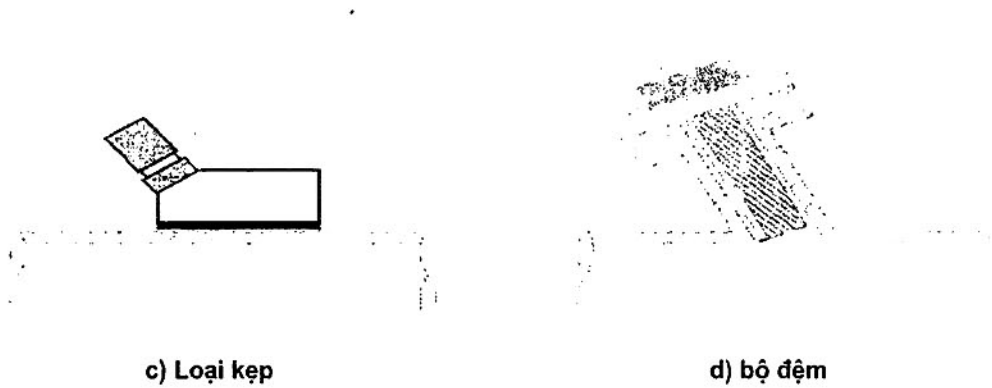
Cấu hình đa đường truyền cũng có thể cung cấp các đường truyền đo dự phòng nếu được cấu hình như vậy, để cung cấp biện pháp bảo vệ nếu có một đường truyền không hoạt động. Ngoài ra, chúng có thể được dùng để giảm độ bất ổn của phép đo trong phạm vi dòng chảy, tức là các đường truyền đo dòng chảy chậm và các đường truyền đo dòng chảy cao (ví dụ bằng cách cài đặt trước góc của đầu cảm biến).



a) loại ướt, xâm nhập

b) Loại ướt không xâm nhập

Hình 6 – Sơ đồ đầu chuyển đổi điển hình



Hình 6 – Sơ đồ đầu chuyển đổi điển hình

#### 4.4.3.2 Cấu hình đường truyền âm cơ bản

Các cấu hình đường truyền âm chung được minh họa trong Hình 7

Các cấu hình đường truyền có thể được mô tả trong Hình 7 như sau:

- Đường xuyên tâm – đường truyền qua đường kính của ống
- Đường dây cung – đường truyền theo dây cung của ống
- Đường phản hồi – đường truyền với một gương phản xạ
- Đường phản hồi – đường truyền với nhiều hơn một gương phản xạ
- Đường cục bộ - đường truyền theo một dây cung của đường kính ống có bộ biến đổi xâm nhập
- Đường cục bộ - đường truyền theo một dây cung của đường kính ống định vị bộ biến đổi đơn

#### 4.4.3.3 Các hệ số hiệu chỉnh biên dạng dòng chảy, $k_n$

Đồng hồ USM nhạy với các hiệu ứng biên dạng vận tốc trong cả điều kiện dòng chảy tầng dần đầy và nhiễu loạn, do thiết bị ước tính vận tốc trung bình trên toàn bộ mặt cắt của ống được đo bằng cách đo vận tốc trung bình dọc theo đường truyền. Ngay cả với dòng tầng dần đầy, giá trị của các yếu tố hiệu chỉnh biên dạng,  $k_n$ , không thống nhất và phụ thuộc vào số Reynolds và độ gồ ghề của thành ống.

Tùy thuộc vào cấu hình đường truyền, một sự hiệu chỉnh cơ bản dựa trên số Reynolds có thể hoặc không thể kết hợp bởi nhà sản xuất. Ở nơi sử dụng, hiệu chỉnh kết quả thường phụ thuộc đầu vào trong quá trình thử nghiệm các dữ liệu độ nhớt tương ứng, từ đó có thể tính ra được số Reynolds và một yếu tố hiệu chỉnh được thiết lập và áp dụng.

Nhà sản xuất phải yêu cầu xem liệu có hướng đồng hồ cho cấu hình ống xuôi dòng và các điều kiện làm việc cho biết phát sinh biên dạng dòng chảy.

Nếu biên dạng bị xáo trộn, hệ số hiệu chỉnh biên dạng cho dòng chảy tầng dần đầy không thể áp dụng. Các biên dạng dòng chảy có thể bị xáo trộn bởi cấu hình công trình ống đầu nguồn như uốn cong, mở rộng và co ngót và sự có mặt của van và bơm.

#### 4.4.3.4 Đồng hồ đa đường truyền dịch chuyển hướng tâm

Trong các đồng hồ này, vận tốc được đo tại các vị trí xuyên tâm khác nhau. Một số phương pháp có thể được sử dụng khi kết hợp các vận tốc để đạt vận tốc đường ống trung bình. Có thể được phân loại như sau:

a) Lấy tổng trọng số liên tục:

$$v = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (7)$$

Trong đó đường truyền hướng tâm của các đường truyền và trọng số  $w_1$  đến  $w_n$  được xác định trên cơ sở tích phân số

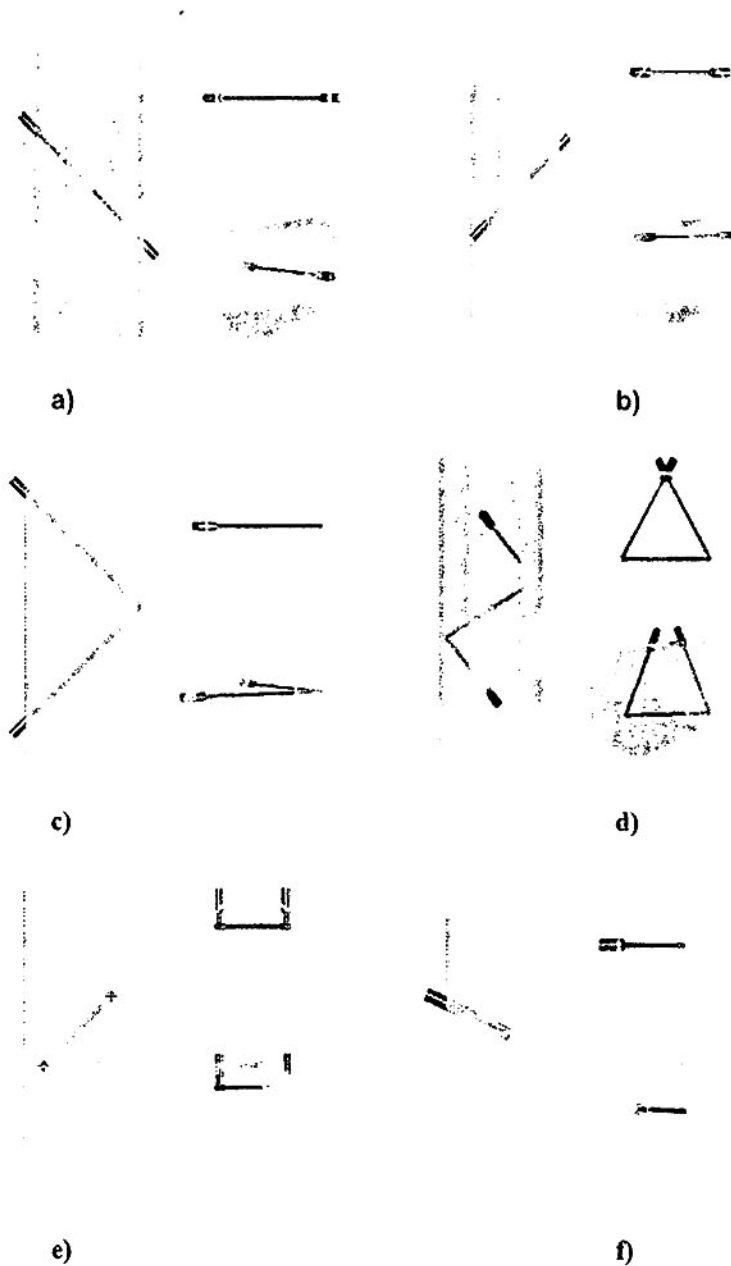
b) Lấy tổng biến trọng số:

$$v = \sum_{i=1}^n f_i v_i \quad (8)$$

Trong đó đường truyền hướng tâm của các đường truyền được cố định và trọng số  $f_1$  đến  $f_n$  được xác định từ các tham số đầu vào và/hoặc các biến được đo (ví dụ vận tốc).

Trong bất kỳ cấu hình nào, một hệ số nhân hoặc hệ số đồng hồ, K (hoặc hằng số hoặc biến số) có thể được áp dụng sau khi lấy tổng để hiệu chỉnh sai lệch do dung sai của nhà sản xuất.

$$q_v = KA_v \quad (9)$$



**Hình 7 – Các loại đường truyền âm cơ bản cho USM (phía trước và phía trên)**

CHÚ THÍCH: Hình học ba chiều không thể mô tả một cách chính xác.

#### 4.5 Tác động của áp suất và nhiệt độ lên hình dạng của đồng hồ

Khi dự đoán được một giải rộng áp suất và nhiệt độ, người sử dụng phải tham vấn với nhà sản xuất (nếu cần, các công thức cho điều này được đưa ra trong TCVN 8438-1 (ISO 17089-1))

#### 4.6 Xác định độ không đảm bảo đo của USM

Độ không đảm bảo đo của hệ thống dựa trên USM bao gồm:

a) Độ không đảm bảo của kiểm tra xác nhận gắn với việc thử nghiệm đồng hồ như:

1. Kiểm tra thời gian
2. Kiểm tra hình dạng

b) Độ không đảm bảo phát sinh từ sự khác biệt giữa các điều kiện quá trình và các điều kiện mà đồng hồ được thử nghiệm và hoặc hiệu chuẩn, bao gồm chức năng hiệu chuẩn áp suất và nhiệt độ hoặc phương pháp bù, điều kiện dòng chảy, đặc tính chất khí hoặc tạp chất.

c) Độ không đảm bảo gắn với thiết bị thứ cấp, chẳng hạn như bộ chuyển đổi áp suất và nhiệt độ, phép đo thành phần chất khí, và máy tính lưu lượng.

Ngoài ra, đối với đồng hồ đo kiểu kẹp:

- a) Vật liệu và kích thước ống
- b) Lắp đặt bộ biến đổi
- c) Điều kiện bề mặt thành ống trong và ngoài

Khi yêu cầu phân tích độ không đảm bảo của hệ thống, có thể tìm hướng dẫn bằng cách tham khảo TCVN 8114:2009 (ISO 5168) [3] và hoặc hướng dẫn ISO/IEC 98-3.

#### 4.7 Phân loại USM

Một đồng hồ USM có thể được phân loại để hỗ trợ người sử dụng lựa chọn đồng hồ dựa trên độ không đảm bảo đo. Quá trình này bao gồm việc chia các đồng hồ có sẵn theo các cấp như trong bảng 4. Ngoài ra còn có các cấp khác liên quan đến các ứng dụng đo lường khác (giao nhận thương mại hoặc phép đo độ thu thập và phân phối) được mô tả chi tiết trong TCVN 8438-1 (ISO 17089-1).

**Bảng 4 – Phân loại USM**

Cấp	Ứng dụng điển hình	Độ không đảm bảo đo điển hình với độ tin cậy 95% (Lưu lượng thể tích) <sup>a</sup>
3	Công nghệ chế biến các ứng dụng hoặc làm khí nhiên liệu	Trong khoảng $\pm 1,5\%$ tới $5\%$ cho $q_v > q_{v,t}$ Bằng các điều kiện dòng chảy cụ thể hoặc khi sử dụng đồng hồ đa đường truyền, có thể đạt được độ không đảm bảo thấp hơn.
4	Giám sát chất thải như khí đốt bỏ hoặc khí thải	Trong khoảng $\pm 1,5\%$ tới $10\%$ cho $q_v > q_{v,t}$

<sup>a</sup> Hiệu suất của đồng hồ bao gồm độ không đảm bảo, độ lặp lại, độ phân giải và sai số đỉnh – đỉnh của đồng hồ, phụ thuộc vào một số yếu tố bao gồm đường kính trong ống, chiều dài đường truyền âm, thành phần chất khí và SOS, và khả năng lặp lại theo thời gian của đồng hồ.

Các lớp được nêu chi tiết trong phần này của TCVN 8438 (ISO 17089) thể hiện hai đặc điểm đo khác nhau được áp dụng phổ biến trong công nghiệp. Tùy thuộc vào tầm quan trọng của phép đo đối với

yêu cầu vận hành, tổng chi phí không chắc chắn cho hệ thống đo lường hoàn chỉnh khác (lớn hơn) so với đồng hồ.

## 5 Đặc tính của đồng hồ

### 5.1 Chỉ số tính năng

Nhà sản xuất phải chỉ rõ tính lặp lại và sai số đỉnh-đỉnh lớn nhất trong phạm vi đo lường trên  $q_{v,i}$ .

### 5.2 Điều kiện vận hành

#### 5.2.1 Lưu lượng thể tích và vận tốc lưu chất

Phải chỉ rõ lưu lượng thể tích lớn nhất và nhỏ nhất.

#### 5.2.2 Các lớp áp suất

Các bộ biến đổi siêu âm được sử dụng trong USM đòi hỏi mật độ tối thiểu để đảm bảo nối tiếp truyền sóng của xung âm đến và đi từ chất lỏng. Do đó, áp suất vận hành nhỏ nhất dự kiến cũng như áp suất vận hành lớn nhất phải được quy định rõ.

#### 5.2.3 Nhiệt độ

Nhà sản xuất hoặc nhà cung cấp phải quy định rõ phạm vi nhiệt độ hoạt động và môi trường xung quanh mà thiết bị có thể đáp ứng.

#### 5.2.4 Chất lượng khí

Đồng hồ nên hoạt động trong giới hạn chính xác cho tất cả chất khí mà đồng hồ được sử dụng.

Sự hiện diện của một số thành phần trong chất khí có thể gây ảnh hưởng đến hiệu suất của đồng hồ. Đặc biệt nồng độ  $\text{CO}_2$  và  $\text{H}_2$  cao trong hỗn hợp chất khí có thể ảnh hưởng và thậm chí hạn chế hoạt động USM do tính hấp thụ âm của chúng.

Nhà sản xuất nên được tư vấn nếu có bất kỳ điều nào sau đây:

- a) Khi có sự pha loãng chất khí, như là  $\text{CO}_2$  và  $\text{H}_2$ ;
- b) Khi điều kiện vận hành gần điểm tới hạn của hỗn hợp chất khí;
- c) Khi có thể có chất khí không hydrocacbon và vận tốc âm được sử dụng để xác định trọng lượng phân tử
- d) Khi tổng lượng lưu huỳnh, từ các vật liệu như mercaptans (thiols), hydro sunfit, và nguyên tố lưu huỳnh, vượt quá  $320 \mu\text{mol/mol}$ ;
- e) Khi có khả năng chuyển chất lỏng từ máy các máy tách hoặc máy lọc;
- f) Muối kết tủa;

Kết tủa có thể có trong quá trình (ví dụ như ngưng tụ, glycol, amines, chất ức chế, nước hoặc vệt dầu trộn, chất bẩn hoặc cát) ảnh hưởng đến độ chính xác của đồng hồ bằng cách giảm diện tích mặt cắt và bằng cách giảm độ dài đường truyền âm hiệu quả.

### 5.3 Thân đồng hồ, vật liệu và cấu trúc

#### 5.3.1 Quy định chung

Điều dưới đây áp dụng cho các đồng hồ được giao nhận và lắp đặt chỉ cho loại có thân. Đối với loại là bộ biến đổi được lắp tại hiện trường, phải liên hệ với nhà sản xuất để làm rõ các yêu cầu lắp đặt.

#### 5.3.2 Vật liệu

Thân đồng hồ phải được sản xuất bằng vật liệu phù hợp với điều kiện làm việc bao gồm nhiệt độ, áp suất và các thành phần khí của chất khí mà đồng hồ sẽ xử lý. Cần đặc biệt chú ý đến khả năng chống ăn mòn của thân đồng hồ. Bề mặt ngoài của đồng hồ phải được bảo vệ khi cần thiết chống ăn mòn của môi trường. Cách điện của thân đồng hồ nằm ngoài phạm vi của phần TCVN 8438 (ISO 17089).

#### 5.3.3 Thân đồng hồ

Thân đồng hồ và tất cả các bộ phận xâm nhập khác và /hoặc lực tải phải được thực hiện phù hợp với các tiêu chuẩn được chấp nhận hoặc dựa trên thực tiễn kỹ thuật âm được chấp thuận giữa nhà sản xuất và người sử dụng đồng hồ. Cần đặc biệt chú ý khi thân đồng hồ được hàn vào đường ống.

### 5.4 Đầu nối

Các đầu kết nối ra và vào của đồng hồ phải phù hợp với các tiêu chuẩn được công nhận, ví dụ: ANSI/ASME (loại 300, 600, 900, vv), DIN, EN và JIS. Đối với thân đồng hồ được hàn vào đường ống, đầu hàn phải tuân theo các tiêu chuẩn được công nhận (ví dụ ANSI) hoặc phải được đồng ý giữa nhà sản xuất và người sử dụng đồng hồ.

### 5.5 Kích thước

Mặt bích đầu vào của đồng hồ phải có đường kính bên trong tương đương với 3% so với đường ống liền kề. Bất kỳ bước thay đổi nào ở bên ngoài lối vào đồng hồ ngăn đồng hồ đáp ứng được các yêu cầu chính xác của lớp hiệu suất. Trong trường hợp sử dụng đồng hồ hai chiều, cả hai mặt bích đều được coi là mặt bích đầu vào.

Đối với thân đồng hồ kiểu ướt, yêu cầu quy trình hàn sẽ được xem xét.

Kích thước của bộ phận đo (phần thân đo được lắp đặt đầu chuyển đổi) phải được ghi trong tài liệu của nhà sản xuất.

### 5.6 Cổng siêu âm

Do chất khí đo có thể chứa tạp chất, nên các cổng đầu đo gắn với đầu chuyển đổi phải được thiết kế để giảm khả năng chất lỏng hoặc chất rắn tích tụ trong các cổng đầu rò hoặc đảm bảo hiệu suất của đồng hồ không bị ảnh hưởng bởi các điều kiện như vậy.

USM có thể được trang bị van, hoặc các thiết bị phụ trợ cần thiết, gắn trên các cổng bộ biến đổi, để có thể thay thế các bộ biến đổi siêu âm mà không làm giảm áp suất của đồng hồ. Nhà sản xuất phải đảm bảo rằng hoạt động của cơ chế thay thế là an toàn trong điều kiện thiết kế của đồng hồ.

### 5.7 Vòi áp suất

Trong trường hợp cần đo áp suất (nghĩa là đối với lưu lượng thể tích ở điều kiện tiêu chuẩn), phải có ít nhất một lần đo áp suất đầu vào đồng hồ hoặc trên đường ống gần với đồng hồ. Đối với ống ngang, cần khoan góc với đầu  $\pm 85^\circ$  của thân hoặc ống.

### 5.8 Trang bị chống lặn

Đối với máy USM cấu trúc dùng thân đồng hồ, đồng hồ phải được thiết kế sao cho thân đồng hồ không lặn khi nằm trên bề mặt nhẵn có độ dốc lên tới 10%. Điều này nhằm ngăn ngừa hư hỏng cho bộ biến đổi và hệ thống điện tử (ES) khi USM đặt trên mặt đất tạm thời trong quá trình lắp đặt hoặc bảo dưỡng. Đồng hồ phải được thiết kế cho phép xử lý dễ dàng và an toàn trong việc vận chuyển và lắp đặt. Vòng treo hoặc khe cho đai nâng phải được cung cấp.

### 5.9 Thiết bị ổn định dòng

Một thiết bị xử lý dòng chảy có thể được cung cấp cùng với USM. Trong trường hợp này, bộ xử lý dòng chảy (FC) được ghép với ống dẫn đầu nguồn sẽ được xem như là một thành phần của đồng hồ. Các điều kiện lắp đặt (ống dẫn nguồn và sau) của FC phải được đồng ý với nhà sản xuất đồng hồ. Sự suy giảm áp suất bổ sung của FC nên được xem xét.

### 5.10 Ghi nhãn

Tối thiểu, các thông tin sau phải được ghi trên đồng hồ:

- a) Nhà sản xuất, ký mã hiệu, số seri;
- b) Hướng dòng chảy thuận;
- c) Áp suất và nhiệt độ vận hành nhỏ nhất và lớn nhất;

Ngoài ra, đối với đồng hồ loại ướt:

- d) Kích thước đồng hồ, loại mặt bích và khối lượng;
- e) Mã thiết kế thân đồng hồ và vật liệu;

Các thông tin này nên được ghi trên biển hiệu đồng hồ hoặc tấm nhãn trên thân đồng hồ. Các yêu cầu về pháp lý và/hoặc các yêu cầu về mã và tiêu chuẩn nhãn của các bộ phận chịu lực phải được xem xét.

### 5.11 Bộ biến đổi

#### 5.11.1 Tốc độ thay đổi áp suất

Tăng và giảm áp suất nhanh tại các USM có thể gây hư hại cho các bộ biến đổi hoặc thay đổi đặc tính của đồng hồ. Người sử dụng nên đảm bảo các bộ biến đổi được tăng hoặc giảm áp suất càng chậm



càng tốt và nếu không có thông tin từ nhà sản xuất, khuyến cáo sự thay đổi áp suất nhỏ hơn 0,5MPa/min. Điều này không áp dụng cho bộ biến đổi kiểu kẹp vì chúng nằm ngoài phạm vi áp suất

### 5.11.2 Đặc tính bộ biến đổi

Lưu lượng kế ES yêu cầu các thông số đặc biệt của bộ biến đổi, phải cung cấp các tài liệu về tất cả các tham số riêng cho mỗi bộ biến đổi hoặc cặp biến đổi

### 5.11.3 Cáp bộ biến đổi

Các USM có thể nhạy với các đặc tính riêng của cáp nối bộ biến đổi. Do đó dây cáp phải được coi như là một phần của đồng hồ và phải được đánh dấu / ghi nhãn, hoặc phải có hướng dẫn trong sổ tay người vận hành, với một cảnh báo độ dài hoặc loại cáp không bị thay đổi.

## 5.12 Thiết bị điện tử

### 5.12.1 Yêu cầu chung

ES của USM thường bao gồm nguồn cấp điện, máy vi tính, bộ phận xử lý tín hiệu và các mạch kích thích bộ biến đổi siêu âm.

ES nên có chức năng tự giám sát để đảm bảo có thể khởi động lại trong trường hợp một chương trình bị treo.

### 5.12.2 Nguồn cấp điện

Nhà sản xuất phải quy định nguồn điện cần thiết, dung sai điện áp và điện năng tiêu thụ. Phải chỉ rõ phản ứng của USM đối với việc ngắt điện và giảm điện áp.

### 5.12.3 Chất lượng tín hiệu

USM sẽ chỉ ra mức độ tối thiểu cường độ tín hiệu âm. Một chỉ thị sẽ được đưa ra nếu tín hiệu giảm xuống làm hiệu suất của đồng hồ bị ảnh hưởng. Đồng hồ có khả năng từ chối các phép đo không hợp lệ.

### 5.12.4 Đầu ra

Đồng hồ được trang bị ít nhất một trong các đầu ra sau đây:

- a) Giao diện dữ liệu nối tiếp, ví dụ RS232, RS485, field bus \_hoặc tương đương;
- b) Tần số;
- c) Đầu ra tương tự (4mA đến 20mA)

Một chức năng cắt dòng chảy chậm có thể được cung cấp để đặt lưu lượng dòng chảy xuống 0 nếu lưu lượng dòng chảy chỉ ra thấp hơn giá trị nhỏ nhất (có thể không áp dụng cho đầu ra dữ liệu nối tiếp).

Hai đầu ra cho lưu lượng dòng chảy riêng biệt hoặc giá trị dữ liệu nối tiếp có thể được cung cấp cho các ứng dụng hai chiều để thuận tiện cho việc tích lũy khối lượng riêng biệt bằng cách kết hợp các máy tính.

Tất cả các đầu ra phải được cách ly đất và có bảo vệ điện áp cần thiết để đáp ứng các yêu cầu kiểm tra về điện.

#### **5.12.5 Vỏ bọc cáp và cách điện**

Vỏ bọc cáp, cao su, nhựa, và các bộ phận tiếp xúc khác phải chịu được ánh sáng cực tím, nước, dầu và mỡ.

### **5.13 Phần mềm hệ thống và phần mềm máy tính**

#### **5.13.1 Tổng quan**

Các mã máy tính chịu trách nhiệm kiểm soát và vận hành đồng hồ phải được lưu trữ trong bộ nhớ bất biến.

Tất cả các hằng số tính toán lưu lượng và các tham số do người vận hành nhập vào cũng sẽ được lưu trữ trong bộ nhớ bất biến.

#### **5.13.2 Sự gián đoạn**

Là một đồng hồ điện tử, phần mềm hệ thống có thể đưa ra các gián đoạn có ảnh hưởng đến hiệu suất của đồng hồ. Do đó, phần mềm hệ thống sẽ được thiết kế để tránh sự gián đoạn.

#### **5.13.3 Quản lý ghi nhãn và phiên bản phần mềm**

Nhà sản xuất phải giữ tất cả các bản ghi của các phiên bản phần mềm hệ thống bao gồm số seri hiệu chỉnh, ngày hiệu đính/phiên bản, các mã đồng hồ áp dụng, và mô tả các thay đổi đối với phần mềm hệ thống do họ hoặc đại diện của họ thực hiện.

Số hiệu chỉnh phần mềm hệ thống và hoặc kiểm tra tổng sẽ được dùng để kiểm soát.

Nhà sản xuất có thể nâng cấp phần mềm hệ thống để cải thiện tính năng của đồng hồ hoặc để thêm các tính năng bổ sung.

#### **5.13.4 Cấu hình và phần mềm giám sát**

Đồng hồ có thể được cung cấp với khả năng cấu hình ES và giám sát hoạt động của đồng hồ. Tốt hơn, ES sẽ có thể hiển thị các thông số và cài đặt liên quan.

### **5.14 Các chức năng kiểm tra và xác nhận**

#### **5.14.1 Tổng quan**

Có thể xem thông số cấu hình phép đo lưu lượng được ES sử dụng, ví dụ hằng số hiệu chuẩn, các kích thước đồng hồ, chu kỳ thời gian trung bình, và tỉ lệ lấy mẫu. Các điều khoản có thể được thực hiện để tránh sự thay đổi ngẫu nhiên hoặc những thay đổi không thể phát hiện được của các thông số ảnh hưởng đến hiệu suất của đồng hồ. Các điều khoản phù hợp bao gồm kiểm soát truy cập dựa trên phần mềm.

Các trạng thái đầu ra cảnh báo được cung cấp như sau:

- a) Đầu ra không hợp lệ: khi đầu ra chỉ thị lưu lượng không hợp lệ  
Tùy chọn: Các đầu ra cảnh báo có thể cung cấp như sau:
- b) Cảnh báo: Khi bất kỳ một thông số giám sát nằm ngoài hoạt động bình thường trong một thời gian đáng kể
- c) Lỗi từng phần với đồng hồ đa đường truyền: khi một hoặc nhiều đường truyền tạo ra các kết quả không sử dụng được.

Lý tưởng là phải kiểm tra tất cả các hằng số và thông số trong khi đồng hồ hoạt động.

#### 5.14.2 Chẩn đoán

Đồng hồ sẽ có thể cung cấp và/hoặc đầu ra chẩn đoán như sau:

- a) Vận tốc trung bình phi tuyến / không tuyến tính qua đồng hồ;
- b) Vận tốc dòng chảy cho mỗi đường truyền âm (hoặc tương đương để đánh giá biên dạng vận tốc dòng chảy)
- c) SOS theo từng đường truyền âm;
- d) SOS trung bình;
- e) Khoảng lấy mẫu trung bình;
- f) Khoảng thời gian trung bình;
- g) Phần trăm xung được chấp nhận cho mỗi đường truyền âm;
- h) Tỉ số tín hiệu độ nhiễu hoặc tương đương (kiểm soát khuếch đại)
- i) Hiện thị trạng thái và chất lượng phép đo;
- j) Hiện thị cảnh báo và lỗi;

Đối với các phép đo chuẩn đoán, đồng hồ có thể được cung cấp với một máy ghi dữ liệu nội để lưu trữ các giá trị này.

### 5.15 Yêu cầu về vận hành và lắp đặt

#### 5.15.1 Quy định chung

Tất cả các ảnh hưởng từ việc lắp đặt USM, hoặc chế độ vận hành USM, làm tăng độ không đảm bảo đo phải được xem xét và bù đắp nếu có thể hoặc loại bỏ. Phải xác định khoảng cách tối thiểu các nguồn xáo trộn dòng chảy.

Lưu ý rằng các lỗi của đồng hồ USM xuất phát từ biên dạng dòng chảy chưa được sử dụng hoặc bị xáo trộn từ sai số trong giá trị dòng chảy tuyệt đối. Với điều kiện nhiễu loạn dòng chảy đầu nguồn không gây ảnh hưởng bất lợi đến khả năng truyền xung siêu âm của USM, và phép đo như vậy là chính xác và đáng tin cậy với chuẩn đoán chấp nhận được, thì phép đo lặp lại không bị ảnh hưởng vì điều này đơn thuần là chức năng của các kích thước vật lý đã biết của USM, vận tốc âm trong môi trường chất khí, và độ chính xác của quá trình đo thời gian của USM.

#### 5.15.2 Các biện pháp phòng ngừa

### 5.15.2.1 Âm, tạp âm, van điều áp, và các USM xâm nhập

Chức năng và độ chính xác của đồng hồ USM có thể bị ảnh hưởng bởi nhiễu phát ra từ các van điều áp. Xem tài liệu tham khảo [33] và phụ lục A. Trong những trường hợp nghiêm trọng, đồng hồ có thể không hoạt động được. Các khuyến nghị sau được đưa ra đối với tiếng ồn do van tạo ra:

- a) Các USM phải được đặt cách xa các van tiết lưu, tốt nhất với các thiết bị điều khiển quá trình như bình hoặc bộ trao đổi nhiệt, việc định vị đồng hồ đầu nguồn của bộ điều chỉnh là tốt nhất.
- b) Loại trừ tạp âm của USM nói chung có thể được cải thiện bằng cách:
  - 1) Tăng tần số bộ biến đổi đồng hồ;
  - 2) Tăng công suất bộ biến đổi đồng hồ;
  - 3) Sử dụng các kỹ thuật xử lý tín hiệu để dò tín hiệu, ví dụ: tín hiệu trung bình (xếp chồng), đổi số hoặc mã hóa tín hiệu;
- c) T cột và ống góp ngoài mặt phẳng là ống dẫn tiêu chuẩn hiệu quả nhất để giảm nhiễu siêu âm, nhưng cần xem xét đến tác động biên dạng dòng chảy và điều này có thể gây ra sai số đồng hồ;
- d) Ống thẳng không hiệu quả để làm giảm nhiễu siêu âm;
- e) Giảm áp suất qua van làm giảm nhiễu phát sinh ở tất cả các tần số;

Nhà sản xuất USM cần được tư vấn trong những trường hợp van tiết lưu hoặc van điều áp dự định được đặt ở vị trí đầu nguồn của vị trí USM đề xuất. Độ nhạy của USM với âm thanh (tạp âm) do các van điều áp hoặc các nguồn khác sẽ được thông báo từ nhà sản xuất.

### 5.15.2.2 Âm, tạp âm, van điều áp, và các USM không xâm nhập

Ngoài tạp âm gây ra bởi chất khí như đã thảo luận trong 5.15.2.1, tạp âm của ống dẫn cũng có thể là nguồn gây ra các vấn đề về hiệu suất của các USM dạng kẹp khí sử dụng ống dẫn quy trình bằng kim loại. Ống nhựa không có khả năng tạo tạp âm. Tỷ số tín hiệu tạp âm (SNR) rất khác nhau đối với USM không xâm nhập và xâm nhập. Do đó tiếng ồn của đường ống trở nên đáng kể. Khuyến cáo rằng các USM dạng kẹp không được lắp đặt gần các mối hàn kín trong khi xử lý đường ống, vì tạp âm của ống có thể tới từ ngoài khu vực đo và được phản xạ lại từ mối hàn, do đó có thể thêm bất kỳ SNR nào. Cần phải có khoảng cách hợp lý.

Hơn nữa, trong các ứng dụng áp suất thấp, có thể cần áp dụng một số dạng giảm âm cho bề mặt ống trong khu vực lắp đặt USM. Lựa chọn vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ ống và độ nhạy cảm âm. Nhà sản xuất nên được tư vấn về vấn đề này.

### 5.15.2.3 Tạp chất

Các lớp tích tụ có thể có mặt trong các đường ống dẫn chất khí ảnh hưởng đến độ chính xác của đồng hồ bằng cách giảm diện tích mặt cắt của nó, bằng cách giảm chiều dài đường truyền âm hiệu quả hoặc bằng cách giảm hiệu suất của một đường truyền riêng lẻ.

Nên tránh tích tụ cặn bã do hỗn hợp các hạt và/hoặc các tạp chất. Trong trường hợp như vậy, cần phải có điều khoản cho việc tháo đầu rò.

Trong quá trình ứng dụng, người ta hy vọng rằng chất khí có chu kỳ bị nhiễm bẩn dạng hạt và/ hoặc dạng sương mù. Nhà sản xuất phải xác nhận rằng đồng hồ phù hợp và đã được thử nghiệm trong các ứng dụng như vậy.

Để tránh sự tích tụ nghiêm trọng, cấu hình ống nên có một điểm thấp lắng đọng các hạt và/hoặc tạp chất trong đồng hồ.

Các tín hiệu âm bị ảnh hưởng bất lợi bởi sự hiện diện của một trong hai hoặc cả hai giọt chất khí và giọt sinh ra trong ống dẫn. Phản hồi lưu chạy dọc theo đáy của một phần ống ngang có thể không tạo ra các vấn đề với lưu lượng dòng chảy nhất định, nhưng khi tốc độ làm tăng trạng thái sương mù của các giọt nhỏ có thể tạo thành trên trạng thái hồi lưu và tạo ra những khó khăn về truyền âm. Ống dọc có thể là khuyến nghị thích hợp.

#### **5.15.2.4 Nhiệt độ và áp suất môi trường**

Cần giảm thiểu ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh bằng cách cung cấp bóng mát hoặc cách nhiệt thích hợp. Đối với các ứng dụng loại 4, nơi quá trình hoạt động bằng hoặc gần bằng áp suất khí quyển, ảnh hưởng của việc tỏa nhiệt của mặt trời hoặc hoạt động quá trình lân cận ví dụ tia lửa, có thể là đáng kể.

Trong điều kiện dòng chảy rất thấp, dòng xoáy có thể được tạo ra mà USM nhạy cảm có thể phát hiện.

Dòng chảy ngược trong ống xả khí đốt mà không được niêm phong từ môi trường cũng có thể được quan sát, do dòng chảy xoáy nói trên hoặc các điều kiện môi trường nhất định như là gió lớn hay áp suất môi trường vượt quá áp suất ống xả khí đốt.

#### **5.15.2.5 Rung**

USM sẽ không được tiếp xúc với nguồn rung hoặc tần số rung động có thể kích thích tần số của bo mạch, các thành phần và bộ biến đổi siêu âm của ES.

#### **5.15.2.6 Dòng chảy không ổn định**

Các ứng dụng lớp 4 trong các ống xả khí thải thường dễ bị nứt do xung dòng chảy. Nhà sản xuất phải chứng minh được hiệu suất của đồng hồ được duy trì với sự có mặt của các xung dòng chảy.

### **5.16 Yêu cầu về lắp đặt và xem xét biên dạng dòng chảy**

#### **5.16.1 Quy định chung**

Một biên dạng dòng chảy được phát triển đầy đủ là điều kiện mong muốn nhất ở đồng hồ. Trong thực tế, điều kiện dòng chảy không bị xáo trộn không thể đạt được.

### 5.16.2 Các ảnh hưởng lắp đặt

Sự kết hợp các phụ kiện, van, uốn ống, lỗ thăm nhiệt, và chiều dài ống dẫn thẳng có thể tạo ra sự méo biến dạng của tốc độ ở đầu vào đồng hồ dẫn đến lỗi đo lưu lượng dòng chảy. Mức độ sai số của đồng hồ phụ thuộc vào loại và mức độ méo của dòng chảy cũng như khả năng bù đắp biến dạng của đồng hồ. Lỗi này có thể được giảm đi bằng cách tăng độ dài của đường ống thẳng hoặc bằng cách sử dụng FC.

Nghiên cứu về các ảnh hưởng lắp đặt đang được tiến hành tại thời điểm xuất bản, do đó, nhà thiết kế nên tham khảo ý kiến của nhà sản xuất USM để xem lại các kết quả kiểm tra mới nhất và đánh giá các thiết kế USM có thể bị ảnh hưởng bởi cấu hình đường ống dòng vào của kế hoạch lắp đặt. Để đạt được hiệu suất như mong muốn, nhà thiết kế lắp đặt có thể thay đổi cấu hình đường ống ban đầu hoặc bao gồm FC như một phần của đồng hồ. Ngoài ra, thực hiện hiệu chuẩn dòng chảy trong các điều kiện tương tự như các điều kiện trường có thể bù đắp lỗi. Chiều dài tối thiểu được đề nghị của đường dẫn thẳng là 2D, trong đó D là đường kính danh định trong ống dẫn.

### 5.16.3 Lỗ thăm nhiệt

Lỗ thăm nhiệt phải được đặt ở phía sau của đồng hồ.

Đối với dòng chảy một chiều, lỗ thăm nhiệt và/hoặc mật độ kế phải được lắp đặt phía sau USM và nằm giữa 2D và 5D từ mặt bích sau của USM, nhưng phải là phía đầu nguồn của bất kỳ van xả nào, các bậc đường kính hoặc giới hạn dòng chảy. Điều quan trọng là phải lắp đặt lỗ thăm nhiệt một cách chính xác để đảm bảo nhiệt được truyền từ đường ống và phụ kiện lỗ thăm nhiệt, và các hiệu ứng bức xạ của mặt trời, không ảnh hưởng đến việc đọc nhiệt độ. Khuyến nghị chèn lỗ thăm nhiệt và các lỗ co nằm giữa  $D/10$  và  $D/3$ . Có thể yêu cầu thiết kế thăm dò với chiều dài chèn lớn hơn  $D/3$ .

Loại bỏ tần số dòng xoáy lỗ thăm nhiệt ở vận tốc chất khí cao sẽ không kích thích tần số rung động của lỗ đo nhiệt đến điểm sự cố; khuyến cáo sử dụng lỗ thăm nhiệt dạng nón. Ngoài ra khi sử dụng nhiều lỗ thăm nhiệt, không nên để trên một đường. Nhà sản xuất hoặc nhà cung cấp phải đưa ra các vị trí tối ưu (xoay) liên quan tới các đường truyền âm.

### 5.16.4 Thiết bị ổn dòng

Một trong những ưu điểm chính của USM là không làm giảm áp suất. Việc sử dụng một FC bộ ổn định dòng làm giảm áp suất và phủ nhận ưu thế này. Thiếu không gian cho chiều dài đủ ở dòng vào hoặc các ảnh hưởng không thể xác định được của cấu hình đường ống dòng vào là những lý do phổ biến nhất cho việc sử dụng chúng.

Việc lắp đặt FC bộ ổn định dòng ở bất kỳ vị trí nào trong đường ống thông từ dòng vào của USM có thể làm thay đổi lưu lượng dòng chảy được hiển thị bởi đồng hồ. Sự thay đổi này phụ thuộc vào nhiều yếu tố (ví dụ: loại FC, loại đồng hồ, vị trí tương đối so với USM hoặc sự xáo trộn dòng chảy ở dòng vào FC). Để tránh độ không đảm bảo này, khi hiệu chuẩn USM, thì FC và đường ống thông phải được hiệu chuẩn như một gói (USMP).

**CẢNH BÁO:** Tùy thuộc vào thiết kế, một FC có thể tạo ra mức tạp âm đáng kể để ảnh hưởng tới hoạt động của USM với vận tốc chất khí nhất định. Các bộ điều tiết kiểu tấm đục lỗ được ưu tiên; chum ống và FC kiểu cánh chì chặn dòng xoáy, không cải thiện biên dạng dòng chảy, và thậm chí có thể gây thêm méo biên dạng.

#### 5.16.5 Độ nhám mặt trong và thành ống

Lớp cặn bạ do các điều kiện truyền chất khí thông thường, ví dụ đường hồi lưu hoặc vết dầu trộn lớp phủ, bụi hoặc cát, ảnh hưởng đến tính chính xác của đồng hồ. Các hiệu ứng tương tự cũng có thể xảy ra do rỉ sét của bề mặt bên trong không được xử lý hoặc lỗi của lớp phủ bên trong.

#### 5.16.6 Sử dụng hai chiều

Đối với việc sử dụng hai chiều, cả hai đường ống dòng vào và dòng ra đều được coi là ống dòng vào.

### 5.17 Xử lý và vận chuyển

Áp dụng các quy định về xử lý thủ công. Khả năng gây hư hỏng cho USM trong quá trình xử lý và vận chuyển sẽ được ghi nhận, và tất cả các biện pháp để giảm thiểu khả năng có thể xảy ra hư hại. Ví dụ, chú ý đến:

- Sử dụng một thiết bị chỉ dẫn như là một máy dò va chạm trong quá trình vận chuyển;
- Sử dụng các khung hoặc thùng thích hợp để nâng và vận chuyển;
- Sử dụng vỏ bọc để tránh sự nhiễm bẩn vào trong đồng hồ;
- Giảm thiểu các bộ chuyển đổi và/hoặc cáp tháo rời.

## 6 Thử nghiệm và hiệu chuẩn

### 6.1 Thử nghiệm và hiệu chuẩn dòng chảy

Một USM thuộc lớp 3 và lớp 4 có thể được mô tả cơ bản như là một trong hai loại:

- USM với bộ biến đổi định vị
- USM với thân đồng hồ

Cả hai dạng của USM phải được nhà sản xuất kiểm tra chức năng tính để thiết lập các cài đặt trước khi giao hàng của ES. Đây cũng là phần được đề xuất trong bài kiểm tra của bất kỳ nhà máy nào (FAT). Tương tự, cả hai USM đều được kiểm tra định kỳ trong thực địa.

Tuy nhiên, chỉ cho một loại đồng hồ b) là có thể theo dõi, hiệu chuẩn động (dòng chảy chất khí) dưới các điều kiện tham chiếu có thể.

### 6.2 Kiểm tra tính rò rỉ và áp suất

Đối với USM có thân đồng hồ, điều kiện tiên quyết về an toàn là tất cả các bộ phận chịu áp suất phải được kiểm tra rò rỉ và áp suất phù hợp với mục tiêu dự kiến và các quy định quốc gia hoặc quốc tế liên quan, ví dụ: tham khảo [16].

Đối với thiết bị chèn, cần chú ý đến khả năng rò rỉ và mức độ áp suất của các thiết bị gắn trên.

Kiểm tra áp suất và rò rỉ không áp dụng cho các thiết bị kẹp.

### 6.3 Các chiều đo

#### 6.3.1 USM với bộ biến đổi định vị

##### 6.3.1.1 Dạng không xâm nhập hoặc dạng kẹp

Dạng USM này đòi hỏi bộ biến đổi phải được định vị chính xác, theo đó các chiều có liên quan thường xuất phát từ ES của USM khi tất cả các dữ liệu ứng dụng cần thiết được nhập chính xác. Các thiết bị siêu âm sẵn có trên thị trường có thể được xác minh lịch trình ống hoặc nếu không thì thiết lập chính xác độ dày thành ống. Trên các đường ống lớn, nơi mà thiết bị cố định dạng kẹp để điều khiển khoảng cách bộ biến đổi trở nên không thực tế, yêu cầu phải đo cẩn thận và đánh dấu ngoài đường ống. Thường là đủ để sử dụng các công cụ tiêu chuẩn cho việc này chẳng hạn như mức chất lỏng và bọc ống của thợ hàn. Các công cụ tương tự được sử dụng để đánh dấu đường ống cho vị trí đầu chuyển đổi và xác minh các dấu hiệu.

Ngoài ra có thể xác minh vị trí bộ biến đổi bằng cách sử dụng một phương pháp thử nghiệm thăm dò chiều bằng cách sử dụng một hệ thống lăng trụ kính vĩ và thiết kế tùy chỉnh.

##### 6.3.1.2 Chèn

Đối với dạng đồng hồ USM này, thông thường yêu cầu các linh kiện phần cứng gắn kết được hàn mối với ống quy trình hoặc ống chính. Phần cứng có thể bao gồm các đường ống góc, ống viền với các mặt bích, có vị trí 3 chiều liên quan đến ống chính sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất của USM. Trong quá trình hàn, dịch chuyển phần cứng có thể xảy ra từ các nhiệt lực và do đó vị trí hàn cuối cùng, được xét cả tuyến tính và góc cạnh, có thể khác với quy định và tính toán. Ở đây, người ta phát hiện ra phương pháp khảo sát chiều sử dụng hệ thống lăng trụ kính vĩ và thiết kế tùy chỉnh có thể hỗ trợ trong hoạt động hàn để đảm bảo phần cứng không áp dụng đặc điểm định hướng sớm và sau đó hỗ trợ thợ hàn điều chỉnh nhỏ ở từng giai đoạn của quá trình hàn. Các chiều "thi công" cuối cùng cũng có thể được xác định chính xác và báo cáo để tối ưu hóa việc lập trình cho ES đối với các bộ biến đổi quan trọng và phối hợp với ống chính.

#### 6.3.2 Đồng hồ USM có thân

##### 6.3.2.1 Tổng quát

Trường hợp bộ biến đổi của đồng hồ USM được gắn vào thân đồng hồ thì có thể áp dụng phương pháp đơn giản và có thể chính xác hơn, theo đó thiết kế thân đồng hồ có thể được kiểm tra riêng lẻ trong điều kiện tĩnh. Việc này bao gồm đo kích thước thân đồng hồ trong đó phải ghi lại các thông số sau (người sử dụng hoặc nhà sản xuất):

- a) Kích thước hình học.
- b) Diện tích mặt cắt của đồng hồ.



- c) Chiều dài của mỗi đường truyền âm giữa các bề mặt bộ biến đổi.
- d) Góc nghiêng của mỗi đường truyền âm hoặc khoảng cách trục (trục thân đo) giữa các cặp bộ biến đổi.

Tùy thuộc vào ứng dụng:

- e) Vật liệu thân đồng hồ.
- f) Hệ số giãn nở nhiệt và áp suất thân đồng hồ.
- g) Độ dày của thành ống.

#### 6.3.2.2 Thử nghiệm kiểm tra xác nhận dòng “không”:

Để xác minh thời gian chuyển tiếp hệ thống đo của đồng hồ, có thể thực hiện kiểm tra xác minh dòng không do nhà sản xuất quy định và dung sai. Một thử nghiệm như vậy có thể được thực hiện tại cơ sở của nhà sản xuất như là một phần của quy trình kiểm soát chất lượng thông thường, hoặc như là một phần FAT của khách hàng, nhưng nó cũng có thể thực hiện ở hiện trường trong quá trình vận hành USM. Tuy nhiên, người dùng được khuyến cáo để kiểm tra như vậy, phải tuân thủ một số biện pháp phòng ngừa. Một USM nhạy cảm với những thay đổi nhỏ nhất trong thời gian chuyển tiếp, có thể không phải là bất ổn điểm không USM, nhưng sự chuyển động của lượng khí trung bình được sử dụng cho thử nghiệm, chính nó là kết quả của sự rò rỉ hoặc sự chênh nhiệt độ. Do đó, các bộ biến đổi của USM phải được cô lập hoàn toàn khỏi sự chuyển động của không khí xung quanh, ở nơi mà các phép thử đang được thực hiện ở áp suất trên áp suất không khí, cần phải sử dụng thiết bị theo dõi áp suất nhạy để xác nhận không có chuyển động khí nào được tạo ra từ sự rò rỉ đến môi trường xung quanh. Hơn nữa, phép thử phải được tiến hành sao cho thân đồng hồ, hoặc các thiết bị khác được sử dụng để định vị bộ biến đổi trong cấu hình lắp đặt mô phỏng, được cách ly với bức xạ phát ra từ quá trình lân cận hoặc mặt trời.

#### 6.3.2.3 Điều chỉnh thời gian trễ và chiều dung sai

Khi các điều kiện tính đạt được độ tin cậy, tức là khi áp suất là hoàn toàn ổn định, thì sự cách ly hoàn toàn từ chuyển động của khí được giả định và ảnh hưởng của nhiệt độ được loại bỏ, giá trị của SOS hiển thị bởi USM (MSOS) có thể so sánh với TSOS cho các điều kiện kiểm tra hiện tại. Việc điều chỉnh tinh và lập lại căn chỉnh thời gian có thể thực hiện để bù đắp cho dung sai cơ học và điện trong USMP, để đạt được thỏa thuận chính xác giữa MSOS và TSOS. Đối với USM lớp 3 hoặc lớp 4, USMP có thể không bao gồm bộ biến đổi, cáp, và ES. Nếu sự điều chỉnh như vậy được thực hiện trước khi USM ra khỏi nhà sản xuất, không cần phải thực hiện thêm bất kỳ điều chỉnh kiểu nào, miễn là không có bất kỳ thứ gì nói trên được trao đổi hoặc thay thế.

#### 6.3.2.4 Báo cáo kiểm tra tĩnh

Một báo cáo sẽ được lập ra sau khi hoàn thành thử nghiệm tĩnh. Báo cáo này bao gồm:

- a) Các ngày thử nghiệm
- b) Dữ liệu của nhà sản xuất như kích thước đồng hồ, số seri đồng hồ, đối với đồng hồ đang được thử

- c) Mô tả bằng văn bản về thủ tục kiểm tra
- d) Bản chất (ví dụ như thành phần chất khí, độ ẩm) và các điều kiện (áp suất và nhiệt độ) của chất khí thử nghiệm;
- e) MSOS từ đồng hồ được kiểm tra và TSOS có nguồn gốc từ thành phần chất khí, áp suất, và nhiệt độ của chất khí thử nghiệm
- f) Nguồn tham khảo cho TSOS
- g) Tập nhật ký bao gồm tất cả dữ liệu được lấy trong quá trình thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn;
- h) Một bản ghi và báo cáo thiết lập tham số;
- i) Mô tả bất kỳ sự biến đổi nào hoặc sai lệch từ các điều kiện kiểm tra yêu cầu.

#### **6.4 Thử nghiệm động (thử nghiệm và hiệu chỉnh, điều chỉnh theo các điều kiện dòng chảy)**

##### **6.4.1 Quy định chung**

Tùy thuộc vào ứng dụng, một USM riêng lẻ hoặc một USMP có thể được kiểm tra và hiệu chuẩn động

Hai phương pháp chính được sử dụng:

- a) Thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn dòng chảy động của một USM với thân đo theo các điều kiện tham chiếu đầy đủ trong một hiệu chuẩn thích hợp;
- b) Kiểm tra và điều chỉnh dòng chảy trong trường động để định chuẩn với một đồng hồ được lắp đặt hoặc các hình thức so sánh khác, thường được dành riêng cho một USM với các bộ biến đổi được định vị.

##### **6.4.2 Thử nghiệm động dưới các điều kiện tham chiếu dòng chảy**

Thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn dòng chảy động cung cấp một bộ các lỗi hệ thống, là một chức năng của lưu lượng dòng chảy (và/hoặc số Reynolds) có thể được sử dụng để điều chỉnh đầu ra của đồng hồ. Bộ này thường được trình bày dưới dạng đường cong thử nghiệm hoặc hiệu chuẩn.

Độ không đảm bảo đo của thiết lập kiểm tra hoàn chỉnh được sử dụng để hiệu chuẩn không được lớn hơn quy định hoặc phù hợp với giới hạn lỗi của USM được kiểm tra, và tốt nhất là không vượt quá 1/3 giới hạn lỗi.

##### **6.4.3 Thử nghiệm động tại hiện trường**

Trường hợp USM đang được lắp đặt như một công nghệ thứ hai trên cùng một quy trình như một đồng hồ hiện tại của một nguyên tắc đo khác, ví dụ: làm giảm bớt các vấn đề về lỗi chế độ thông thường, thì hiệu chuẩn động được thực hiện trước các điều kiện tham chiếu trong một thiết bị hiệu chỉnh thích hợp, sẽ có giá trị giới hạn trừ khi USM được đưa ra như là một tham chiếu chính hoặc đồng hồ mẫu của cặp, đồng hồ hiện tại được điều chỉnh để phù hợp với USM.

Khi thử nghiệm động được thực hiện ở hiện trường, cần chú ý đến độ không đảm bảo tương đối của USM và tham chiếu, bao gồm hiệu chuẩn có giá trị của bất kỳ đồng hồ tham chiếu nào, cùng với các điều kiện lắp đặt và ảnh hưởng của chúng đối với giá trị của phép so sánh. Chắc chắn rằng, các điều kiện lắp đặt của đồng hồ tương quan phải được xác nhận là có thể chấp nhận được, hoặc phương

pháp của bất kỳ hình thức tham chiếu nào khác để so sánh sẽ có giá trị, trước khi thử nghiệm đó có thể được mong đợi mang lại kết quả hữu ích. Nếu kết hợp lắp đặt các đồng hồ quy trình được xem là một phương tiện kiểm tra động USM, ví dụ như một số dạng phun khí kết hợp được cố gắng cho vào một đường chung chứa USM, ví dụ: một đường khí thải, độ tin cậy phụ thuộc vào các điều kiện tĩnh trên một vài khu vực của quy trình nhà máy, và đây là một khái niệm thách thức với độ không đảm bảo phức tạp.

Hơn nữa, hãy nhớ các dạng khác nhau của USM có các mức độ nhạy cảm khác nhau đối với các dòng chảy rối đầu vào và đầu ra. Ví dụ, một USM đa đường truyền có độ nhạy biên dạng dòng chảy thấp hơn so với một USM đơn đường truyền, và một USM kiểu chèn định vị có thể ít bị ảnh hưởng hơn một USM kiểu kẹp. Lựa chọn công nghệ USM phải được chỉ định phù hợp với yêu cầu ứng dụng và các yêu cầu hoạt động như được định nghĩa trong danh sách phần giới thiệu. Lời khuyên là nên tham khảo cẩm nang hoạt động USM hoặc hỏi ý kiến nhà sản xuất USM về vấn đề này.

#### 6.4.4 Báo cáo

Kết quả thử nghiệm động sẽ được cung cấp theo yêu cầu, cùng với một bản báo cáo các điều kiện theo đó các thử nghiệm động diễn ra. Dữ liệu thử nghiệm được cung cấp như là kết quả của thử nghiệm động bao gồm:

a) Nhận dạng đồng hồ và mô tả thử nghiệm:

- 1) Dữ liệu của nhà sản xuất như kích thước đồng hồ và số seri đồng hồ,
- 2) Độ bất ổn ước tính của kết quả thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn,
- 3) Mô tả bằng văn bản về quy trình kiểm tra, thông thường bao gồm:
  - i) Vị trí của đồng hồ (hướng ngang, dòng chảy hướng dọc đi lên, dòng chảy hướng dọc đi xuống) cũng như định hướng của đồng hồ.
  - ii) Cấu hình ống dòng vào và dòng ra liên quan đến khả năng không bị nhiễu loạn của biên dạng dòng chảy, bao gồm cả đường kính bên trong.
  - iii) Tính chất (ví dụ: thành phần chất khí, độ ẩm, độ nén) và các điều kiện (áp suất và nhiệt độ) của chất khí thử nghiệm.
  - iv) Mô tả bất kỳ sự thay đổi nào hoặc độ lệch nào từ các điều kiện thử nghiệm yêu cầu.

b) Kết quả:

- 1) Xác định độ lệch ở lưu lượng dòng chảy khảo sát
- 2) Ngày thử nghiệm
- 3) Trong trường hợp đồng hồ hai chiều: dòng chảy thuận và dòng chảy ngược
- 4) MSOS của đồng hồ được kiểm tra và TSOS từ thành phần chất khí, áp suất và nhiệt độ, và độ nén
- 5) Tệp nhật ký chứa tất cả các dữ liệu được lấy trong quy trình thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn
- 6) Báo cáo các thông số cấu hình của đồng hồ trong quy trình thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn.

## 6.5 Chẩn đoán đồng hồ

### 6.5.1 Quy định chung

Trái ngược với nhiều đồng hồ khác, USM có thể cung cấp các thông tin chuẩn đoán mở rộng thông qua đó không chỉ có thể xác minh tính năng của USM chất khí, mà còn một số thành phần khác trong hệ thống. Do có khả năng chẩn đoán mở rộng, tiêu chuẩn này ủng hộ việc bổ sung và sử dụng chẩn đoán tự động thay vì kiểm tra chất lượng hoạt động. Có thể sử dụng thông tin chẩn đoán USM để suy ra bất kỳ hiệu chỉnh cần thiết nào, do đó có khả năng giảm chi phí và sự bất tiện của quá trình tắt máy để cho phép loại bỏ lưu lượng kế cho mục đích đó.

Đối với các ứng dụng đòi hỏi phải có biên bản kiểm tra, TCVN 8438-1 (ISO 17089-1) sẽ được xem xét.

### 6.5.2 So sánh tốc độ âm tuyệt đối

Khi thành phần chất khí, nhiệt độ, và áp suất được biết, TSOS có thể được so sánh với MSOS như được chỉ ra bởi USM. TSOS có thể được tính từ các giá trị đo áp suất, nhiệt độ và thành phần chất khí sử dụng phương trình trạng thái, chẳng hạn như AGA 10<sup>(1)</sup> hoặc tương đương. Phần mềm độc quyền có sẵn để tính toán TSOS.

SOS là một công cụ tuyệt vời để giám sát trình trạng và chức năng của chính USM, mà còn có thể là bất kỳ thành phần nào khác trong USMP, chẳng hạn như bộ truyền nhiệt độ và áp suất.

Trong các ứng dụng như khí thải, nơi thành phần khí có thể thay đổi đáng kể và nhanh chóng, sự đồng bộ của chỉ thị USM của MSOS và thời gian lấy mẫu đối với thành phần khí là rất quan trọng đối với so sánh SOS. Bàn ghi của MSOS từ USM với thời gian và ngày được kích hoạt.

Do có sự khác biệt không thể chấp nhận giữa các giá trị MSOS và TSOS ban đầu nên đề cập tới việc không chỉ kiểm tra các nguồn dữ liệu áp suất và nhiệt độ mà còn phải khảo sát kỹ thuật lấy mẫu và phương pháp luận cho thành phần khí. Khi những khía cạnh so sánh này được xác nhận, cần tiến hành kiểm tra đầu chuyển đổi để đảm bảo chắc chắn liệu có sự lắng đọng hoặc nhiễm bẩn từ các tạp chất có thể xảy ra.

### 6.5.3 So sánh tốc độ âm tương đối

Một USM với hai hoặc nhiều đường truyền có thể được theo dõi bằng cách so sánh các giá trị SOS trên mỗi đường.

Lợi thế là:

- Không phụ thuộc vào thành phần chất khí
- Phép đo có thể thực hiện dưới các điều kiện dòng chảy - ở vận tốc cao, chiều dài đường truyền âm làm tăng sai lệch khi biên dạng dòng chảy bị méo nghiêm trọng;
- Tính toán có thể được thực hiện tự động như một phần của gói chẩn đoán.

#### 6.5.4 Tỷ số vận tốc

Các vận tốc đường truyền đơn lẻ của một USM đa đường truyền có mối quan hệ phản ánh biên dạng dòng chảy được chi phối bởi cấu hình đường ống. Ở tốc độ cao hơn 1m/s đến 2m/s, các mối quan hệ này không thay đổi đáng kể theo thời gian trong điều kiện hoạt động bình thường của USM, và do đó chúng có thể được giám sát trực tuyến như là chẩn đoán.

#### 6.5.5 Các thông số khác

Mặc dù SOS là một trong những thông số quan trọng nhất được sử dụng để xác minh, nhưng có nhiều thông số được chỉ ra bởi USM, và có thể được giám sát để đảm bảo hiệu suất tối ưu cho USM.

### 6.6 Kiểm định tại hiện trường

#### 6.6.1 Quy định chung

Trường hợp không có khả năng để thực hiện bất kỳ thử nghiệm động nào, chức năng của USM có thể được xác định thông qua một số kỹ thuật.

#### 6.6.2 Các phương pháp kiểm định tại chỗ

##### 6.6.2.1 Phương pháp mặt cắt tốc độ bằng công cụ ống đo tốc độ nước, màng nóng, và cảm biến dây hoặc phong kế.

Phương pháp này dựa trên phép đo gần đúng biên dạng vận tốc của dòng chảy với lấy tích phân thích hợp qua mặt cắt dòng chảy. Việc áp dụng phương pháp mặt cắt tốc độ nên xem xét các quy định có liên quan. Kỹ thuật này bao gồm lấy mẫu hiệu quả về biên dạng lưu lượng, đảm bảo dòng chảy không đổi trong quá trình xác minh.

##### 6.6.2.2 Phương pháp quang học

Phương pháp LDA (tia laser – đo gió Doppler) dựa trên phép đo vận tốc điểm tới điểm bằng các hạt ánh sáng tán xạ. Bởi vì chỉ có đo điểm tới điểm, phương pháp này chỉ áp dụng được khi dòng chảy liên tục được duy trì trong thời gian thử nghiệm.

##### 6.6.2.3 Phương pháp vạch dấu

Phương pháp này liên quan đến việc tiêm một lượng nhỏ đồng vị phóng xạ vào dòng chất khí, nơi nó có thể hòa trộn với chất khí với cùng biên dạng dòng chảy, sau đó nó đi qua hai máy dò.

Các máy dò này được đặt ở vị trí đủ xa sau điểm phun và được cách nhau dọc theo đường chất khí một khoảng cách đã biết. Về cơ bản nó là thời gian đánh dấu đo kỹ thuật bay vận tốc dòng chảy. Một đường ống dẫn chất khí có đường ống chạy thẳng không phải là lựa chọn tốt cho kỹ thuật này, vì cần có nhiều đường kính ống dẫn thẳng, loại 10D đến 20D tùy thuộc vào điều kiện dòng chảy, được yêu cầu để hòa trộn, và sau đó là 5D và 10D để thực hiện phép đo. Mặc dù có thể chấp nhận độ không đảm bảo định nhưng đòi hỏi phải đáp ứng được tất cả các điều kiện lắp đặt quy định, điều này khó có thể đạt được với các đường ống có đường kính lớn, như là đường dẫn khí đốt. Kỹ thuật này có thể đòi hỏi phải mở rộng đường ống thẳng để duy trì độ chính xác chấp nhận được ở vận tốc dòng chảy thấp.

Cũng nên xem xét thời gian thực tế của thử nghiệm, nghĩa là thời gian đi kèm với vị trí xác minh tại chỗ, ngoài bản thân công việc, do đồng vị phóng xạ có chu kỳ phóng xạ giới hạn. Việc xem xét này được áp dụng đặc biệt cho các cơ sở ở xa hoặc ngoài khơi nơi có thể gặp phải sự chậm trễ nghiêm trọng do vận chuyển và thời tiết khó khăn.

#### 6.6.2.4 Báo cáo xác minh tại chỗ

Một báo cáo sẽ được lập ra sau khi hoàn thành các hoạt động xác minh tại chỗ.

Báo cáo này nên bao gồm:

- a) Ngày thử nghiệm;
- b) Dữ liệu được cung cấp từ nhà sản xuất, ví dụ: kích thước đồng hồ và số seri đồng hồ, đối với đồng hồ được thử nghiệm
- c) Mô tả bằng văn bản về quy trình thử nghiệm
- d) Bản chất (ví dụ như thành phần chất khí, độ ẩm) và các điều kiện (áp suất và nhiệt độ) của chất khí thử nghiệm, bao gồm thời gian và ngày so sánh với nhật ký dữ liệu USM.
- e) MSOS từ đồng hồ được thử nghiệm và TSOS có nguồn gốc từ thành phần chất khí, áp suất và nhiệt độ của chất khí thử nghiệm.
- f) Nguồn tài liệu tham khảo cho TSOS.
- g) Tập nhật ký có chứa tất cả dữ liệu được lấy trong quá trình thử nghiệm và/hoặc hiệu chuẩn.
- h) Báo cáo các thông số cấu hình của đồng hồ trong quá trình thử nghiệm
- i) Giá trị của các yếu tố điều chỉnh trong ES của USM trước khi điều chỉnh và giá trị sau khi điều chỉnh
- j) Mô tả bất kỳ thay đổi nào hoặc sai lệch nào từ các điều kiện thử nghiệm yêu cầu.

## Phụ lục A

(Quy định)

### Chú ý ứng dụng đặc biệt về đặc trưng và tạp âm van

#### A.1 Giới thiệu

Kể từ khi áp dụng thành công USM để đo lưu lượng khí, các đồng hồ đo lưu lượng này đã hoạt động tốt với số lượng ứng dụng ngày càng tăng và đang trở thành một tiêu chuẩn mặc định của phép đo có độ chính xác cao. Tuy nhiên, với sự gia tăng số lượng đồng hồ được lắp đặt, một số ứng dụng đã gặp phải tạp âm siêu âm được tạo ra bởi áp suất hoặc sự điều chỉnh dòng chảy tạo ra vấn đề. Khi bắt đầu nghiên cứu xem xét về vấn đề này, rõ ràng là hầu như không có bất kỳ thông tin về tạp âm, đặc biệt là tạp âm trong phạm vi siêu âm và trong đường ống áp suất cao. Mặc dù các mô hình đã có sẵn để mô tả sự phát ra tạp âm trong giải âm thanh, việc mở rộng các mô hình sang phạm vi siêu âm hầu như không được hỗ trợ bởi bất kỳ dữ liệu thực nghiệm nào và hầu hết chúng đều không có hiệu quả.

Do đó, một chương trình thử nghiệm được thiết lập để có được:

- Dữ liệu cơ bản và thông tin cần thiết cho việc thiết kế USM với khả năng miễn nhiễm tạp âm được cải thiện;
- Dữ liệu để xây dựng mô hình có thể sử dụng trước tiên là để dự đoán, mức độ tạp âm được tạo ra và, thứ hai, dự đoán tính năng của USM phụ thuộc vào mức tạp âm siêu âm được dự đoán..

Do đó, cách tiếp cận lý thuyết ban đầu được xây dựng để xác định các yếu tố ưu tiên ảnh hưởng đến việc tạo ra tạp âm. Sau đó một mô hình thực tế đã được phát triển dựa trên các phép đo thực tế thu thập từ thực địa.

#### A.2 Mô hình

##### A.2.1 Lý thuyết tạo ra tạp âm

Van điều khiển áp suất là nguồn chính tạo ra tạp âm siêu âm, và sự tạo ra tạp âm phụ thuộc vào điều kiện hoạt động như giảm áp và lưu lượng dòng chảy.

Đối với các đặc tính, một điểm khởi đầu tốt là mô hình được mô tả trong tài liệu tham khảo [47]. Công suất âm được sinh ra bởi một van điều khiển,  $W_a$ , có thể được mô tả như sau:

$$W_a \propto q_m c_1^2 \left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{p_1}{p_{vc}} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \left( \frac{p_1}{p_{vc}} \right)^{\gamma + \frac{1}{\gamma} - 1} \quad (A.1)$$

Trong đó:

$q_m$  là lưu lượng dòng chảy;

$c_1$  là tốc độ âm đầu nguồn của van điều khiển;

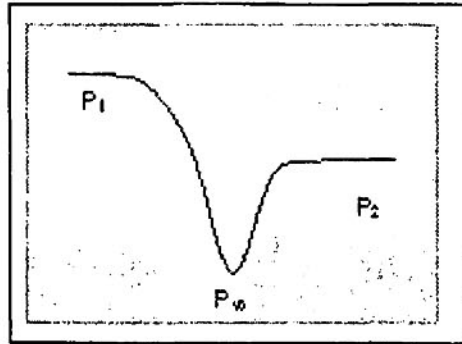
$\gamma = Cp/CV$  hằng số Poisson (đối với các khí tự nhiên chủ yếu theo thứ tự 1,3);

$p_1$  là áp suất đầu nguồn của van điều khiển;

$p_{vc}$  là áp suất lỗ hờ (vena contracta).

Áp suất trong lỗ hờ (vena contracta) có liên quan đến đặc tính van và có thể được mô tả bằng hệ số phục hồi áp suất,  $F_L$  (Xem hình A.1):

$$F_L = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_{vc}} \quad (A.2)$$



Hình A.1 – Áp suất giảm qua van điều khiển

Nhận xét:

- Khi  $p_1 = p_2$  (hồi phục cao), thì  $F_L = 0$
- Khi  $p_2 = p_{vc}$  (không hồi phục), thì  $F_L = 1$
- $F_L$  có thể liên quan đến việc mở van

Công suất âm được sinh ra bởi van điều khiển có thể được tính theo công thức (A.1) và (A.2).

Tuy nhiên, đối với USM không phải là công suất âm như áp suất âm phát ra là điều quan trọng. Dựa trên tài liệu tham khảo [46], mối quan hệ giữa năng lượng âm và áp suất âm phát ra,  $p_n$ , có thể được viết ra như sau:

$$p_n = 2 \times \sqrt{\frac{W_o p c}{A}} \quad (A.3)$$

Trong đó:

- $p$  là mật độ chất khí;
- $c$  là tốc độ âm;
- $A$  là diện tích mặt cắt ngang của ống.



## A2.2 Chi số thực tế

Một trong những khó khăn trong việc sử dụng các công thức (A.1) và (A.3) là xác định giá trị của  $p_{vc}$ , áp suất lỗ hở (vena contracta). Biểu diễn có thể dò được cho  $p_{vc}$ , nhưng chúng có liên quan đến việc mở van điều khiển và các thông số quá trình khác. Cố gắng giải quyết vấn đề này dẫn đến một số lượng lớn các phương trình khác với một loạt các hệ số không xác định. Do đó cần phải áp dụng cách tiếp cận thực nghiệm.

Không chỉ là mức độ tạp âm của van, mà còn là một phương pháp cho phép dự đoán liệu đồng hồ có thể đạt yêu cầu trong một cài đặt nhất định ở một phạm vi hoạt động nhất định hay không. Vì vậy, ngoài mức độ tạp âm (áp suất âm phát ra) được sinh ra ở van, các đặc tính của USM và tính chất của đường ống, ví dụ: khuỷu ống và khớp nối T, cũng như các bộ phận giảm thanh (nếu có), cần được tính đến.

Vì vậy, phương trình Reethof và Ward (tài liệu tham khảo [47]) chỉ được sử dụng để xác định các hệ số quan trọng, dữ liệu đo được sử dụng để lấy được một phương trình thực nghiệm.

Hạn chế của nó với chất khí tự nhiên, sự kết hợp công thức (A.1) và (A.3) đưa ra biểu diễn tạp âm của van,  $L_{p,N,v}$ , trong đó áp suất âm phát ra xấp xỉ tỉ lệ  $p_1/p_{vc}$  và căn bậc hai của khối lượng dòng chảy.

$$L_{p,N,v} \approx p_1 / p_{vc} \sqrt{q_m} \quad (A.4)$$

Nhìn vào mối quan hệ giữa các thành phần này, dựa trên số liệu đo cho chất khí tự nhiên, công thức (A.4) có thể đơn giản hóa thành:

$$L_{p,N,v} \approx \Delta_p \sqrt{q_v} \quad (A.5)$$

Trong đó  $q_v$  là lưu lượng thể tích thực tế, không phải lưu lượng dòng chảy khối lượng

Trọng lượng van,  $N_v$ , sau đó được thêm vào để tính sự phụ thuộc vào cấu trúc van và loại gói sử dụng, dẫn đến:

$$L_{p,N,v} \approx N_v \Delta_p \sqrt{q_v} \quad (A.6)$$

Trọng lượng van xác định độ ồn của van. Giá trị cao chỉ ra một van ồn, giá trị thấp chỉ ra một van tĩnh. Hệ số van có thể khác nhau với điều kiện đầu nguồn và cuối nguồn và cũng là một chức năng của tần số. Trong thực tế, van có tạp âm thấp đã được tìm thấy là van có trọng lượng  $N_v$  chỉ 0,02.

Van có tạp âm lớn nhất có hệ số là 2. Điều này có nghĩa là việc lựa chọn van phải cực kì quan trọng.

### A.2.3 Các thành phần đường ống

Dựa trên lý thuyết hệ thống tuyến tính, các ảnh hưởng từ các phần tử đường ống có thể được biểu diễn bằng một số cho thấy sự suy giảm sóng siêu âm trong giải tần số liên quan. Ảnh hưởng của một số yếu tố đường ống được thể hiện bởi một số  $N_d$ , đó là sự nhân tất cả các yếu tố đường ống riêng lẻ. Giá trị  $N_d$  nằm giữa 0 và 1; sự suy giảm âm của đường ống càng tốt, càng gần giá trị  $N_d$  là 0.

Với điều này, mức độ tạp âm tại vị trí USM được cho bởi:

$$L_{p,N,v} \approx N_d N_v \Delta_p \sqrt{qv} \quad (\text{A.7})$$

#### A.2.4 Cường độ tín hiệu âm

Với tất cả các đầu chuyển đổi siêu âm dựa trên gốm áp điện, độ nhạy của đầu chuyển đổi là tương tự.

Các yếu tố chính để nhận cường độ tín hiệu là:

- Áp suất
- Mật độ
- Chiều dài đường truyền âm hoặc đường kính trong ống đo.

Bên cạnh đó, nếu các kỹ thuật trung bình được áp dụng trong quá trình xử lý tín hiệu, căn bậc hai của số mẫu cũng phải được tính đến.

Đối với chất khí tự nhiên, điều này dẫn đến công thức đơn giản cho tín hiệu,  $P_s$ :

$$P_s = \frac{P}{l_p \sqrt{n_s}} \quad (\text{A.8})$$

Trong đó:

$n_s$  là số mẫu trung bình;

$l_p$  là chiều dài đường truyền âm;

#### A.2.5 Phạm vi hoạt động của đồng hồ lưu lượng siêu âm

Để xác định phạm vi hoạt động của USM, tham số  $\delta(S/N)$  được xác định, phản ánh tỷ lệ giữa tạp âm của van ở vị trí đồng hồ và cường độ tín hiệu.

$$\delta(S/N) = P_{s,USM} / L_{p,N,USM} \quad (\text{A.9})$$

Sử dụng các công thức (A.7) và (A.8), điều này dẫn đến:

$$\delta(S/N) \approx \frac{P \sqrt{n_s}}{l_p N_d N_v \Delta_p \sqrt{qv}} \quad (\text{A.10})$$

CHÚ THÍCH: Trong TCVN 8438-1:2017 (ISO 17089-1:2010), phương trình (27) và (28), cho  $q_m$ , đọc  $q_v$ . Lỗi nhỏ này sẽ được sửa lại trong ấn bản tiếp theo.

Ở một mức độ tín hiệu tạp âm, một USM sẽ ngừng hoạt động. Đây là một tham số đặc biệt dành cho nhà sản xuất, gọi là  $\delta_{critical}$ .

Với  $\delta > \delta_{critical}$ , đồng hồ có đủ các chức năng (nghĩa là có cường độ tín hiệu đủ)

Với  $\delta < \delta_{critical}$ , đồng hồ lỗi (có quá nhiều tạp âm)

Do tính chất ngẫu nhiên của tiếng ồn, trong nhiều trường hợp hệ số an toàn là 2 được đưa vào trong phương trình, để đảm bảo rằng hiệu suất đo lường vẫn còn ở mức rất cao, dù có tạp âm. Với hệ số an toàn này, giá trị của  $\delta$  được giảm đi bởi hệ số 2.

Bảng (A.1) liệt kê các giá trị cho một phép tính mẫu sử dụng công thức (A.10).

**Bảng A.1 – Ví dụ tính toán**

Tính $\delta(S/N)$ trong chất khí tự nhiên		
$p_{min}$	3,41	MPa
$n_s$	1	Số lượng mẫu sử dụng trong quá trình xử lý tín hiệu
$l_p$	0,21	m
$N_d$	0,01	
$N_v$	0,4	
$\Delta p$	4,65	MPa
$qV,max$	19 000	Nm <sup>3</sup> /h
Hệ số an toàn	2	
$\delta(S/N)$		3,17

Các biện pháp thiết thực để giảm mức độ tạp âm

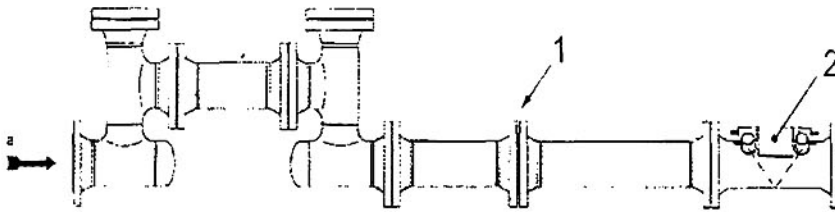
Trong môi trường tạp âm, có ba nguyên tắc cơ bản để vượt qua các vấn đề về tạp âm quá mức:

- a) Bằng sự suy giảm cơ học của tạp âm;
- b) Bằng cách chọn tần số đầu chuyển đổi khác nhau;
- c) Bằng cách áp dụng xử lý tín hiệu tiên tiến;

**A.2.6 Sự suy giảm cơ học**

Có nhiều loại khác nhau của bộ tiêu âm, hầu hết trong số đó bị hạn chế như độ nhạy cảm với độ tích tụ bẩn hoặc giảm áp suất lớn. Loại sau có thể có ý nghĩa vì nó có thể gây nhiễu với sự ổn định của cả hệ thống.

Một trong số ít ngoại lệ là bộ phận ống tiêu âm (xem hình A.2, thường được gọi là cấu hình "Brandenburger Tor" [Brandenburg Gate]) có độ suy giảm tuyệt vời khoảng 40dB kết hợp với mức giảm áp suất tương đối thấp.

**CHÚ DẪN:**

1: bộ xử lý dòng chảy

2: USM

a: tạp âm

**Hình A.2 – Thành phần ống tiêu âm điển hình với bộ xử lý dòng chảy và đồng hồ siêu âm**

Chiều dài đầu vào ở phía trước đồng hồ phụ thuộc vào thiết kế bộ xử lý dòng chảy và cấu hình các đường truyền âm của USM; cho việc này, người sử dụng nên tham khảo ý kiến của nhà sản xuất.

Kết hợp với công nghệ mã hóa xung nén (CPC), kết quả sẽ làm giảm khoảng 55 dB đến 60 dB. Sự kết hợp này có thể đối phó với hầu hết các nhiễu tạp âm.

**A.2.7 Thành phần ống**

Các thành phần đường ống phổ biến nhất là đường góc 90°, cút nối T, và hai đầu nối ngoài. Độ suy giảm được đề cập trong Bảng A.1 là một hướng dẫn chung và phụ thuộc vào tần số hoạt động, mật độ chất khí, tỉ lệ chất lỏng. Đối với đầu chuyển đổi tần số 200kHz, độ suy giảm được trình bày trong Bảng A.2.

**Bảng A.2 – Độ suy giảm của các thành phần ống (ở 200kHz)**

Thành phần ống	Suy giảm điển hình
Cút góc	5 dB
Cút T	9 dB đến 10 dB
Hai đầu nối mặt ngoài	12 dB
Chiều dài thẳng 100m	5 dB

**A.2.8 Các yếu tố khác trong đường ống**

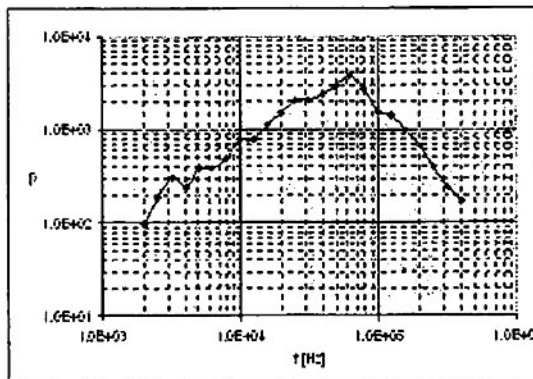
Mỗi yếu tố làm tắc nghẽn dòng chảy cũng làm tán xạ âm và do đó làm giảm tiếng ồn. Trong các đường ống dẫn chất khí, có rất nhiều vật cản "tắc nghẽn" như bộ lọc, bộ trao đổi nhiệt, tấm lỗ nắn dòng chảy, và các đồng hồ dòng chảy khác nhau như là các tấm đục lỗ hoặc lưu lượng kế kiểu tuabin. Sự suy giảm của chúng, ở tần số 200 kHz, được trình bày ở Bảng A.3.

Bảng A.3 – Độ suy giảm của các thành phần khác (ở 200 kHz)

Các thành phần khác	Suy giảm điển hình
Bộ lọc	10 dB đến 20 dB
Bộ trao đổi nhiệt	10 dB đến 20 dB
Lưu lượng kế kiểu tuabin	10 dB đến 20 dB
Thành phần tiêu âm cút T-4	35 dB
Tấm đục lỗ (nắn dòng chảy)	6 dB

**A.2.9 Tần số bộ biến đổi**

Tùy thuộc vào thiết kế và hoạt động điều chỉnh, tạp âm do van tạo ra thường có biên độ cao nhất giữa 30 kHz và 80 kHz và giảm xuống ở tần số cao hơn (xem Hình 3). Tùy thuộc van, có thể thuận lợi để đo tín hiệu âm ở tần số cao hơn, nơi mức độ tạp âm thấp hơn đáng kể. Các USM mới nhất sử dụng đầu chuyển đổi ở tần số 300kHz. Hình A.3 cho thấy sự phân bố áp suất âm điển hình được tạo ra bởi một van điều khiển áp suất. Tại 80 kHz, áp suất tạp âm khoảng 1300 Pa; ở 300 kHz, chỉ còn 115 Pa.



Hình A.3 – phân bố áp suất âm

**A.2.10 Xử lý tín hiệu**

**A.2.10.1 Tổng quan**

Đối với xử lý tín hiệu, có rất nhiều lựa chọn, tùy thuộc vào tần số trung tâm và băng thông của đầu chuyển đổi. Nhìn vào các đồng hồ có sẵn trên thị trường vào thời điểm xuất bản, về nguyên tắc có 3 phương pháp được áp dụng:

- Phép đổi xạ;
- Xếp chồng;
- Mã hóa xung nén.

### A.2.10.2 Phương pháp đối xạ

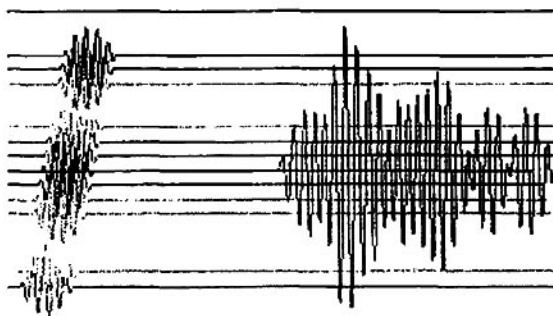
Phương pháp đối xạ là một phương pháp lọc phổ biến sử dụng thuật toán miền tần số. Sự bất lợi là thiếu sự chuẩn xác của phép đo, và do đó phương pháp này thường không được sử dụng cho các đồng hồ để chuyển quyền lưu ký.

### A.2.10.3 Xếp chồng

Xếp chồng cũng là một phương pháp được sử dụng rộng rãi, ví dụ, máy hiện sóng số. Bằng cách một số tín hiệu nhận được được xếp chồng lên nhau. Giả sử rằng các tín hiệu siêu âm là cùng pha và không có tạp âm, tỷ lệ tín hiệu tạp âm tăng lên với số tín hiệu xếp chồng lên nhau. Việc xếp chồng thường cải thiện tỉ số tín hiệu tạp âm bằng cách lấy căn bậc hai của kích thước xếp chồng, ví dụ một chồng của chín tín hiệu nhận được tăng tỉ lệ với tín hiệu tạp âm bởi một hệ số của 3 hoặc 10dB. Điều kiện tiên quyết để thành công là sự ổn định thời gian trong các tín hiệu tiếp nhận, và đó cũng là điểm yếu của phương pháp đo dòng chảy siêu âm này. Do có sự nhiễu loạn, thời gian chuyển tiếp sóng siêu âm có xu hướng dao động, được biểu hiện bởi độ dài xung. Trong trường hợp độ biến động thời gian là tương đối nhỏ, xếp chồng lên nhau có thể áp dụng thành công. Tuy nhiên ở vận tốc dòng chảy cao hơn, thời gian biến động tăng đến mức mà phép đo không thể thực hiện.

### A.2.10.4 Mã hóa xung nén

CPC là công nghệ xử lý tín hiệu tiên tiến được thiết kế để vượt qua các vấn đề thời gian biến động của xếp chồng. Để tái tạo tín hiệu ban đầu và loại bỏ các thành phần biến động thời gian, thay vì một tín hiệu duy nhất, một cụm phức hợp được tạo ra bao gồm một số lượng lớn các xung riêng lẻ truyền trong một kiểu mã hóa thời gian nhất định (xem Hình A.4). Tại vị trí thu, mã thời gian chuyển tiếp này được sử dụng để tái tạo lại tín hiệu ban đầu.



Hình A.4 – Truyền một cụm nhiều xung

### Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] ISO 3, *Preferred numbers — Series of preferred numbers*, Các số ưu tiên – chuỗi số ưu tiên
- [2] TCVN 8113-1(ISO 5167-1), *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements*, Đo dòng lưu chất bằng các thiết bị chênh áp gắn vào các đường ống có tiết diện tròn chảy đầy - Phần 1: Nguyên lý chung và yêu cầu.
- [3] TCVN 8114 (ISO 5168), *Measurement of fluid flow — Procedures for the evaluation of uncertainties*, Đo lưu lượng lưu chất - Phương pháp đánh giá độ không bảo đảm đo
- [4] ISO 7870-4, *Control charts — Part 4: Cumulative sum charts*, Biểu đồ kiểm soát – Phần 4: Biểu đồ lũy tích
- [5] TCVN 8115 (ISO 9951), *Measurement of gas flow in closed conduits — Turbine meters*, Đo lưu lượng khí trong ống dẫn kín - Đồng hồ turbine
- [6] TCVN 8780:2011 (ISO 11631:1998), *Measurement of fluid flow — Methods of specifying flowmeter performance*, Đo dòng lưu chất – Phương pháp qui định tính năng của lưu lượng kế
- [7] TCVN ISO/IEC 17025 (ISO/IEC 17025), *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, Yêu cầu chung về năng lực của phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn
- [8] TCVN 7870-4:2007 (ISO 80000-4:2006), *Quantities and units — Part 4: Mechanics*, Đại lượng và đơn vị. Phần 4: Cơ học
- [9] TCVN 9595-3 (ISO/IEC Guide 98-3), *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*, Độ không đảm bảo đo – Phần 3: Hướng dẫn trình bày độ không đảm bảo đo (Gum:1995)
- [10] TCVN 6165:2009 (ISO/IEC Guide 99:2007), *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, Từ vựng quốc tế về đo lường – Khái niệm, thuật ngữ chung và cơ bản (VIM)
- [11] AGA 10, *Speed of sound in natural gas and other related hydrocarbon gases*, Tốc độ âm thanh trong khí tự nhiên và trong các khí hydrocacbon khác có liên quan
- [12] GERG 2008 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures GERG TM15 2007, Phương trình trạng thái phạm vi rộng cho các khí tự nhiên và các hỗn hợp khác GERG TM15 2007
- [13] OIML D 11, *General requirements for electronic measuring instruments*. Available (2012-06-06) at: <http://www.oiml.org/publications/D/D011-e04.pdf>, các yêu cầu chung cho các dụng cụ đo lường điện tử.
- [14] OIML R 137-1, *Gas meters — Part 1: Requirements*. Available (2012-06-06) at: <http://www.oiml.org/publications/R/R137-1-e06.pdf>, đồng hồ chất khí – Phần 1: các yêu cầu.

- [15] Directive 2004/22/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on measuring instruments. *Off. J. Eur. Union* 2004-04-30, L135, pp. 1–80, Chỉ thị 2004/22/EC của nghị viện và hội đồng châu âu ngày 31 tháng 03 năm 2004 về các dụng cụ đo lường. *Off. J. Eur. Union* 2004-04-30, L135, trang 1–80
- [16] Directive 97/23/EC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment. *Off. J. Eur. Union* 1997-07-09, L181, pp. 1–68, Chỉ thị 9723/EC của nghị viện và hội đồng châu âu ngày 29 tháng 5 năm 1997 về việc áp dụng luật của các nước thành viên liên quan đến thiết bị áp suất. *Off. J. Eur. Union* 1997-07-09, L181, trang 1–68
- [17] Broca O., Escanda J., Delenne B. Influence of flow conditions on an ultrasonic flow meter. Flomeko, 2003, Ảnh hưởng của các điều kiện dòng chảy trên một đồng hồ siêu âm. Flomeko, 2003
- [18] de Boer G., Huijsmans F. New design concepts in ultrasonic gas flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 2000, Các khái niệm thiết kế mới trong các đồng hồ lưu lượng siêu âm. Hội thảo đo lường dòng chảy Biển Bắc.
- [19] de Boer G., Kurth M. Investigation regarding installation effects for small ultrasonic metering packages. North Sea Flow Measurement Workshop, 1999, Điều tra về các tác động cài đặt cho các gói đo siêu âm nhỏ. Hội thảo đo lường Biển Bắc, 1999
- [20] Bokhorst E. Impact of pulsation sources in pipe systems on multipath ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 2000, Ảnh hưởng của các nguồn xung trong các hệ thống ống trên đồng hồ lưu lượng siêu âm đa đường. Hội thảo đo lường Biển Bắc, 2000
- [21] Brown G. Velocity profile effects on multipath ultrasonic flow meters. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006, Hiệu ứng biên dạng vận tốc trên đồng hồ lưu lượng siêu âm đa đường. Hội nghị quốc tế lần thứ 6 về đo lường lưu lượng chất lỏng, 2006
- [22] Calogirou A., Boekhoven J., Henkes R.A.W.M. Effect of wall roughness changes on ultrasonic gas flow meters. *Flow Meas. Instrum.* 2001, 12(3), pp. 219–229, Ảnh hưởng của sự thay đổi độ nhám thành ống đối với các đồng hồ lưu lượng siêu âm.
- [23] Commissaris K.H., De Boer G. Realization of compact metering runs with ultrasonic gas flow meters and reducing measurement uncertainty. Flomeko, 2003, Thực hiện kết hợp đo lường với đồng hồ siêu âm và giảm độ bất ổn của phép đo.
- [24] Coull J.C., Barton N.A. Investigation of the installation effects on ultrasonic flow meters and evaluation of computational fluid dynamics prediction methods. North Sea Flow Measurement Workshop, 2002, Điều tra các tác động lắp đặt trên các đồng hồ lưu lượng siêu âm và đánh giá các phương pháp dự báo động chất lỏng. Hội thảo đo lường dòng chảy Biển Bắc



- [25] Dane H.J., Wilsack R. Upstream pipe wall roughness influence on ultrasonic flow measurement. AGA Operations Conference, 1999, Ảnh hưởng của độ nhám ống đầu nguồn tới phép đo dòng chảy siêu âm.
- [26] Drenthen J.G., Kurth M., Vermeulen M. The use of ultrasonic flow meters at M&R stations. AGA Operations Conference, 2006, Sử dụng các đồng hồ lưu lượng siêu âm ở các trạm M&R.
- [27] Drenthen J.G., De Boer G. The manufacturing of ultrasonic gas flow meters. *Flow Meas. Instrum.* 2001, 12(2), pp. 89–99, Sản xuất đồng hồ lưu lượng siêu âm.
- [28] Drenthen, J.G. The use of the speed of sound as a verification tool. Instromet International publication, 2000, Sử dụng tốc độ âm thanh như một công cụ xác minh.
- [29] Drenthen j.g., kurth m., van klooster J. A novel design of a 12 chord ultrasonic gas flow meter with extended diagnostic functions. AGA Operations conference, 2007, Một thiết kế mới của đồng hồ lưu lượng siêu âm 12 chùm với các chức năng chẩn đoán mở rộng.
- [30] Folkestad T., Flolo D., Tunheim H., Nesse O. Operating experience with two ultrasonic gas meters in series. North Sea Flow Measurement Workshop, 2003, Kinh nghiệm vận hành với hai đồng hồ siêu âm nối tiếp.
- [31] Furuichi N., Sato H., Terao Y. Effect of surface roughness of pipe wall for transit time ultrasonic flowmeter. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006, Ảnh hưởng của độ nhám bề mặt thành ống đối với thời gian chuyển tiếp sóng siêu âm lưu lượng kế. Hội nghị quốc tế lần thứ 6 về đo lường chất lỏng, 2006
- [32] GERG Project group. *Present status and future research on multi-path ultrasonic gas flow meters.* Programme Committee No. 2: Transmission and Storage, Groupe Européen De Recherches Gazières, 1995. (GERG Technical Monograph 8), Dự án GERG. Hiện trạng và nghiên cứu trong tương lai về các đồng hồ lưu lượng khí siêu âm. Ủy ban chương trình số 2: Vận chuyển và lưu trữ, Groupe Européen De Recherches Gazières, 1995. (chuyên đề kỹ thuật 8 của GERG)
- [33] GERG Project group. *GERG project on ultrasonic gas flow meters, Phase II.* (GERG Technical Monograph 11.), Dự án GERG. Dự án GERG về đồng hồ lưu lượng khí siêu âm, giai đoạn 2.
- [34] GERG Project Group. Evaluation of flow conditioners — Ultrasonic meters combinations. North Sea Flow Measurement Workshop, 2004, Dự án GERG. Đánh giá kết hợp thiết bị xử lý dòng chảy – đồng hồ siêu âm. Hội thảo đo lường dòng chảy Biển Bắc.
- [35] Grimley T.A. Performance testing of ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 1997. Thử nghiệm hiệu suất của đồng hồ lưu lượng siêu âm. Hội thảo đo lường dòng chảy Biển Bắc.

- [36] Karnik U., Geerlings J. The effect of steps and wall roughness on multipath ultrasonic meters. 5<sup>th</sup> International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2002, Ảnh hưởng của các bậc và độ nhám thành ống trên đồng hồ siêu âm đa đường. Hội nghị quốc tế lần thứ 5 về đo lưu lượng chất lỏng, 2002
- [37] Kegel T.M. Uncertainty analysis of turbine and ultrasonic meter volume measurements. AGA Operations Conference, Orlando, FL, 2003, Phân tích độ bất ổn của phép đo khối lượng đồng hồ đo kiểu tuabin và siêu âm. Hội nghị hoạt động AGA, Orlando, FL, 2003
- [38] Lansing J., De Boer G. Benefits of dry calibration of ultrasonic gas flow meters. AGA Operations Conference, 1998, Lợi ích của việc hiệu chuẩn khô đồng hồ lưu lượng siêu âm. Hội nghị hoạt động AGA.
- [39] Mantilla J., Haner W. Process variable stability, data processing and installation end environmental influences during ultrasonic meter calibration. 6<sup>th</sup> International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006, Ảnh hưởng của môi trường trong quá trình biến đổi ổn định, xử lý dữ liệu và kết thúc cài đặt trong khi hiệu chuẩn đồng hồ siêu âm. Hội nghị quốc tế lần thứ 6 về đo lường lưu lượng chất lỏng, 2006
- [40] Moore P.I., Brown G.J., Stimpson B.P. Modelling of transit time ultrasonic flow meters in theoretical asymmetric flow. Flomeko, 2000, Mô hình hóa thời gian chuyển tiếp đồng hồ lưu lượng siêu âm trong lý thuyết dòng chảy bất đối xứng. Flomeko, 2000
- [41] Moore P.I. Modelling of installation effects on transit time ultrasonic flow meters in circular pipes, Ph.D. thesis, University of Strathclyde, 2000, Mô hình hóa ảnh hưởng của lắp đặt đối với thời gian chuyển tiếp đồng hồ lưu lượng sóng siêu âm trong các đường ống tròn, luận án tiến sĩ, trường đại học Strathclyde
- [42] Morrison G.L., Tung K. Numerical simulation of the flow field downstream of 90 degree elbows and the simulated response of an ultrasonic flow meter. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2001. (Report No. GRI-01/0090.), Mô hình số hóa dòng chảy vùng hạ nguồn của ống khuỷu 90 độ và mô phỏng phản ứng của đồng hồ siêu âm.
- [43] Morrison G.L. Pipe wall roughness effect upon orifice and ultrasonic flow meters. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2001. (Report No. GRI-01/0091, Ảnh hưởng của độ nhám thành ống lên miệng và đồng hồ lưu lượng siêu âm. Chicago, IL: Viện nghiên cứu chất khí, 2001.
- [44] Morrison G.L., Brar P. CFD evaluation of pipeline gas stratification at low flow due to temperature effects. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2004. (Topical Report GRI-04/0185.), CFD đánh giá sự phân tầng chất khí ở đường ống dẫn ở dòng chảy chậm do ảnh hưởng của nhiệt độ. Chicago, IL: Viện nghiên cứu chất khí, 2004.
- [45] Morrow, T.B. Line pressure and low-flow effects on ultrasonic gas flow meter performance. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2005-03. (Topical Report GRI-05/0133.), áp suất dòng và các hiệu

ứng dòng chảy chậm đối với hiệu suất của đồng hồ lưu lượng siêu âm. Chicago, IL: Viện nghiên cứu chất khí, 2005-03.

[46] Morse P.m., Ingard k.u. *Theoretical acoustics*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1986. 927 p., Lý thuyết âm. Princeton, NJ: Nhà xuất bản đại học Princeton,

[47] Reethof g., ward W.C. A theoretically based valve noise prediction method for compressible fluids. *J. Vib. Acoust. Stress Reliab. Des.* 1986, **108**, pp. 329–338, Một phương pháp dự báo dựa trên lý thuyết tạp âm do van sinh ra do chất lỏng nén. *J. Vib. Acoust. Stress Reliab. Des.* 1986, **108**, trang 329–338.

[48] Riezebos H.J. Whistling flow straighteners and their influence on US flow meter accuracy. North Sea Flow Measurement Workshop, 2000, Thiết bị nắn dòng chảy và ảnh hưởng của chúng đến độ chính xác của đồng hồ lưu lượng US. Hội thảo đo lường dòng chảy Biển Bắc, 2000

[49] Sloet G.H. Bi-directional fiscal metering stations by means of ultrasonic meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 1999, Ngân khố cho các trạm đo lường hai chiều bằng phương pháp sóng siêu âm. Hội nghị đo lường dòng chảy Biển Bắc, 1999

[50] Smalling J.W., Braswell L.D. Flare gas ultrasonic flow meter. Proceedings of the 39th Annual Symposium for the Process Industries, đồng hồ lưu lượng siêu âm khí thải. Kỳ yếu hội thảo thường niên lần thứ 39 cho các ngành công nghiệp quá trình.

[51] Stoll P., Slawig H., Müller C., Boer G., Vermeulen M. Ultrasonic noise characteristics of valves with respect to ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 1998, Các đặc tính tạp âm siêu âm của van đối với các đồng hồ lưu lượng siêu âm. Hội nghị đo lường dòng chảy Biển Bắc, 1998

[52] Vermeulen M.J.M., De Boer G. A model for the estimation of the ultrasonic noise level emitted by pressure regulating valves and its influence on ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 2003, Mô hình ước lượng mức tạp âm siêu âm phát ra từ van điều áp và ảnh hưởng của nó đến đồng hồ siêu âm.

[53] Vermeulen M.J.M., De Boer G., Buijen van Weelden A., Botter E., Dijkmans R. Coded multiple burst (CMB) signal processing applied to ultrasonic flow meters in applications with high noise levels. North Sea Flow Measurement Workshop, 2004, Xử lý cụm tín hiệu mã hóa (CMR) áp dụng cho các đồng hồ lưu lượng siêu âm trong các ứng dụng có mức tạp âm cao.

[54] Volker H., Wehmeier M., Dietz T., Ehrlich A., Dietzen M. The use of an 8 path ultrasonic meter as a reference standard. 5th International South East Asia Hydrocarbon Flow Measurement Workshop, 2005, Sử dụng một đồng hồ siêu âm 8 đường truyền như là một tiêu chuẩn tham chiếu.

[55] Wilsack R. Integrity of custody transfer measurement and ultrasonic technology. CGA Measurement School, 1996, Tính toàn vẹn của phép đo trong giao nhận thương mại và công nghệ siêu âm.

[56] Zanker K. The calibration, proving and validation of ultrasonic flow meters. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006, Hiệu chuẩn, thử nghiệm và xác nhận đồng hồ lưu lượng siêu âm. Hội nghị quốc tế lần thứ 6 về đo lưu lượng chất lỏng, 2006.

---