

ДОДАТОК 2.А

(довідковий)

ПРИКЛАД ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ НЕДИСПЕРСІЙНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ HCL ВИМОГАМ ДО ВИМІРЮВАННЯ ВИКИДІВ

2.А.1 Процес оцінювання невизначеності

2.А.1.1 Загальні положення

У цьому додатку наведено приклад розрахунку бюджету невизначеності, встановленого для конфігурації 1.

Наведену нижче процедуру розрахунку невизначеності вимірювання ґрунтують на законі поширення невизначеності, установленому в EN ISO 14956 або ISO/IEC Guide 98-3:2008. Процедура розрахунку охоплює кілька послідовних етапів.

2.А.1.2 Визначення функції моделі

Визначають вимірювану величину та всі параметри, що впливають на результат вимірювання. Ці параметри, які називають «вхідними величинами», повинні бути чітко визначені.

Ідентифікують усі джерела невизначеності, що впливають на будь-яку з вхідних величин або безпосередньо на вимірювану величину.

За можливості встановлюють функцію моделі (тобто залежність між вимірюваною величиною та впливними величинами) у вигляді математичного рівняння.

2.А.1.3 Кількісне оцінювання складників невизначеності

Для кожного джерела невизначеності виконують оцінювання його внеску в розширену невизначеність методу.

Використовують наявні робочі характеристики вимірювальної системи, дані щодо розсіювання результатів повторних вимірювань і дані, наведені в сертифікатах калібрування.

Усі складники невизначеності (наприклад, робочі характеристики) перетворюють у стандартні невизначеності вхідних і впливних величин.

2.А.1.4 Обчислення комбінованої невизначеності

Потім обчислюють комбіновану невизначеність u_c шляхом поєднання стандартних невизначеностей із застосуванням закону поширення невизначеності.

Загалом невизначеність, пов'язану з концентрацією, виражають у вигляді розширеної невизначеності. Розширена невизначеність методу U_c відповідає розширеній комбінованій невизначеності, яку отримують множенням комбінованої невизначеності на коефіцієнт охоплення k :

$$U_c = k u_c$$

Значення коефіцієнта охоплення k вибирають залежно від необхідного рівня довіри. У більшості випадків k приймають рівним 2, що відповідає рівню довіри приблизно 95 %.

У наведених нижче таблицях наведено приклади:

— специфічних умов майданчика (таблиця 2.А.1) (тобто значень і діапазону зміни впливних параметрів);

— робочих характеристик методу (таблиця 2.А.2), пов'язаних із параметрами, які можуть впливати на покази аналізатора, зокрема метрологічних характеристик аналізатора та впливу впливних параметрів (тобто умов навколишнього середовища, таких як температура навколишнього повітря, напруга, тиск і хімічні інтерференти).

2.А.2 Специфічні умови на майданчику

Таблиця 2.А.1 — Специфічні умови на майданчику

Специфічні умови	Значення/діапазон
Діапазон вимірювання аналізатора	15 мг/м ³
ГДРВ	10 мг/м ³ (сухий газ) за $O_{2,ref}$
Концентрація Н ₂ О	10 %
Досліджувана концентрація НСІ (відповідає граничному значенню НСІ для цього майданчика, вираженому для вологого газу)	9 мг/м ³ (вологий газ) за $O_{2,ref}$
Польові умови	
Об'ємна витрата проби	60 л/год ± 5 л/год
Температура під час налаштування	285 К
Коливання температури навколишнього повітря протягом періоду вимірювання	283–308 К
Коливання напруги	230 В ± 11,5 В
Тиск газової проби під час налаштування	99 кПа
Коливання тиску газової проби	99–100 кПа
Референтна концентрація О ₂ : $O_{2,ref}$	11 % (об.)
Коливання концентрації СО ₂ у польових умовах	8–12 %
Коливання концентрації N ₂ О у польових умовах	незначні
Коливання концентрації СН ₄ у польових умовах	0–10 мг/м ³
Калібрувальний газ	13 мг/м ³ — $U_c = 2 \%$ ($k = 2$)

2.А.3 Робочі характеристики методу

Таблиця 2.А.2 — Робочі характеристики, застосовані для цього прикладу

Робоча характеристика інфрачервоного методу	Технічні вимоги	Приклад результатів лабораторних і польових випробувань
Час відгуку	≤ 400 с	120 с
Межа виявлення		$\pm 0,6$ % діапазону
Невідповідність апроксимації	≤ 2 % діапазону	$\pm 0,6$ % діапазону
Дрейф нуля	≤ 2 % діапазону/24 год	$\pm 0,01$ % діапазону/24 год
Дрейф діапазону	≤ 2 % діапазону/24 год	$\pm 0,5$ % діапазону/24 год
Чутливість до об'ємної витрати проби	≤ 2 % діапазону	0,2 % діапазону/10 л·год ⁻¹
Чутливість до тиску газової проби в точці встановлення діапазону	≤ 2 % діапазону/3 кПа	0,4 % виміряного значення/кПа
Чутливість до температури навколишнього повітря	≤ 5 % діапазону при зміні температури від 5 °С до 25 °С і від 40 °С до 20 °С у точках нуля та встановлення діапазону	0,5 % діапазону/10 К
Чутливість до напруги живлення в точці встановлення діапазону	≤ 2 % діапазону за напруги від -15 % до +10 % від номінальної напруги живлення	0,12 % діапазону/10 В
Інтерференти	Загалом: ≤ 4 % діапазону	
CO ₂ (15 %)		-0,38 мг/м ³
N ₂ O (20 мг/м ³)		0,30 мг/м ³
CH ₄ (50 мг/м ³)		0,51 мг/м ³
Стандартне відхилення повторюваності в лабораторних умовах у точці нуля	≤ 2 % діапазону	0,3 % діапазону
Стандартне відхилення повторюваності в лабораторних умовах у точці встановлення діапазону	≤ 2 % діапазону	0,45 % діапазону

2.А.4 Обчислення стандартної невизначеності значень концентрації, отриманих аналізатором

2.А.4.1 Рівняння моделі та застосування закону поширення невизначеності

Концентрація HCl дорівнює концентрації, отриманій аналізатором, з урахуванням поправок, зумовлених відхиленнями, пов'язаними з впливними величинами та робочими характеристиками аналізатора.

$$C_{\text{HCl,ppm}} = C_{\text{HCl,read}} + \text{Corr}_{\text{fit}} + \text{Corr}_{0,\text{dr}} + \text{Corr}_{\text{s,dr}} + \text{Corr}_{\text{rep}} + \text{Corr}_{\text{adj}} + \sum_{j=1}^p \text{Corr}_{\text{inf}} + \text{Corr}_{\text{int}} \quad (2.A.1)$$

де C — концентрація HCl, мг/м³;
 $C_{\text{HCl,read}}$ — концентрація HCl, отримана аналізатором;
 Corr_{fit} — поправка на невідповідність апроксимації;
 $\text{Corr}_{0,\text{dr}}, \text{Corr}_{\text{s,dr}}$ — поправки на дрейф нуля та дрейф діапазону;
 Corr_{rep} — поправка на повторюваність вимірювання;
 Corr_{adj} — поправка на налаштування;
 $\sum_{j=1}^p \text{Corr}_{\text{inf}}$ — поправка на впливні величини (температуру навколишнього повітря, тиск газової проби, об'ємну витрату проби, напругу);
 Corr_{int} — поправка на інтерференти.

Поправки є специфічними для кожного аналізатора. У деяких випадках значення поправки дорівнює нулю. Наприклад, впливні величини (тобто температура навколишнього повітря, тиск газової проби та інтерференти) можуть як збільшуватися, так і зменшуватися протягом періоду вимірювання і, як правило, не контролюються; тому найкращою поправкою, яку застосовують, є нульова поправка.

Незалежно від того, дорівнюють поправки нулю чи ні, невизначеності, пов'язані з цими поправками, необхідно враховувати під час обчислення сумарної невизначеності. Комбіновану стандартну невизначеність, пов'язану з вимірюванням HCl, визначають за формулою:

$$u^2(C_{\text{HCl}}) = \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial X_i} \right) u^2(X_i) \right]^2 \quad (2.A.2)$$

де $u(C_{\text{HCl}})$ — комбінована стандартна невизначеність, пов'язана з вимірюванням HCl;

$X_i, i=1 \text{ до } N$ — впливні величини;

$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial X_i}$ — коефіцієнт чутливості C_{HCl} до X_i ;

$u(X_i)$ — стандартна невизначеність, пов'язана з X_i ;

$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial X_i} u(x_i)$ — часткова невизначеність, пов'язана з X_i .

Після розкриття формули (2.А.2) отримують:

$$\begin{aligned}
 u^2(C_{\text{HCl}}) = & \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial C_{\text{HCl,read}}} \right)^2 u^2(C_{\text{HCl,read}}) + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{fit}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{fit}}) \\
 & + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{o,dr}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{o,dr}}) + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{s,dr}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{s,dr}}) \\
 & + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{rep}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{rep}}) + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{adj}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{adj}}) \\
 & + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{temp}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{temp}}) + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{a,press}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{a,press}}) \\
 & + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{s,vf}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{s,vf}}) + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{v}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{v}}) \\
 & + \left(\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{int}}} \right)^2 u^2(\text{Corr}_{\text{int}}) u^2(C_{\text{HCl}})
 \end{aligned} \tag{2.А.3}$$

2.А.4.2 Обчислення часткових невизначеностей

Часткові невизначеності обчислюють за формулами, наведеними нижче. Результати наведено в таблиці 2.А.3.

— Коефіцієнти чутливості

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial C_{\text{HCl,read}}} &= \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{fit}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{o,dr}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{s,dr}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{rep}}} \\
 &= \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{adj}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{temp}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{a,press}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{s,vf}}} \\
 &= \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{v}}} = \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{int}}} = 1 - u(C_{\text{HCl,read}})
 \end{aligned}$$

Невизначеність, пов'язана зі зчитуванням значення концентрації, зумовлена роздільною здатністю аналізатора та системи збирання даних. Цю невизначеність можна вважати незначною.

— $u(\text{Corr}_{\text{fit}})$: якщо $X_{\text{fit,max}}$ є робочою характеристикою, що дорівнює максимальному відхиленню між вимірним значенням і значенням, отриманим за лінійною регресією, побудованою під час лабораторних випробувань, то можна вважати, що невідповідність апроксимації з однаковою ймовірністю може набувати будь-якого значення в інтервалі [-

$X_{\text{fit,max}}; + X_{\text{fit,max}}]$. Стандартну невизначеність обчислюють із застосуванням прямокутного розподілу ймовірності.

Якщо робочу характеристику виражено у відсотках від діапазону, то:

$$u(Corr_{\text{fit}}) = \frac{X_{\text{fit,max}} / 100 \times \text{range}}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial Corr_{\text{fit}}} u(Corr_{\text{fit}}) = \frac{X_{\text{fit,max}} / 100 \times \text{range}}{\sqrt{3}}$$

— $u(Corr_{0,\text{dr}})$, $u(Corr_{s,\text{dr}})$: де $X_{0,\text{dr}}$ та $X_{s,\text{dr}}$ відповідно дрейф нуля та дрейф діапазону, то можна вважати, що ці дрейфи з однаковою ймовірністю можуть набувати будь-якого значення в інтервалах $[-X_{0,\text{dr}}; +X_{0,\text{dr}}]$ and $[-X_{s,\text{dr}}; +X_{s,\text{dr}}]$. Стандартні невизначеності обчислюють із застосуванням прямокутного розподілу ймовірності:

$$u(Corr_{0,\text{dr}}) = \frac{X_{0,\text{dr}}}{\sqrt{3}} u(Corr_{0,\text{dr}}) = \frac{X_{0,\text{dr}}}{\sqrt{3}} \text{ та } u(Corr_{s,\text{dr}}) = \frac{X_{s,\text{dr}}}{\sqrt{3}} u(Corr_{s,\text{dr}}) = \frac{X_{s,\text{dr}}}{\sqrt{3}}$$

Коли

$$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial Corr_{0,\text{dr}}} u(Corr_{0,\text{dr}}) = \frac{X_{0,\text{dr}}}{\sqrt{3}} \text{ та } \frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial Corr_{s,\text{dr}}} u(Corr_{s,\text{dr}}) = \frac{X_{s,\text{dr}}}{\sqrt{3}}$$

— $u(Corr_{\text{rep}})$: стандартна невизначеність, зумовлена повторюваністю, дорівнює стандартному відхиленню повторюваності, обчисленому за результатами повторних вимірювань.

Можна виконувати кілька серій випробувань за різних концентрацій (щонайменше в точці нуля та в одній точці встановлення діапазону). Проте до розрахунку включають лише одне із значень:

— стандартне відхилення повторюваності, що відповідає концентрації, найближчій до концентрації, виміряної в газоході (у цьому прикладі — граничному значенню викиду);

— або найбільше (відносне) стандартне відхилення повторюваності незалежно від концентрації, виміряної в газоході.

У цьому прикладі вибрано найбільше стандартне відхилення повторюваності:

$$u(Corr_{\text{rep}}) = \max(S_{0,\text{rep}}; S_{s,\text{rep}}) = S_{\text{rep}}$$

де $S_{0,\text{rep}}$ — стандартне відхилення повторюваності в точці нуля;

$S_{s,\text{rep}}$ — стандартне відхилення повторюваності в точці встановлення діапазону.

Тоді

$$\frac{\partial C_{\text{CO}}}{\partial Corr_{\text{rep}}} u(Corr_{\text{rep}}) = S_{\text{rep}}$$

— Стандартні невизначеності, пов'язані з впливними величинами, $u(Corr_{temp})$, $u(Corr_{a,press})$, $u(Corr_{s,vf})$, $u(Corr_v)$: під час лабораторних випробувань впливні величини досліджують за одного значення відповідного параметра, при цьому вважають, що вплив цих величин є пропорційним значенню параметра. Поправка на вплив впливної величини також є пропорційною зміні цієї величини.

Якщо X_j — впливна величина, то: $Corr_{xj} = c_j \Delta X_j$

де c_j — стала;

ΔX_j — зміна впливної величини.

Невизначеність, пов'язану з цією поправкою, визначають за формулою:

$$u^2(Corr_{xj}) = \left(\frac{\partial Corr_{xj}}{\partial \Delta X_j} \right)^2 u^2(\Delta X_j)$$

$$\frac{\partial Corr_{xj}}{\partial \Delta X_j} = c_j$$

де c_j — коефіцієнт чутливості; коефіцієнт чутливості відповідає впливу зміни ΔX_j впливної величини на покази аналізатора. Коефіцієнти чутливості визначають під час лабораторних випробувань;

$u(\Delta X_j)$ — стандартна невизначеність, пов'язана зі зміною впливної величини між періодом налаштування та періодом вимірювання. Можна вважати, що впливна величина з однаковою ймовірністю може набувати будь-якого значення в межах інтервалу $u \Delta X_j$

У EN ISO 14956:2002 стандартну невизначеність, пов'язану зі зміною впливної величини, обчислюють за формулою:

$$u(\Delta X_j) = \sqrt{\frac{(X_{j,max} - X_{j,adj})^2 + (X_{j,min} - X_{j,adj}) \times (X_{j,max} - X_{j,adj}) + (X_{j,min} - X_{j,adj})^2}{3}}$$

де $X_{j,min}$ — мінімальне значення впливної величини X_j протягом періоду вимірювання;

$X_{j,max}$ — максимальне значення впливної величини X_j протягом періоду вимірювання;

$X_{j,adj}$ — значення впливної величини X_j під час налаштування аналізатора.

Тоді

$$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{xj}} u(Corr_{xj}) = \frac{\partial Corr_{xj}}{\partial X_j} u(\Delta X_j)$$

$$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{X_j}} u(\text{Corr}_{X_j})$$

$$= c_j \sqrt{\frac{(x_{j,\max} - x_{j,\text{adj}})^2 + (x_{j,\min} - x_{j,\text{adj}}) \times (x_{j,\max} - x_{j,\text{adj}}) + (x_{j,\min} - x_{j,\text{adj}})^2}{3}}$$

Розрахунок можна спростити у двох наведених нижче випадках:

— Перший випадок: якщо значення $X_{j,\text{adj}}$ розташоване в центрі інтервалу $[X_{j,\max}; X_{j,\min}]$:

$$u(\Delta X_j) = \frac{(x_{j,\max} - x_{j,\min})}{\sqrt{12}}$$

та

$$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{X_j}} u(\text{Corr}_{X_j}) = c_j \frac{(x_{j,\max} - x_{j,\min})}{\sqrt{12}}$$

— Другий випадок: якщо значення $X_{j,\text{adj}}$ дорівнює $X_{j,\max}$ або $X_{j,\min}$:

$$u(\Delta X_j) = \frac{(x_{j,\max} - x_{j,\min})}{\sqrt{3}}$$

та

$$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{X_j}} u(\text{Corr}_{X_j}) = c_j \frac{(x_{j,\max} - x_{j,\min})}{\sqrt{3}}$$

Стандартні невизначеності, пов'язані з інтерферентами (випадок інтерферентів є аналогічним випадку впливних величин). Вплив інтерферентів досліджують за одного значення концентрації інтерферента, при цьому вважають, що він є пропорційним значенню цього параметра. Поправка на вплив інтерферента також є пропорційною зміні його концентрації.

Якщо Int_j — інтерферент для вимірюваного компонента, а ΔInt_j — інтервал зміни його концентрації протягом періоду вимірювання, то стандартну невизначеність поправки визначають за формулою:

$$u^2(\text{Corr}_{\text{Int}_j}) = \left(\frac{\partial \text{Corr}_{\text{Int}_j}}{\partial \Delta \text{Int}_j} \right)^2 u^2(\Delta \text{Int}_j)$$

$$\frac{\partial \text{Corr}_{\text{Int}_j}}{\partial \Delta \text{Int}_j}$$

де — коефіцієнт чутливості; коефіцієнти чутливості визначають під час лабораторних випробувань;

$u(\Delta \text{Int}_j)$ — стандартна невизначеність, пов'язана зі зміною концентрації інтерферента Int_j протягом періоду вимірювання. Можна вважати, що концентрація інтерферента з однаковою

ймовірністю може набувати будь-якого значення в інтервалі $\square Int_j$.

У EN ISO 14956:2002 стандартну невизначеність, пов'язану зі зміною концентрації інтерферента, обчислюють за формулою:

$$u(\Delta Int_j) = \sqrt{\frac{(Int_{j,max} - Int_{j,adj})^2 + (Int_{j,min} - Int_{j,adj}) \times (Int_{j,max} - Int_{j,adj}) + (Int_{j,min} - Int_{j,adj})^2}{3}}$$

де $Int_{j,min}$ — мінімальна концентрація інтерферента Int_j протягом періоду вимірювання;

$Int_{j,max}$ — максимальна концентрація інтерферента Int_j протягом періоду вимірювання;

$Int_{j,adj}$ — концентрація інтерферента Int_j у газовій суміші для встановлення діапазону, яку використовують для налаштування аналізатора.

Тоді

$$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{Int_j}} u(Corr_{Int_j}) = \left(\frac{\partial Corr_{Int_j}}{\partial \Delta Int_j} \right) u(\Delta Int_j)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{Int_j}} u(Corr_{Int_j}) \\ &= \frac{c_j}{Int_{j,rest}} \\ & \times \sqrt{\frac{(Int_{j,max} - Int_{j,adj})^2 + (Int_{j,min} - Int_{j,adj}) \times (Int_{j,max} - Int_{j,adj}) + (Int_{j,min} - Int_{j,adj})^2}{3}} \end{aligned}$$

де c_j — коефіцієнт чутливості;

$Int_{j,test}$ — концентрація інтерферента, яку використовують під час лабораторних випробувань для визначення коефіцієнта чутливості c_j

$$\frac{c_j}{Int_{j,test}} = \frac{\partial Corr_{Int_j}}{\partial \Delta Int_j}$$

Розрахунок можна спростити, якщо значення $Int_{j,adj}$ дорівнює нулю, тобто концентрація інтерферента в газі для встановлення діапазону дорівнює нулю, що трапляється досить часто. Стандартну невизначеність визначають за формулою:

$$u(\Delta Int_j) = \sqrt{\frac{(Int_{j,max})^2 + Int_{j,min} \times Int_{j,max} + (Int_{j,min})^2}{3}}$$

$$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{Int_j}} u(Corr_{Int_j}) = \frac{c_j}{Int_{j,rest}} \times \sqrt{\frac{(Int_{j,max})^2 + Int_{j,min} \times Int_{j,max} + (Int_{j,min})^2}{3}}$$

Не всі інтерференти потрібно враховувати під час обчислення сумарної невизначеності. Відповідно до EN ISO 14956 до розрахунку включають більше з двох значень: суму $S_{int,p}$ інтерферентів, що спричиняють додатний вплив на покази аналізатора, або суму $S_{int,n}$ інтерферентів, що спричиняють від'ємний вплив на покази аналізатора.

$$S_{int,p} = \frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,p1}} u(Corr_{int,p1}) + \frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,p2}} u(Corr_{int,p2}) + \dots$$

$$+ \frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,pk}} u(Corr_{int,pk})$$

де $S_{int,p}$ — сума інтерферентів, що спричиняють додатний вплив;

$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,p1}} u(Corr_{int,p1})$ — часткова невизначеність, зумовлена першим інтерферентом, що спричиняє додатний вплив;

$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,pk}} u(Corr_{int,pk})$ — часткова невизначеність, зумовлена k-м інтерферентом, що спричиняє додатний вплив;

$S_{int,n}$ — сума інтерферентів, що спричиняють від'ємний вплив;

$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,n1}} u(Corr_{int,n1})$ — часткова невизначеність, зумовлена першим інтерферентом, що спричиняє від'ємний вплив;

$\frac{\partial C_{HCl}}{\partial Corr_{int,nt}} u(Corr_{int,nt})$ — часткова невизначеність, зумовлена t-м інтерферентом, що спричиняє від'ємний вплив.

— $u(Corr_{adj})$: стандартну невизначеність $u(Corr_{adj})$ обчислюють на підставі невизначеності калібрувального газу. Загалом невизначеність, яку надає виробник, є розширеною невизначеністю. Якщо X_{cal} — розширена невизначеність калібрувального газу, виражена у відсотках відносно (%), то стандартну невизначеність поправки за досліджуваної концентрації C_{meas} визначають за формулою:

$$u(Corr_{adj}) = \frac{X_{cal} / 100 \times C_{meas}}{2}$$

Коли

$$\frac{\partial C_{\text{HCl}}}{\partial \text{Corr}_{\text{adj}}} u(\text{Corr}_{\text{adj}}) = \frac{X_{\text{cal}} / 100 \times C_{\text{meas}}}{2}$$

2.А.4.3 Результати обчислення комбінованої невизначеності

Таблиця 2.А.3 — Результати обчислення часткових невизначеностей

Робоча характеристика	Часткова стандартна невизначеність	Значення часткової стандартної невизначеності за граничного значення (мг/м ³)
Невідповідність апроксимації	$u(\text{Corr}_{\text{fit}})$	$\frac{(0,6 / 100) \times 15}{\sqrt{3}} = 0,052$
Дрейф нуля	$u(\text{Corr}_{0,\text{dr}})$	$\frac{(0,3 / 100) \times 15}{\sqrt{3}} = 0,026$
Дрейф діапазону	$u(\text{Corr}_{\text{s,dr}})$	$\frac{(0,45 / 100) \times 15}{\sqrt{3}} = 0,0390$
Чутливість до об'ємної витрати проби	$u(\text{Corr}_{\text{s,vf}})$	$\frac{(0,2 / 100)}{10} \times 15 \times \frac{5 \times 2}{\sqrt{3}} = 0,0173$
Чутливість до тиску газової проби	$u(\text{Corr}_{\text{a,press}})$	$(0,4 / 100) \times 15 \times \frac{100 - 99}{\sqrt{3}} = 0,0346$
Чутливість до температури навколишнього повітря	$u(\text{Corr}_{\text{temp}})$	$\frac{(0,5 / 100)}{10} \times 15 \times \sqrt{\frac{(308 - 285)^2 + (308 - 285)(283 - 285) + (283 - 285)^2}{3}}$ = 0,0956
Чутливість до напруги живлення	$u(\text{Corr}_{\text{V}})$	$\frac{(0,12 / 100)}{10} \times 15 \times \frac{2 \times 11,3}{\sqrt{12}} = 0,012$
Інтерферент: CH ₄	$u(\text{Corr}_{\text{CH}_4})$	$\frac{(0,51)}{50} \times \frac{10}{\sqrt{3}} = 0,0589$
Інтерферент: N ₂ O	$u(\text{Corr}_{\text{N}_2\text{O}})$	Концентрація N ₂ O є незначною
Інтерферент: CO ₂	$u(\text{Corr}_{\text{CO}_2})$	$\frac{-0,38}{15} \times \sqrt{\frac{12^2 + 12 \times 8 + 8^2}{3}} = -0,255$
Повторюваність у лабораторних умовах у точці встановлення діапазону	$u(\text{Corr}_{\text{rep}})$	$(0,45 / 100) \times 15 = 0,0675$

Невизначеність	$u(Corr_{adj})$	$\frac{(2/100) \times 9}{2} = 0,09$
газу	для	
встановлення		
діапазону		

2.A.4.4 Обчислення комбінованої невизначеності

Сума інтерферентів, що спричиняють додатний вплив, перевищує суму інтерферентів, що спричиняють від'ємний вплив $S_{Int,p} > S_{Int,n}$

$$u(C_{HCl, \text{мг/м}^3}) = \sqrt{\left(u^2(Corr_{fit}) + u^2(Corr_{0, dr}) + u^2(Corr_{s, dr}) + u^2(Corr_{s, vf}) + u^2(Corr_{a, press}) + u^2(Corr_{temp}) + u^2(Corr_v) + S_{Int,p}^2 + u^2(Corr_{rep}) + u^2(Corr_{adj}) \right)}$$

$$u(C_{HCl, \text{мг/м}^3}) = 0,17831 \text{ мг/м}^3 \text{ за вологих умов та за контрольних умов щодо тиску й температури}$$

$$u(C_{HCl, \text{мг/м}^3}) = 0,36 \text{ мг/м}^3 \text{ (k=2) за вологих умов та за контрольних умов щодо тиску й температури}$$

$$U_c(C_{HCl, \text{мг/м}^3}) = 0,36 \text{ мг/м}^3 \text{ (k=2) за вологих умов та за контрольних умов щодо тиску й температури}$$

$$U_{c, rel}(C_{HCl, \text{мг/м}^3}) = 3,96 \% \text{ (k=2) від досліджуваної концентрації за вологих умов та за контрольних умов щодо тиску й температури}$$

2.A.5 Невизначеність, пов'язана з концентрацією в сухому газі

Концентрацію, виражену для сухого газу, визначають за формулою:

$$C_{dry} = C_{wet} \times \frac{100}{100 - H_2O}$$

де C_{dry} – концентрація, виражена на суху основу;

C_{wet} – концентрація, виражена на вологу основу;

H_2O – вміст водяної пари в газі.

Невизначеність, пов'язана з концентрацією, вираженою для сухого газу, обчислюється за формулою (2.F.2):

$$u^2(C_{dry}) = (C_{dry})^2 \times \left(\frac{u^2(C_{wet})}{(C_{wet})^2} + \frac{u^2(H_2O)}{(100\% - H_2O)^2} \right)$$

де $u(C|dry)$ – невизначеність, пов'язана з концентрацією, вираженою для сухого газу;

$u(C|wet)$ – невизначеність, пов'язана з концентрацією, вираженою для вологого газу;

$u(H_2O)$ – невизначеність, пов'язана з об'ємною часткою водяної пари.

$u_{\text{rel}}(\text{H}_2\text{O}) = 9\%$ від вмісту водяної пари;

$u(C_{\text{wet}}) = 0,17831 \text{ мг/м}^3$; $C_{\text{dry}} = 10 \text{ мг/м}^3$; $C_{\text{wet}} = 9 \text{ мг/м}^3$; $\rightarrow u(C_{\text{dry}}) = 0,2220 \text{ мг/м}^3$; $U_c(C_{\text{HCl, мг/м}^3}) = 0,444 \text{ мг/м}^3 (k = 2)$ за сухих умов;

$U_{c, \text{rel}}(C_{\text{HCl, мг/м}^3, \text{rel}}) = 4,44.44\% (k = 2)$ за сухих умов.

Висновок: П-АВС відповідає встановленим вимогам.