

ДОДАТОК 6.D

(обов'язковий)

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ ЗА МЕТОДОМ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ РЕЧОВИНИ-СВІДКА

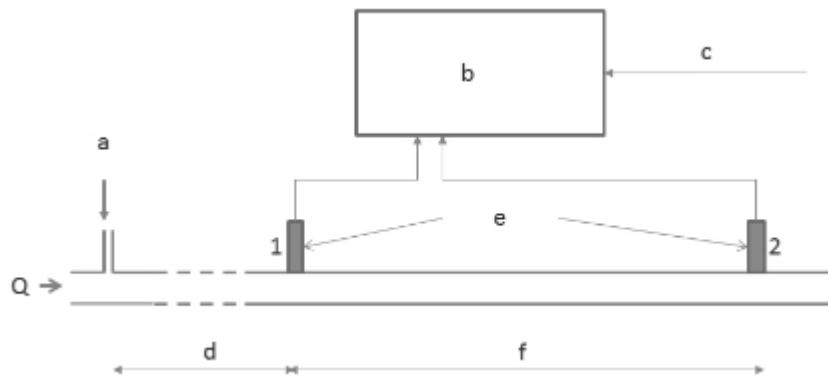
6.D.1 Існуючі стандарти

Незважаючи на те, що вимірювальне устаткування сильно застаріло, стандарти BS 5857-1.4:1980 [18] та BS 5857-2.4:1980 [19] дають повне уявлення про фізичні основи цього методу. У стандарті ASME MFC-13M-2006 [12] надано лише короткий якісний опис використання методу часу проходження.

6.D.2 Метод визначення часу проходження

6.D.2.1 Суть методу

У потік димового газу миттєво вводять дуже невелику кількість речовини-свідка. Після того, як імпульс речовини-свідка пройшов через поперечний переріз потоку, вимірюють час його проходження між двома точками вимірювання, розташованими на відповідній прямій ділянці повітроводу. Об'ємну витрату обчислюють шляхом ділення об'єму повітроводу між точками вимірювання на час проходження, див. 6.D.2.3. Суть вимірювання схематично показана на рисунку 6.D.1.



Умовні позначки:

- a — вхід імпульсу речовини-свідка
- b — модуль реєстрації даних
- c — сигнал автоматизованої вимірювальної системи
- d — довжина змішування
- e — точки вимірювання
- f — секція вимірювання

Рисунок 6.D.1 – Суть методу вимірювання витрати за часом прольоту речовини-свідка

6.D.2.2 Вибір речовини-свідка

Речовина-свідок повинна рухатися за потоком димових газів у повітроводі. Це може бути газ або досить дрібні частинки. Вона може бути радіоактивною або інертною. Перевага радіоактивних речовин-свідків полягає в тому, що їх можна виявляти через стінку димової труби. Недоліком є можлива складність або затримка в отриманні дозволу на використання від національних органів з радіаційної безпеки, навіть якщо використовують радіоактивну речовину-свідок з дуже коротким періодом напіврозпаду.

Відповідні неактивні речовини-свідки не потребують отримання дозволу на безпечне використання, але з технічної точки зору їх складніше впровадити. Інертна речовина-свідок повинна бути такою, щоб константа часу її виявлення була порядку декількох мілісекунд або менше. Ця вимога пов'язана з тим, що час проходження, який необхідно точно виміряти, становить від кількох секунд до деяких часток секунди. У разі димових повітроводів досить просто виконати

з'єднання, через які детектор можна ввести в контакт з потоком. Це дозволяє використовувати неактивні речовини-свідки, які можна виявити, наприклад, за допомогою ультразвуку або оптичних методів.

6.D.2.3 Процедура калібрування витрати в АВС

Контрольне значення витрати, отримане за допомогою методу часу проходження, порівнюють з одночасним сигналом потоку АВС. Для того, щоб отримати результат калібрування за рівнем потоку, виконують кілька повторень вимірювань (зазвичай від 7 до 15). Для отримання якісного та репрезентативного результату калібрування бажано, щоб кількість рівнів потоку була від 2 до 3.

6.D.2.4 Обчислення контрольних значень

Середню швидкість димового газу визначають як:

$$v = \frac{L}{t}, \quad (6.D.1)$$

де v – середня швидкість, м/с;

L – довжина секції вимірювання, тобто довжина димової труби між двома рівнями вимірювання;

t – час проходження імпульсу речовини-свідка між двома точками вимірювання, с.

Об'ємну витрату, q_V , м³/с, визначають як:

$$q_V = vA, \quad (6.D.2)$$

де A – площа поперечного перерізу повітроводу, м².

6.D.2.5 Вимоги до місця проведення вимірювань

6.D.2.5.1 Площа перерізу повітроводу

Площа перерізу повітроводу між двома точками вимірювання повинна бути постійною.

6.D.2.5.2 Довжина секції вимірювання

Повітровід між двома точками вимірювання повинен бути прямим, щоб можна було точно визначити об'єм. Для вимірювання часу проходження з

максимальною точністю довжина повітроводу між точками виявлення повинна становити $\geq 10 d_d$, де d_d – діаметр повітроводу.

6.D.2.6 Умови потоку

Потік повинен бути турбулентним. Ця умова за визначенням завжди виконується в димових повітроводах.

6.D.3 Мінімальні вимоги

6.D.3.1 Речовина-свідок

Речовина-свідок повинна бути здатна повністю перемішуватися в поперечному перерізі потоку димового газу, тобто мати таку саму середню швидкість, що й димовий газ. Неприпустима значна адсорбція речовини-свідка на стінках повітроводу.

6.D.3.2 Змішування

Речовина-свідок повинна перемішуватися по перерізу потоку, коли вона надходить на секцію вимірювання. Необхідний ступінь змішування залежить від характеристик використовуваного методу вимірювання концентрації речовини-свідка. Якщо вимірювання дає значення, добре усереднені по перерізу потоку, змішування в приблизному масштабі вважають достатнім. Навпаки, вимірювання концентрації в точці перерізу вимагає більш ретельного перемішування речовини-свідка по перерізу. Про недостатнє перемішування зазвичай свідчить також значне збільшення відхилення між повторними вимірюваннями.

6.D.3.3 Секція вимірювання

Секція вимірювання, на якій вимірюють час проходження речовини-свідка, повинна бути прямолінійною ділянкою повітроводу та мати постійний переріз і достатню загальну довжину. Мінімальна загальна довжина залежить від тривалості імпульсу речовини-свідка на секції вимірювання, швидкості потоку димових газів, діаметра каналу, бажаного рівня невизначеності вимірювань тощо. Для досягнення максимальної точності секція вимірювання повинна бути завдовжки $\geq 10 d_d$. На практиці це не є обмеженням, оскільки високі димові труби забезпечують ідеальну секцію вимірювання для визначення часу проходження.

Об'єм секції вимірювання речовини-свідка можна легко і точно визначити за допомогою лазерного вимірювання як внутрішнього діаметра, так і довжини секції вимірювання.

6.D.3.4 Вимірювання концентрації речовини-свідка

Концентрацію імпульсу речовини-свідка вимірюють в двох місцях вимірювання. Повинно бути зазначено, що метод вимірювання концентрації є лінійним.

Вимірюванню концентрації не повинні заважати можливі швидкі зміни характеристик димового газу або умов вимірювання.

6.D.4 Експлуатаційні вимоги

6.D.4.1 Впорскування

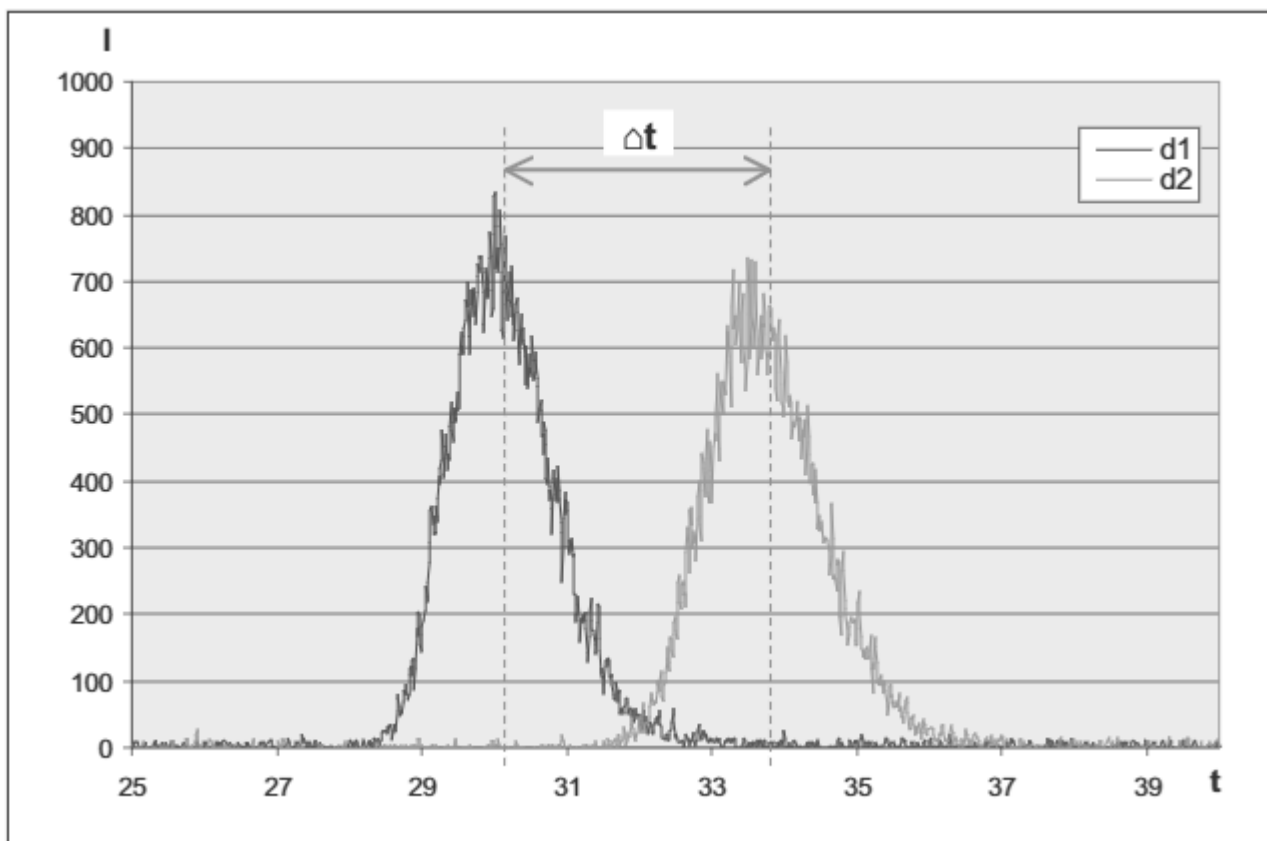
Імпульс речовини-свідка, що впорскують в потік димового газу, повинен бути настільки коротким, щоб не перевищувати тривалості імпульсу на секції вимірювання. Час впорскування від 0,5 с до 1 с зазвичай є достатньо коротким.

6.D.4.2 Вимірювання імпульсу речовини-свідка

Вимірюваний час проходження зазвичай становить від 0,5 с до декількох секунд. Константа часу вимірювання концентрації речовини-свідка та часовий інтервал збору даних повинні становити декілька мілісекунд, щоб можна було точно відтворити імпульс речовини-свідка. Вимірюванню концентрації, яке дає усереднене значення по перерізу повітроводу, слід надавати перевагу, оскільки воно, порівняно з точковим вимірюванням, є кращим для неповного змішування і порушеного профілю потоку.

6.D.4.3 Обчислення часу проходження

Час проходження обчислюють як різницю в часі імпульсів концентрації, виміряних на початку і в кінці секції вимірювання. Різницю в часі обчислюють за допомогою медіани імпульсу, яка ділить імпульс на дві частини з рівними площами, див. Рисунок 6.D.2.



Умовні позначки:

l	— імпульс/с	виміряна інтенсивність випромінювання
t	— с	час
Δt	с	час проходження
$d1, d2$	—	детектор випромінювання

Рисунок 6.D.2 – Визначення часу проходження

З огляду на фізику, коректним способом обчислення різниці в часі є використання центрів тяжіння імпульсів. Однак рекомендовано використовувати медіанні значення імпульсів, оскільки вони менш критичні для правильного віднімання фону. За нормальних умов вимірювання, тобто на прямій секції вимірювання в повітроводі з постійним перерізом, різниця між швидкостями в центрі тяжіння імпульсу і в медіані виявилася незначною.

6.D.4.4 Обчислення контрольного значення витрати

Опорне значення швидкості отримують шляхом ділення L , довжини секції вимірювання, на час проходження, t . Контрольне значення витрати отримують шляхом множення контрольного значення швидкості на внутрішній переріз повітроводу.

L вимірюють за допомогою каліброваної вимірювальної стрічки або каліброваного лазерного далекоміра. Внутрішній переріз зазвичай визначають шляхом вимірювання внутрішнього діаметра круглого димової труби. Найбільш достовірно діаметр визначають шляхом вимірювання в двох перпендикулярних напрямках за допомогою лазерного далекоміра.

6.D.5 Невизначеність результату калібрування

6.D.5.1 Суть обчислення

Невизначеність вимірювання обчислюють з рівнем достовірності 95 %, як описано в цьому стандарті. Метод обчислення невизначеності відповідає стандарту EA-4/02 [21].

Невизначеність результату калібрування складається з двох частин:

- a) невизначеність контрольної витрати, що виникає внаслідок визначення об'єму секції вимірювання та вимірювання часу устаткуванням;
- b) невизначеність при порівнянні контрольної витрати та показань АВС, що підлягають калібруванню, зокрема випадкова невизначеність.

6.D.5.2 Невизначеність вимірювання об'єму та часу

При вимірюванні викидів димових газів об'єм секції вимірювання зазвичай визначають шляхом вимірювання L , довжини секції вимірювання, та D , внутрішнього діаметру повітроводу. У цьому випадку рівняння для контрольної об'ємної витрати має вигляд:

$$q_V = \frac{\pi D^2 L}{4 t}, \quad (6.D.3)$$

Часткові похідні щодо різних вхідних величин:

$$\frac{\partial q_{V,ref}}{\partial L} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D^2}{t}, \quad (6.D.4)$$

$$\frac{\partial q_{V,ref}}{\partial D} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{LD}{t}, \quad (6.D.5)$$

$$\frac{\partial q_{V,ref}}{\partial t} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{LD^2}{t^2}, \quad (6.D.6)$$

Стандартна невизначеність $u_{q_{V,ref}}$ контрольної об'ємної витрати може бути отримана шляхом квадратичного підсумовування стандартних невизначеностей $u(x_i)$ різних вхідних величин x_i , помножених на відповідні коефіцієнти чутливості c_i .

$$u_{q_{V,ref}}^2 = \sum [c_i u(x_i)]^2 = \sum \left[\frac{\partial q_{V,ref}}{\partial x_i} u(x_i) \right]^2, \quad (6.D.7)$$

Стандартні значення невизначеності вхідних величин отримані, як показано в пунктах а) та б).

- а) Для величини, яку отримано як середнє значення кількох незалежних спостережень з відповідною точністю, стандартну невизначеність отримують діленням експериментального стандартного відхилення на квадратний корінь з кількості спостережень (ЕА-4/02:1999, [21] тип А).
- б) Для відкаліброваного вимірювального устаткування стандартну невизначеність отримують із сертифікатів калібрування шляхом ділення вираженої невизначеності на коефіцієнт покриття k , який зазвичай дорівнює 2 (ЕА-4/02:1999, [21] тип В).

При обчисленні часу проходження стандартні невизначеності отримують наступним чином.

- $u(L)$. Для вимірювання L використовують калібровані вимірювальні стрічки або лазерні далекоміри. Невизначеність, спричинена робочими умовами, є значно більшою, ніж невеликі невизначеності, які вказані виробниками устаткування та отримують в лабораторних умовах.
- $u(D)$. В умовах штабелювання кращим способом визначення D є використання лазерного далекоміру. Вимірювання слід проводити, за можливості, перпендикулярно діаметрам, щоб визначити будь-яку можливу овальність димової труби.
- $u(t)$. Вимірювання часу калібрувальним устаткуванням можна легко і точно відкалібрувати, тому апаратна невизначеність є незначною

(менше ніж 0,01 %). Невизначеність розрахункового часу проходження головним чином має стохастичний характер. Таким чином, вона врахована в загальній статистичній невизначеності калібрування і розглядають її нижче у зв'язку з невизначеністю порівняння контрольної витрати і показань АВС.

6.D.6 Чисельний приклад обчислення невизначеності при калібруванні витрати димових газів

6.D.6.1 Невизначеність $q_{V,ref}$

Довжина L (в цьому прикладі 62,577 м):

- a) технічні характеристики вимірювальної стрічки класу 2: $U = \pm (1 + 0,2L[\text{м}]) \text{ мм} = > \pm 13,2 \text{ мм}$.
- b) розтягування стрічки понад номінальне зусилля 50 Н: $U = \pm 20 \text{ Н} \times (5 \text{ нм/Н})L[\text{м}] = > \pm 6,3 \text{ мм}$.
- c) розтягування стрічки в залежності від температури; $u = \pm 10 \text{ }^\circ\text{C} \times (12 \text{ нм/}^\circ\text{C})L[\text{м}] = > \pm 7,5 \text{ мм}$.
- d) передача показань стрічки в положення датчика; $u = \pm 100 \text{ мм}$.

Всі ці компоненти невизначеності, пов'язані з L , задані верхньою та нижньою межами, а розподіл ймовірностей між межами вважають прямокутним (ЕА-4/02:1999 [21], 3.3.2, тип В, приклад С). Стандартну невизначеність кожного з цих компонентів вхідних оцінок отримують шляхом ділення граничних значень на $\sqrt{3}$. Квадратний корінь з суми квадратів цих некорельованих значень дає стандартну невизначеність для L , $u_L = 58,5 \text{ мм}$ (передача зчитування з стрічки є переважною).

Внутрішній діаметр D (= 3580 мм).

- 1) Технічні характеристики лазерного далекоміра (відстань до 30 м), $u = \pm 3 \text{ мм}$.
- 2) Перенесення налаштування нульової точки датчика на внутрішню стінку димової труби; $u = \pm 2 \text{ мм}$.
- 3) Компоненти невизначеності 1) і 2), пов'язані з D , задані верхньою і нижньою межами з прямокутним розподілом ймовірностей (тип В,

приклад С) – стандартну невизначеність кожної з цих компонентів вхідного оцінювання отримують шляхом ділення граничних значень на $\sqrt{3}$.

- 4) Фокусування точки вимірювання на протилежній стінці оцінювали відповідно до положень стандарту ЕА-4/02:1999 [21] методом типу А. Комплексні випробування показали, що для цієї частини методу вимірювання експериментальна дисперсія становила 20 мм^2 , а розподілення було нормальним. У цьому калібруванні вимірювання D базується на обмеженій кількості повторень: п'ять повторень. Експериментальну дисперсію 20 мм^2 , що базується на комплексних випробуваннях, використовують тут як об'єднане оцінювання дисперсії. Для компонента 3) це дає стандартну невизначеність $u = \sqrt{(20/5)} = 2,0 \text{ мм}$.

В цьому випадку овальність димової труби не була виявлена.

Квадратний корінь суми квадратів некорельованих складових 1) – 3) дає стандартну невизначеність для D , $u_D = 2,9 \text{ мм}$.

Час проходження t (середнє значення – 3,645 с).

- Детектори та підсилювачі сигналу мають невелике відхилення часу спрацьовування. Пов'язана (розширена) невизначеність становить $u = 1 \text{ мс}$ (нормальний розподіл, $k = 2$).
- Апарат реєстрації даних має часову (розширену) невизначеність вимірювання $u = 100 \text{ нс}$ або 0,01 % від довжини часового інтервалу (нормальний розподіл, $k = 2$).

Ці невизначеності, пов'язані з вимірюванням часу проходження, відповідають оцінюванню ЕА-4/02:1999 [21], 3.2, тип А. Стандартну невизначеність кожного з цих компонентів вхідного оцінювання визначають шляхом ділення заданих значень u на коефіцієнт покриття, $k = 2$. Квадратний корінь суми квадратів цих некорельованих значень дає стандартну невизначеність для t , $u_t = 0,53 \text{ мс}$.

Кореляція вхідних величин, пов'язаних з $q_{V,ref}$: жодну з вхідних величин для визначення $q_{V,ref}$ не вважають корельованою значною мірою.

Сумарна невизначеність, пов'язана з $q_{V,ref}$: вплив кожного компонента u_L та u_t на $q_{V,ref}$ обчислюють шляхом множення кожного u_i на відповідний коефіцієнт чутливості c_i . Квадратний корінь суми квадратів цих значень впливу дає стандартну невизначеність, що дорівнює $q_{V,ref,u_{q_{V,ref}}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{с}$.

6.D.6.2 Загальна невизначеність

Див. Таблицю 6.D.1.

Звітну розширену невизначеність вимірювання визначають як стандартну невизначеність вимірювання, помножену на коефіцієнт покриття $k = 2,37$, що для t -розподілу з $v_{eff} = 8$ ефективними ступенями свободи відповідає ймовірності покриття приблизно 95 %. Стандартну похибку вимірювання визначають відповідно до EA-4/02 [21].

Таблиця 6.D.1 – Бюджет невизначеності

Кількість	Оцінка	Одиниця виміру	Стандартна невиз-ність	Одиниця виміру	Розподіл імовірностей	Коефіцієнт чутливості	Одиниця виміру	Вплив невиз-ності	Одиниця виміру
X_i	x_i		$u(x_i)$			c_i		$c_i(y)$	
Визначення $q_{V,ref}$									
L	62,557	м	58,5	мм	прямокутний	2,762	м ² /с	0,161	м ³ /с
– базова невизначеність вимірювальної стрічки			7,6		прямокутний				
– розтягнення вимірювальної стрічки під дією зусилля натягу			3,6		прямокутний				
– розтягнення вимірювальної стрічки під дією температури			4,3		прямокутний				
– стрічка для перенесення вимірювань → детектори			57,7		прямокутний				
D	3580	мм	2,9	мм	прямокутний + звичайний	96,521	м ² /с	0,279	м ³ /с
– базова невизначеність лазера			1,7		прямокутний				
– налаштування нульової точки			1,2		прямокутний				
– точкове фокусування при вимірюванні			2,0		звичайний				
t	3,645	с	0,53	мс	звичайний	-47,404	м ² /с	-0,025	м ³ /с
– невизначеність виявлення			0,50		звичайний				
– невизначеність реєстрації даних			0,18		звичайний				
Комбінований									
$u_{q_{V,ref}}$								0,323	м ³ /с