

## ДОДАТОК 6.С

(обов'язковий)

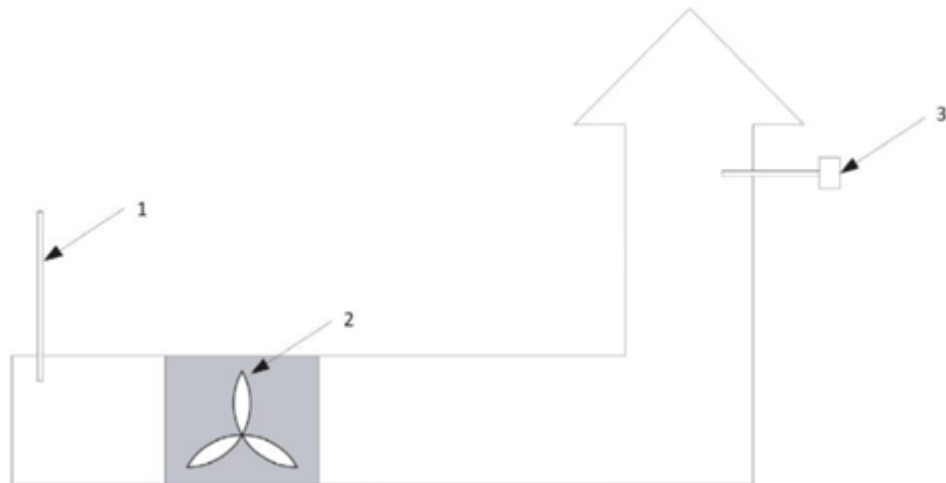
### **МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ РОЗВЕДЕННЯ РЕЧОВИНИ-СВІДКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ТА СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ**

#### **6.С.1 Речовина-свідок, розведення**

##### **6.С.1.1 Суть використання системи подачі речовини-свідка**

Контрольне впорскування газу використовують для вимірювання об'ємної витрати в повітроводі. Речовину-свідок, яка зазвичай відсутня у димових газах, впорскують з відомою постійною швидкістю (рисунок 6.С.1, умовна позначка 1). Речовина-свідок переміщується по всьому поперечному перерізу повітроводу, переміщення посилюється за наявності перешкод, зокрема вентиляторів або вигинів, на яких утворюється додаткова турбулентність (рисунок 6.С.1, умовна позначка 2). Розведену речовину-свідок вимірюють після точки впорскування для отримання об'ємної витрати (рисунок 6.С.1, умовна позначка 3) за умови, що:

- речовина-свідок добре переміщується з димовим газом;
- втрат речовини-свідка через адсорбцію на стінках повітропроводів або видалення при очищенні установки немає;
- у димовому газі перед закачуванням відсутній газ-свідок, або його фонова концентрація може бути точно виміряна.



*Умовні позначки:*

- 1 — ежекторна трубка для уприскування речовини-свідка
- 2 — технологічний вентилятор
- 3 — відбирання проб і аналізування речовини-свідка

**Рисунок 6.С.1** – Суть розведення речовини-свідка

### **6.С.1.2** *Подача речовини-свідка*

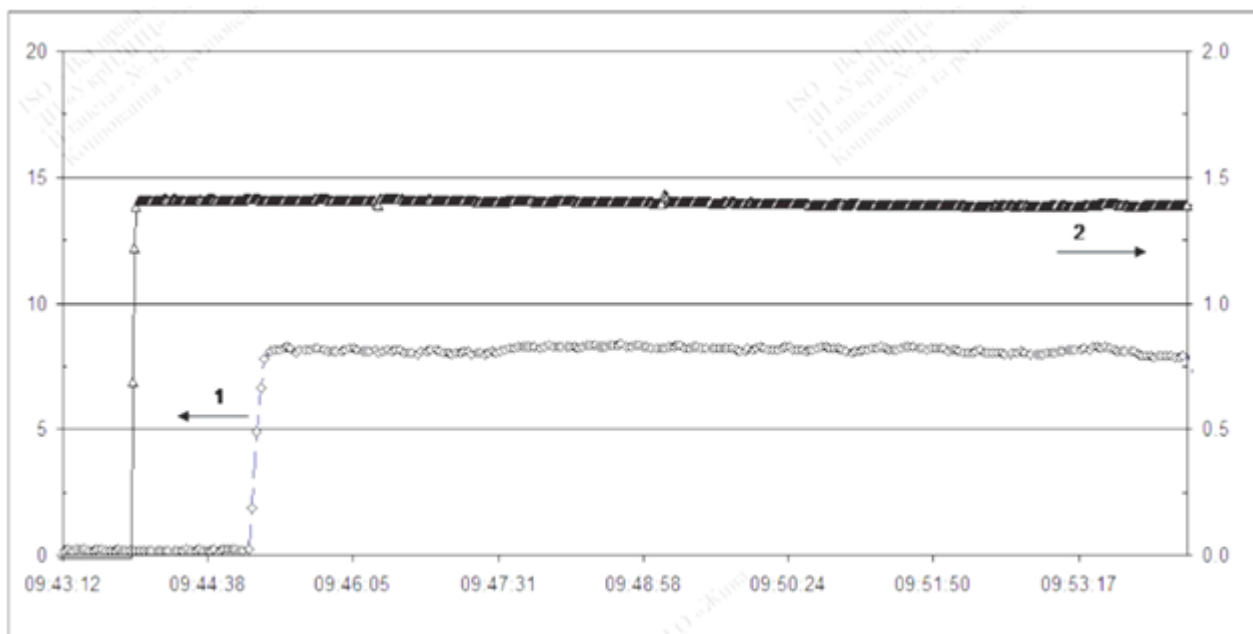
Контрольована подача речовини-свідка є необхідною умовою. Витрата впорскування речовини-свідка відкалібрована відповідно до відстежуваних стандартів.

Вибирають місце для введення речовини-свідка в потік димових газів вище по потоку, щоб сприяти змішуванню речовини-свідка з потоком димових газів. Як правило, точка (точки) впорскування в ідеалі повинна бути розташована на відстані щонайменше  $10d_s$ , де  $d_s$  – діаметр димової труби перед місцем вимірювання концентрації речовини-свідка. За можливості, введення речовини-свідка необхідно здійснювати перед джерелом перемішування, тобто, перед вентилятором або вигином повітроводу. Введення речовини-свідка проводять після будь-якої технологічної операції, яка може вплинути на його концентрацію.

Для такої схеми нагнітання необхідно продемонструвати відсутність значного застою речовини-свідка в місці, розташованому нижче за потоком, за допомогою одноразового багатоточкового обстеження повітроводу, проведеного

відповідно до вимог стандарту EN 15259. В ідеалі не повинно бути додаткових входів у потік між місцем впорскування і місцем вимірювання, а також витоків з повітровою. Однак, вхідні витоків, які повністю змішуються перед вимірюванням концентрації (що підтверджують дослідженням повітровою), або вихідні витоків, які мають місце після повного змішування речовини-свідка, не спричиняють похибки вимірювання.

Тривалість впорскування повинна становити щонайменше  $4t_r$ , де  $4t_r$  – час відгуку аналізатора, який використовують для вимірювання речовини-свідка, щоб забезпечити отримання значущої стабільної реакції концентрування. Див., наприклад, рисунок 6.С.2.



Умовні позначки:

- |                           |                |                              |
|---------------------------|----------------|------------------------------|
| 1 — $\varphi \times 10^6$ | об'ємна частка | концентрація речовини-свідка |
| 2 — $qv$                  | кг/год         | швидкість впорскування       |

**Рисунок 6.С.2** – Типовий відгук речовини-свідка

Впорскування можна здійснювати за допомогою одного ежектора або декількох ежекторів, приєднаних до патрубку від витратоміра речовини-свідка. Потік через кожен ежектор повинен бути приблизно однаковим, і в кожному

ежекторі може бути як одна, так і кілька точок випуску. Система впорскування повинна бути герметичною.

### **6.С.1.3 Вимірювання концентрації речовини-свідка**

Устаткування для вимірювання речовини-свідка складається з газового монітора (аналізатора, що використовують для вимірювання речовин-свідків) і відповідного устаткування для відбирання проб. Система відбирання проб не повинна вступати в реакцію з газом-свідком або будь-яким іншим чином змінювати його концентрацію. Інші компоненти димового газу не повинні чинити істотного впливу на роботу аналізатора речовини-свідка. Аналізатор речовини-свідка повинен бути відкалібрований з відповідною частотою, щоб забезпечити прийнятний дрейф протягом усього періоду випробування.

Калібрування концентрації речовини-свідка повинно бути відстежуваним. При вибиранні речовини-свідка слід враховувати компоненти димового газу, як з урахуванням властивостей власне речовини-свідка, так і з урахуванням будь-яких перешкод для вимірювання речовини-свідка. На вибирання речовини-свідка також впливає наявність вимірювального устаткування, яке забезпечить для вимірювань достатній ступінь достовірності. Викид речовини-свідка повинен спричиняти незначний вплив на навколишнє середовище.

Концентрацію речовини-свідка можна вимірювати або сухим способом, після видалення водяної пари з проби до температури точки роси менше ніж 5 °С, або вологим методом, використовуючи нагрітий зразок і аналітичну систему. Це необхідно враховувати при обчислення витрати димових газів. Витрату димових газів визначають в тих самих умовах, що і при вимірюванні, тобто якщо речовину-свідок вимірюють на сухій основі, то витрату визначають також на сухій основі.

Пробовідбірник може бути з одним або декількома отворами, за умови, що в місці вимірювання немає значного застою речовини-свідка. Бажано використовувати кілька отворів, оскільки це компенсує залишковий застій.

#### **6.С.1.4 Устаткування для калібрування речовини-свідка**

##### **6.С.1.4.1 подача речовини-свідка**

Контрольована подача речовини-свідка є необхідною умовою. Швидкість потоку впорскування необхідно визначати за допомогою масоміра або об'ємного витратоміра з простежуваним калібруванням. Розширена невизначеність вимірювання витрати речовини-свідка повинна становити  $\leq 1\%$  значення на основі калібрувального співвідношення та з урахуванням будь-яких відповідних параметрів впливу, зокрема температури навколишнього середовища. Лінія впорскування речовини-свідка повинна бути перевірена на герметичність в робочих умовах, від входу витратоміра до інжекційної трубки.

##### **6.С.1.4.2 Вимірювання концентрації речовини-свідка**

Вимірювальне устаткування для речовин-свідків складається з аналізатора концентрації газу і відповідного устаткування для відбирання проб. Система відбирання проб не повинна вступати в реакцію з газом-свідком або будь-яким іншим чином змінювати його концентрацію. Інші компоненти димового газу не повинні впливати на роботу газоаналізатора речовини-свідка. Газоаналізатор речовини-свідка повинен бути відкалібрований перед кожним вимірюванням витрати.

Після вимірювання витрати газоаналізатор речовини-свідка необхідно перевірити калібрувальним газом у діапазоні вимірювань, щоб внести поправку на допустимий дрейф. У таблиці 6.С.1 наведено вимоги до характеристик газоаналізатора речовини-свідка.

**Таблиця 6.С.1** – Експлуатаційні вимоги до вимірювання концентрації речовини-свідка

Параметр	Критерій	Метод визначення
Концентрація калібрувального газу	$\leq 1\%$ від значення	Простежуваний стандарт калібрувального газу (стандартна невизначеність)
Лінійність	$\leq 1,5\%$ щодо концентрації калібрувального газу	Лабораторна оцінка відповідно до вимог стандарту EN 14181 [9] з використанням відстежуваних калібрувальних газів або каліброваної системи розведення. Ці п'ять рівнів складають 0 %, 25 %, 50 %, 75 % і 100 % від об'ємної частки калібрувального газу
Повторюваність	$\leq 1\%$ від концентрації калібрувального газу	Лабораторне оцінювання з використанням калібрувального газу (стандартне відхилення)
Втручання	$\leq 2\%$ від концентрації калібрувального газу	Перехресні перешкоди компонентів димових газів, визначені на основі сертифікації приладів або лабораторного оцінювання відповідно до EN 15267-3 [11]
Витік або втрата зразка	$\leq 2\%$ від концентрації калібрувального газу	Оцінювання в умовах експлуатації – пропускання калібрувального газу через систему відбирання проб
Дрейф	$\leq 2\%$ від концентрації калібрувального газу	Оцінювання в умовах експлуатації за допомогою періодичної перевірки калібрувальним газом. Слід виправити дрейф, якщо значення $> 2\%$ , або визнати недійсним, якщо значення $> 5\%$

#### 6.С.1.4.3 Обчислення витрати димового газу за результатами впорскування речовини-свідка

$$q_{v,0,O_2} = \frac{q_{m,t}}{\rho_{t,0}} \cdot \frac{1}{\varphi_t}, \quad (6.С.1)$$

де  $q_{v,0,O_2}$  – витрата димового газу за вмісту  $O_2$  в зразку та вологості за стандартних умов,  $m^3/c$ ;

$q_{m,t}$  – масова витрата речовини-свідка,  $kg/c$ ;

$\rho_{t,0}$  – густина речовини-свідка за стандартних умов,  $kg/m^3$ ;

$\varphi_t$  – об'ємна частка речовини-свідка за вмісту  $O_2$  і вологості зразка.

### 6.С.2 Невизначеність результату калібрування

#### 6.С.2.1 Загальні положення

Невизначеність отриманого значення витрати димового газу є простою комбінованою невизначеністю масової витрати впорскування,  $q_{m,t}$ , та об'ємної частки речовини-свідка  $\varphi_t$ . Невизначеність об'ємної частки речовини-свідка

повинна враховувати невизначеність, пов'язану з якістю змішування речовини-свідка з димовим газом.

### **6.С.2.2 Невизначеність вимірювання концентрації**

Характеристики, що розглядають в аналізі невизначеності, залежать від технології, яку використовують для вимірювання концентрації речовини-свідка.

Загальними факторами впливу є: невизначеність калібрувального газу,  $u_{cal}$ , вплив температури навколишнього середовища,  $u_{temp}$ , які мають прямокутний розподіл ймовірностей, що дає абсолютну стандартну невизначеність, як показано нижче:

$$u_{cal} = \frac{(\%x_{cal}/100)x_{cal}}{\sqrt{3}}$$

де  $q_{v,0,O_2}$  – значення калібрування.

Для температурного діапазону від  $T_{min}$  до  $T_{max}$ , і базової калібрувальної температури,  $T_{cal}$ , К:

$$u_{temp} = \left( \frac{\%T_{max}-T_{min}}{100} \right) (T_{max} - T_{min}) \sqrt{\frac{(T_{max}-T_{cal})^2 + (T_{max}-T_{cal})(T_{min}-T_{cal}) + (T_{min}-T_{cal})^2}{3}}$$

У це аналізування можуть бути включені також інші експлуатаційні характеристики, наприклад лінійність і перехресні перешкоди, якщо вони є істотними. Похибки лінійності можна звести до мінімуму, вибравши значення калібрування, близьке до очікуваного значення концентрації речовини-свідка.

### **6.С.2.3 Невизначеність змішування речовини-свідка**

Стандартну невизначеність, пов'язана з недосконалим змішуванням речовини-свідка, обчислюють на основі дослідження концентрації речовини-свідка за стандартом EN 15259, проведеного при впорскуванні речовини-свідка з постійною витратою.

Стандартна відносна невизначеність,  $u_{mix}$ , являє собою коефіцієнт варіації виміряних значень сітки:

$$u_{mix} = \frac{s_{grid}}{\bar{\varphi}_{grid}}$$

Більш точно оцінювання можна отримати, скоригувавши часові коливання процесу (визначені на основі фіксованого контрольного вимірювання, передбаченого стандартом EN 15259). Тимчасові коливання можуть бути враховані шляхом попереднього нормалізування кожного вимірювання концентрації в сітці з використанням коефіцієнта нормалізування,  $f_n$ :

$$f_n = \frac{\bar{\varphi}_{ref}}{\varphi_{ref,i}}$$

де  $\varphi_{ref,i}$  – контрольна об'ємна частка (фіксоване місце розташування), що відповідає періодам відбирання проб у кожній точці сітки;

$\bar{\varphi}_{ref}$  – середня контрольна об'ємна частка за всі періоди відбирання проб.

Прилад для вимірювання швидкості можна використовувати як контрольний, якщо другий газоаналізатор речовин-свідків недоступний. У цьому випадку, оскільки об'ємна частка індикатора обернено пропорційна витраті, коефіцієнт нормалізування є зворотним:

$$\frac{v_{ref,i}}{\bar{v}_{ref}}$$

Після нормалізації відносна невизначеність розраховується, як і раніше, з використанням нормалізованих об'ємних часток:

$$u_{mix} = \frac{s_{n,grid}}{\bar{\varphi}_{n,grid}}$$

Стандартна невизначеність внаслідок змішування поєднується з іншими стандартними невизначеностями для вимірювання об'ємної частки, що дає загальну стандартну невизначеність вимірювання об'ємної частки:

$$u_{\varphi_t} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{temp}^2 + u_{mix}^2 \dots}$$

#### **6.С.2.4 Невизначеність швидкості впорскування речовини-свідка**

Експлуатаційні характеристики, що розглядають в аналізованні невизначеності, залежать від технології, що використовують для вимірювання витрати, яка повинна мати простежуване калібрування. Загальні фактори впливу розглядають нижче.

Фактор впливу невизначеності від калібрування приладу базується на середній похибці, заявленій у сертифікаті калібрування, цьому фактору впливу в цьому прикладі визначено прямокутний розподіл ймовірностей:

$$u_{cal} = \frac{(\%x_{range}/100)x_{range}}{\sqrt{3}},$$

де  $x_{range}$  – діапазон.

Фактору впливу невизначеності від зміни температури речовини-свідка, що проходить через масовий витратомір, також присвоюють прямокутний розподіл ймовірності:

$$u_{temp} = \left( \frac{\%T_{max}-T_{min}}{100} \right) (T_{max} - T_{min}) \sqrt{\frac{(T_{max}-T_{cal})^2 + (T_{max}-T_{cal})(T_{min}-T_{cal}) + (T_{min}-T_{cal})^2}{3}}$$

де  $T_{max}$  та  $T_{min}$  – максимальна та мінімальна температура газу;

$T_{cal}$  – температура при калібруванні.

Невизначеність суміщеного датчика та перетворювача враховує невизначеність, пов'язану з лінійністю та повторюваністю.

$$u_{comb} = \frac{(\%x_{value}/100)x_{value}}{\sqrt{3}},$$

де  $x_{value}$  – значення.

Сумарна невизначеність масової витрати,  $u_{q_{m,t}}$ , дорівнює сумі квадратів стандартних невизначеностей:

$$u_{q_{m,t}} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{temp}^2 + u_{comb}^2 \dots}$$

### **6.С.2.5 Невизначеність витрати димових газів**

Стандартна невизначеність вимірювання об'ємної витрати димових газів ґрунтується на комбінованій невизначеності вимірної об'ємної частки речовини-свідка  $u_{\phi_t}$  та масової витрати  $u_{q_{m,t}}$ . Загалом, до кожної невизначеності застосовують коефіцієнт чутливості  $C_{sens}$ , який можна отримати з часткових похідних по відношенню до параметра, що розглядають, наприклад:

$$C_{sens_{q_{m,t}}} = \frac{\partial q_V}{\partial q_{m,t}}$$

Таким чином, загальна стандартна невизначеність – це сума квадратів кожного фактору невизначеності, помножена на його коефіцієнт чутливості:

$$u_{q_V}^2 = \left(\frac{q_V}{q_{m,t}}\right)^2 u_{q_{m,t}}^2 + \left(\frac{-q_{m,t}}{\rho\varphi_t^2}\right)^2 u_{\varphi_t}^2$$

У цьому випадку, оскільки потік димових газів просто пропорційний кожному з параметрів, допустимо об'єднати відносні стандартні невизначеності напряму:

$$u_{q_V}^2 = \left(\frac{u_{\varphi_t}}{\varphi_t}\right)^2 + \left(\frac{u_{q_{m,t}}}{q_{m,t}}\right)^2$$

Отриману таким чином стандартну невизначеність потім множать на коефіцієнт охоплення,  $k = 2$ , щоб отримати розширену невизначеність з достовірністю 95 %.