



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ 8725:2017

Якість повітря

ВИКИДИ СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ

Методи визначення швидкості
та об'ємної витрати газопилових потоків

Видання офіційне



Київ
ДП «УкрНДНЦ»
2018

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Охорона навколишнього природного середовища України» (ТК 82), Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 31 липня 2017 р. № 202 з 2018–04–01; наказом ДП «УкрНДНЦ» від 11 вересня 2017 р. № 275 термін надання чинності перенесено з 2018–04–01 на 2019–01–01
- 3 Цей стандарт розроблено згідно з правилами, установленними в національній стандартизації України
- 4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ (зі скасуванням в Україні ГОСТ 17.2.4.06–90)

Право власності на цей національний стандарт належить державі.
Заборонено повністю чи частково видавати, відтворювати
здля розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання
цей національний стандарт або його частини на будь-яких носіях інформації
без дозволу ДП «УкрНДНЦ» чи уповноваженої ним особи

ДП «УкрНДНЦ», 2018

ЗМІСТ

	С.
1 Сфера застосування.....	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни та визначення понять	1
4 Позначки та скорочення.....	3
5 Методи визначення швидкості та об'ємної витрати.....	4
5.1 Загальні положення.....	4
5.2 Пневмометричний метод	4
5.3 Анемометричний метод	4
5.4 Швидкість газу	4
5.5 Об'ємна витрата	4
6 Засоби вимірювальної техніки та допоміжні пристрої	4
7 Готування до вимірювання.....	5
7.1 Загальні положення.....	5
7.2 Вимірювальна секція та вимірювальний переріз.....	5
7.3 Вимірювальні точки	7
7.4 Вимірювальні порти.....	9
7.5 Робоча платформа та робочий майданчик	10
7.6 Мета і планування вимірювання	11
7.7 Обстежування місця вимірювання	11
7.8 Готування ЗВТ і допоміжних пристроїв	12
8 Виконання вимірювання.....	12
8.1 Пневмометричний метод	12
8.2 Анемометричний метод	12
8.3 Тиск і температура	12
8.4 Геометричні характеристики вимірювального перерізу.....	12
9 Опрацювання результатів вимірювання.....	13
9.1 Динамічний тиск	13
9.2 Густина газу.....	13
9.3 Швидкість газового потоку	13
9.4 Площа вимірювального перерізу	14
9.5 Об'ємна витрата газового потоку	15
9.6 Оцінювання похибки вимірювання.....	16
9.7 Оцінювання невизначеності вимірювання.....	16
10 Вимоги щодо безпеки	16

11 Оформлення результатів вимірювання.....	17
11.1 Протокол вимірювання параметрів газового потоку	17
11.2 Журнал вимірювання параметрів газового потоку	18
Додаток А (довідковий) Конструкції, характеристики та умови використання пневмометричних трубок і манометрів, вимірювача швидкості	19
Додаток Б (обов'язковий) Дані для обчислення геометричних параметрів розташування вимірювального перерізу у вимірювальній секції	22
Додаток В (обов'язковий) Дані для обчислення кількості вимірювальних точок та їх координат на вимірювальному перерізі газоходу	23
Додаток Г (довідковий) Приклади схем конструкцій робочої платформи та розташування вимірювальних портів	26
Додаток Д (довідковий) Рекомендована форма протоколу вимірювання параметрів газового потоку	29
Додаток Е (обов'язковий) Оцінювання похибки результатів вимірювання	33
Додаток Ж (обов'язковий) Оцінювання невизначеності результатів вимірювання	40
Додаток И (довідковий) Бібліографія	45

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ

ВИКИДИ СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ

Методи визначення швидкості
та об'ємної витрати газопилових потоків

AIR QUALITY

STATIONARY SOURCE EMISSIONS

Determination of velocity and volume flow
rate of gas-dust streams

Чинний від 2019-01-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Цей стандарт установлює методи визначення швидкості та об'ємної витрати газопилових потоків в організованих викидах стаціонарних джерел.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірні металеві. Технічні умови

ДСТУ 8726:2017 Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення тиску і температури

ДСТУ ISO 8756:2008 Якість повітря. Оброблення даних за температурою, тиском та відносною вологістю (ISO 8756:1994, IDT)

ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT).

Примітка. Чинність стандартів, на які є посилання в цьому стандарті, перевіряють згідно з офіційними виданнями національного органу стандартизації — каталогом національних нормативних документів і щомісячними інформаційними покажчиками національних стандартів.

Якщо стандарт, на який є посилання, замінено новим або до нього внесено зміни, треба застосовувати новий стандарт, охоплюючи всі внесені зміни до нього.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Нижче подано терміни, вжиті в цьому стандарті, та визначення позначених ними понять.

3.1 стаціонарне джерело забруднення; стаціонарне джерело викиду

Підприємство, цех, агрегат, установка або інший нерухомий об'єкт, що зберігає свої просторові координати протягом певного часу й здійснює викиди забруднювальної речовини або суміші таких речовин в атмосферне повітря

3.2 організований викид

Викид, який надходить в атмосферне повітря через спеціально споруджені газоходи, труби, аераційні ліхтарі та інші споруди

3.3 газований потік; газопиловий потік; газ

Газ, що містить забруднювальну речовину (забруднювальні речовини) в будь-якому агрегатному стані й організовано відводиться від джерела утворення забруднювальної речовини (забруднювальних речовин) та/або від стаціонарного джерела викидів

3.4 газохід

Складник технологічної або вентиляційної системи для транспортування газового потоку, виготовлений з різного матеріалу й різної форми поперечного перерізу (труба; повітропровід; димовий або вентиляційний канал; димова труба; вентиляційна шахта)

3.5 гідравлічний діаметр; еквівалентний діаметр

Параметр газоходу, який визначають як чотирикратне відношення площі вимірювального перерізу до периметра вимірювального перерізу

3.6 вимірювальна секція

Ділянка газоходу з вимірювальним перерізом, вхідною (до перерізу) та вихідною (за перерізом) секціями

3.7 вимірювальний переріз; вимірювальна площина

Площина, перпендикулярна до осі газоходу, для вимірювання параметрів газового потоку

3.8 вимірювальна лінія; лінія вимірювання

Лінія в площині вимірювального перерізу, обмежена внутрішньою стінкою газоходу, вздовж якої розташовуються вимірювальні точки

3.9 вимірювальна точка; точка вимірювання

Місце на лінії вимірювання, в якому виконують вимірювання

3.10 вимірювальний порт; порт доступу

Отвір у стінці газоходу в напрямку вимірювальної лінії для введення у газохід засобів вимірювальної техніки

3.11 арматура для вимірювальних портів

Комплект пристроїв, деталей для обладнання вимірювальних портів, які забезпечують доступ до вимірювальних точок, герметизацію порту, закріплення й утримування ЗВТ у певному положенні

3.12 робоча платформа; робочий майданчик; робоча зона

Зона за межами газоходу без будь-яких перешкод, де здійснюють переміщення та роботу із ЗВТ

3.13 трубка пневмометрична; трубка напірна; приймач повного і статичного тисків

Пристрій для вимірювання тисків газу в точках вимірювання

3.14 динамічний тиск

Різниця тисків за потоком і назустріч потоку газу всередині газоходу; характеризує кінетичну енергію газу

3.15 статичний тиск

Різниця тисків за потоком газу всередині газоходу й атмосферного повітря на тій самій висоті; характеризує внутрішню статичну енергію газу

3.16 повний тиск

Різниця тисків назустріч потоку газу всередині газоходу й атмосферного повітря на тій самій висоті; характеризує повну енергію газу та завжди дорівнює сумі динамічного і статичного тисків

3.17 абсолютний тиск; фактичний тиск

Визначають за результатами вимірювання статичного тиску в газоході й атмосферного тиску на робочій платформі; обчислюють як $P_r = P_a + P_c$ у разі розташування вимірювального перерізу на нагнітальній ділянці газоходу або $P_r = P_a - P_c$ у разі розташування вимірювального перерізу на всмоктувальній ділянці газоходу

3.18 реальні умови

Фактичний тиск і температура у вимірювальній точці

3.19 нормальні умови

Сталі значення тиску й температури газу; умови, до яких треба приводити розрахункові значення об'ємної витрати газового потоку.

Примітка. В цьому стандарті сталі значення нормальних умов: тиск — 101,325 кПа (значення, заокруглене до 101,3 кПа); температура — 273,15 К (значення, заокруглене до 273 К)

3.20 стандартна величина

Встановлена фізична або хімічна величина, необхідна для приведення вимірюваної величини до стандартних умов.

Примітка. До стандартних величин належать регламентовані значення об'ємної частки кисню, водяної пари й перелічені в 3.19

3.21 технологічний режим

Сукупність значень параметрів технологічного процесу в певному проміжку часу

3.22 стандартна невизначеність

Невизначеність результату вимірювання, подана як середньоквадратичний відхил

3.23 сумарна стандартна невизначеність

Стандартна невизначеність результату вимірювання, коли цей результат отримують з низки значень інших вхідних величин, що дорівнює позитивному квадратному кореню з суми доданків, які є дисперсіями або коваріаціями цих інших величин, зважених відповідно до того, як вони впливають на результат вимірювання

3.24 розширена невизначеність

Характеризує інтервал, у межах якого значення вимірюваної величини може лежати з більшою ймовірністю

3.25 коефіцієнт охоплення

Числовий коефіцієнт, використовуваний як множник сумарної стандартної невизначеності для отримання розширеної невизначеності.

4 ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

- ГОУ — газоочисні установки;
- ДВ — джерело викиду;
- ДУ — джерело утворення забруднювальної речовини;
- ЗВТ — засоби вимірювальної техніки;
- НССП — невилучений складник систематичної похибки;
- СКВ — середньоквадратичний відхил;
- A, B — довжина довшої та коротшої сторони прямокутного вимірювального перерізу газоходу, відповідно;
- a_i, b_i — відстань від внутрішньої стінки газоходу до i -ї вимірювальної точки (координата i -ї вимірювальної точки) на вимірювальній лінії (A та B відповідно) прямокутного вимірювального перерізу газоходу;
- d — внутрішній діаметр круглого газоходу;
- d_c — товщина стінки газоходу;
- d_h — гідравлічний діаметр газоходу;
- F — периметр вимірювального перерізу газоходу;
- i, i_A, i_B — порядковий номер вимірювальної точки на вимірювальній лінії круглого та прямокутного газоходу, відповідно;
- j, J — номер вимірювання, кількість вимірювань відповідно;
- k — коефіцієнт охоплення;
- K_T — значення коефіцієнта перетворення динамічного тиску (далі — коефіцієнт перетворення пневмометричної трубки);
- l, l_y, l_z — довжина вимірювальної, вхідної та вихідної секцій, відповідно;
- L, L_y, L_z — коефіцієнт кратності гідравлічному діаметру довжини вимірювальної, вхідної та вихідної секцій, відповідно;
- m, M — умовний номер компонента, кількість компонентів газової суміші, відповідно;
- Mr_m — молярна маса m -го компонента газової суміші;
- n — загальна кількість вимірювальних точок на вимірювальному перерізі;

- n_d, n_A, n_B — кількість вимірювальних точок на вимірювальній лінії круглого та прямокутного газоходу, відповідно;
- p — показ манометра під час вимірювання тиску;
- P_d, P_p, P_c — динамічний, повний, статичний тиск газу, відповідно;
- P_a — атмосферний тиск;
- P_r — абсолютний (фактичний) тиск газу;
- $q_V, q_{V0}, q_{V0c}, q_{V0k}, q_{Vct}$ — об'ємна витрата газового потоку за реальних, нормальних умов, за нормальних умов та в перерахунку на сухий газ, за нормальних умов та в перерахунку на стандартний вміст кисню, за стандартних умов (нормальні умови, сухий газ і стандартний вміст кисню), відповідно;
- S — площа вимірювального перерізу газоходу;
- T_r, t_r — фактична температура газового потоку за реальних умов за Кельвіном і Цельсієм, відповідно ($T_r = 273 + t_r$);
- u — стандартна невизначеність результату вимірювання;
- U — розширена невизначеність результату вимірювання;
- v_i — швидкість газового потоку в i -й точці вимірювального перерізу;
- x_i — відстань від внутрішньої стінки газоходу до i -ї вимірювальної точки (координата i -ї вимірювальної точки) на вимірювальній лінії (діаметрі) круглого газоходу;
- ρ — фактична густина газу (газової суміші) за реальних умов;
- ρ_o, ρ_{om} — густина газу (газової суміші) та окремого m -го компонента газової суміші за нормальних умов;
- σ — середньоквадратичний відхил вимірюваної величини;
- φ_m — об'ємна частка m -го компонента газової суміші;
- 2,695 — коефіцієнт, отриманий від ділення сталого значення температури 273 К на стале значення тиску 101,3 кПа.

5 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ

5.1 Загальні положення

Основними методами визначення швидкості газу в газоході є пневмометричний і анемометричний методи [1].

Пневмометричний метод полягає у перетворюванні кінетичної енергії газового потоку на динамічний тиск за допомогою пневмометричних трубок, у вимірюванні динамічного тиску й перерахунку вимірюваного значення динамічного тиску в швидкість газу.

Анемометричний метод полягає в перетворенні швидкості газу на швидкість обертання крильчатки зонда, яку вимірюють та перераховують у швидкість газу.

5.2 Пневмометричний метод

Метод використовують за швидкості газу в газоході не менше ніж 4 м/с, значення динамічного тиску не менше ніж 5 Па — для трубок з коефіцієнтом перетворення $K_T \approx 1,0$ і не менше ніж 10 Па — для трубок з коефіцієнтом перетворення $K_T \approx 0,5$.

5.3 Анемометричний метод

Метод використовують за швидкості газу в газоході менше ніж 4 м/с.

За швидкості газового потоку більше ніж 4 м/с застосування ЗВТ може бути обмежено через вміст твердих, смолистих, волокнистих речовин, конденсату тощо.

5.4 Швидкість газу

Швидкість газу вимірюють у вимірювальних точках, визначених відповідно до 7.3. За вимірними значеннями обчислюють середню швидкість газу в вимірювальному перерізі газоходу.

5.5 Об'ємна витрата

Об'ємну витрату газу визначають обчисленням за значеннями середньої швидкості газу й площі вимірювального перерізу газоходу.

6 ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ДОПОМІЖНІ ПРИСТРОЇ

6.1 Використовують такі ЗВТ.

6.1.1 Пневмометричні — трубки згідно з А.1 додатка А.

6.1.2 Мановакуумметри цифрові типу ММЦ-200 — згідно з чинним нормативним документом. Їхні метрологічні характеристики мають відповідати вимогам, встановленим в А.2 додатка А.

6.1.3 Барометри-анероїди типу БАММ-1 з похибкою не менше ніж ± 200 Па.

6.1.4 Вимірювачі швидкості типу ІС-1 — згідно з чинним нормативним документом. Їхні характеристики мають відповідати вимогам, встановленим в А.3 додатка А.

6.1.5 Рулетки вимірювальні металеві з ціною поділки 1 мм — згідно з ДСТУ 4179.

6.1.6 Штангенциркулі типу ШЦ — згідно з чинним нормативним документом.

6.1.7 Штангенглибиноміри типу ШГ — згідно з чинним нормативним документом.

6.2 Для під'єднання пневмометричної трубки до манометра використовують силіконові, полівінілхлоридні або гумові трубки.

6.3 Дозволено використовувати інші ЗВТ або вимірювальні системи, зокрема й автоматизовані, з метрологічними характеристиками, не гіршими від зазначених у цьому розділі.

6.4 Усі ЗВТ повинні мати підтвердження щодо своєї відповідності вимогам чинних нормативних документів.

6.5 Під час вибирання та використання ЗВТ треба дотримуватися таких вимог: значення вимірюваної величини має відповідати діапазону вимірювання ЗВТ, а реальні умови виконання вимірювання — вимогам, наведеним в інструкції з експлуатації ЗВТ; значення площі вимірювального вузла ЗВТ (чутливого елемента, зонда, приймачів тиску) не повинно перевищувати 5 % значення площі вимірювального перерізу.

7 ГОТУВАННЯ ДО ВИМІРЮВАННЯ

7.1 Загальні положення

Для отримання достовірних результатів вимірювання швидкості газового потоку вибирають належне розташування на газоході вимірювальної секції, вимірювального перерізу, вимірювальних портів, вимірювальних точок; визначають мету вимірювання і планують вимірювання; обстежують місце вимірювання; готують ЗВТ і допоміжні пристрої до вимірювання.

7.2 Вимірювальна секція та вимірювальний переріз

7.2.1 Вимірювальну секцію з вимірювальним перерізом розташовують на прямій ділянці газоходу достатньої довжини, де має бути забезпечено стабільний профіль однорідного потоку газу (немає завихрення й зворотних потоків): якнайдалі від джерела збурення газу (вентилятори, димососи); від місць, де змінюється напрямок газового потоку (коліна, відводи тощо); від місць, де змінюється форма або площа поперечного перерізу газоходу (звуження або розширення перерізу, засувки, дроселювальні пристрої тощо).

7.2.2 Оптимальні геометричні характеристики вимірювальної секції та вимірювального перерізу наведено в 7.2.3—7.2.4.

7.2.3 Загальна довжина вимірювальної секції l має бути не менше ніж сім гідравлічних діаметрів: довжина вхідної ділянки до вимірювального перерізу l_1 — не менше ніж п'ять гідравлічних діаметрів, довжина вихідної ділянки після вимірювального перерізу l_2 — не менше ніж два гідравлічні діаметри.

7.2.4 На трубі, з якої газовий потік надходить в атмосферне повітря, загальна довжина вимірювальної секції l — не менше ніж десять гідравлічних діаметрів, починаючи від верхівки труби: довжина вихідної ділянки l_2 має дорівнювати п'ять гідравлічних діаметрів, починаючи від верхівки труби, довжина вхідної ділянки l_1 — не менше ніж п'ять гідравлічних діаметрів.

Примітка. За формою поперечного перерізу зазначені труби поділяють на круглі, прямокутні й квадратні.

Ці вимоги має бути враховано й реалізовано під час проектування нових або реконструкції діючих джерел викидів та ГОУ, під час виконання заходів планово-запобіжного ремонту джерел викидів та ГОУ, на діючих — за наявності конструктивних, технічних і економічних можливостей.

7.2.5 На діючих джерелах викидів та ГОУ, де за конструктивних особливостей немає можливості дотримуватися вимог 7.2.3—7.2.4, дозволено під вимірювальну секцію облаштовувати ділянку меншої довжини відповідно до таблиці В.1 додатка В (у разі круглого газоходу) або таблиці В.3 додатка В (у разі прямокутного газоходу).

7.2.6 У місці розташування вимірювального перерізу не повинно бути підсосів або витоків газу.

7.2.7 Співвідношення максимальної та мінімальної швидкостей газового потоку у вимірювальному перерізі не має перевищувати 3:1. У цьому разі межа визначення методу, що використовують для визначення швидкості, має відповідати мінімальній швидкості потоку у вимірювальному перерізі.

7.2.8 У разі технічної можливості вимірювальну секцію облаштовують переважно на вертикальній ділянці газоходу, щоб уникнути можливого осідання на його стінках твердих часток із газового потоку.

7.2.9 Під час вибирання ділянки газоходу під вимірювальну секцію додатково оцінюють та враховують можливість монтування робочої платформи з робочими майданчиками, вимоги до яких наведено в 7.5.

7.2.10 Вимірювальна секція підлягає ідентифікуванню та маркуванню.

7.2.11 Для визначення геометричних параметрів вимірювальної секції та розташування вимірювального перерізу за конкретних наявних умов виконують обчислення, наведені нижче.

7.2.11.1 Гідравлічний діаметр газоходу d_h , у міліметрах, обчислюють за формулою:

$$d_h = 1000 \cdot \frac{4S}{F}, \quad (1)$$

де S — площа вимірювального перерізу газоходу, м^2 ;
 F — периметр вимірювального перерізу газоходу, м.

Для круглого газоходу гідравлічний діаметр газоходу d_h , у міліметрах, дорівнює внутрішньому діаметру газоходу d , у міліметрах:

$$d_h = 4 \left(\frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} \right) = d. \quad (2)$$

Для прямокутного газоходу зі сторонами A і B ($A > B$) гідравлічний діаметр газоходу d_h , у міліметрах, визначають за формулою:

$$d_h = 4 \left(\frac{A \cdot B}{2(A + B)} \right) = \frac{2A \cdot B}{A + B}, \quad (3)$$

де A і B — довжина довшої та коротшої сторін прямокутного вимірювального перерізу газоходу відповідно, мм.

Для квадратного газоходу зі стороною A гідравлічний діаметр дорівнює довжині сторони:

$$d_h = 4 \left(\frac{A \cdot A}{4A} \right) = A. \quad (4)$$

7.2.11.2 Коефіцієнт кратності L довжини вимірювальної секції газоходу l , у міліметрах, відносно гідравлічного діаметра газоходу d_h , у міліметрах, обчислюють за формулою:

$$L = \frac{l}{d_h}. \quad (5)$$

7.2.11.3 Довжини вхідної l_y та вихідної l_z секцій, у міліметрах, відповідно до 7.2.3 обчислюють за формулами:

$$l_y = 5d_h, \quad (6)$$

$$l_z = 2d_h. \quad (7)$$

Довжину вихідної секції l_z , у міліметрах, відповідно до 7.2.4 обчислюють за формулою:

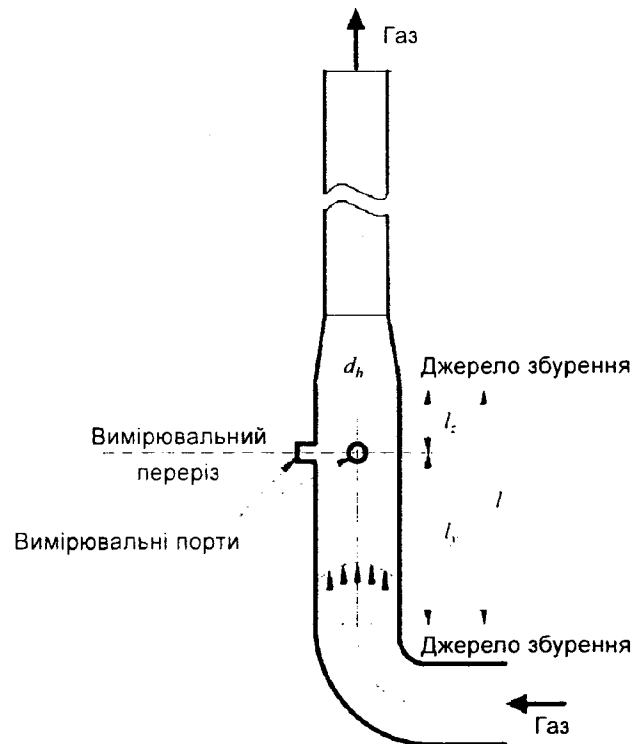
$$l_z = 5d_h. \quad (8)$$

Довжини вхідної l_y та вихідної l_z секцій, у міліметрах, відповідно до 7.2.5 обчислюють з використанням коефіцієнтів кратності довжин вхідної L_y та вихідної L_z секцій, у міліметрах, згідно з таблицею Б.1 додатка Б за формулами:

$$l_y = L_y \cdot d_h, \quad (9)$$

$$l_z = L_z \cdot d_h. \quad (10)$$

Схему розташування вимірjuвальної секції та вимірjuвального перерізу на газоході наведено на рисунку 1.



Умовні позначки:

l — довжина вимірjuвальної секції;

l_y — довжина вхідної секції (до перерізу);

l_z — довжина вихідної секції (після перерізу).

Рисунок 1 — Схема розташування вимірjuвальної секції та вимірjuвального перерізу на газоході

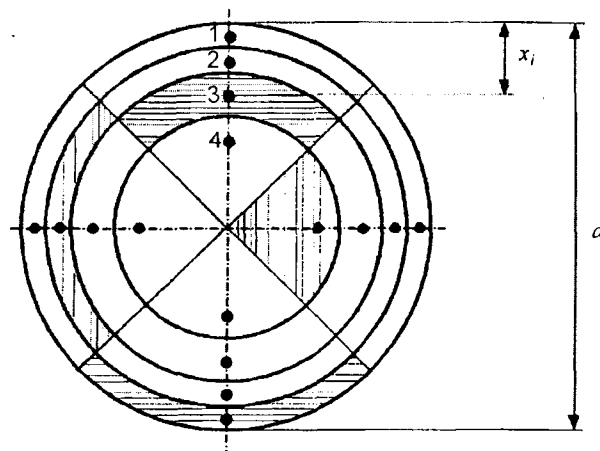
7.3 Вимірjuвальні точки

7.3.1 Вимірjuвальні точки в круглому вимірjuвальному перерізі розташовують на двох вимірjuвальних лініях — взаємно перпендикулярних діаметрах, що перетинаються в центрі вимірjuвального перерізу. Схему розташування вимірjuвальних точок на вимірjuвальному перерізі круглого газоходу наведено на рисунку 2.

Примітка 1. Кількість і розташування вимірjuвальних точок на вимірjuвальному перерізі круглого газоходу відповідають [2].

Примітка 2. Для круглих газоходів застосовують тангенційний метод розміщення вимірjuвальних точок [1].

7.3.2 Кількість вимірjuвальних точок n_d на одній вимірjuвальній лінії (діаметрі) визначають залежно від діаметра газоходу й довжини вимірjuвальної секції згідно з таблицею В.1 додатка В.



Умовні позначки:

d — внутрішній діаметр газоходу;

x_i — відстань від внутрішньої стінки газоходу до i -ї вимірювальної точки на діаметрі.

Рисунок 2 — Схема розташування вимірювальних точок на вимірювальних лініях (діаметрах) круглого газоходу

7.3.3 Відстань x_i (координату i -ї вимірювальної точки) обчислюють за такою формулою:

$$x_i = K_i \cdot d. \quad (11)$$

Значення коефіцієнтів K_i наведено в таблиці В.2 додатка В.

Обчислені за формулою (11) значення координат вимірювальних точок заокруглюють до цілих.

Якщо кількість вимірювальних точок перевищує максимальну кількість у таблиці В.1 додатка В, то значення коефіцієнтів K_i обчислюють за такими формулами:

$$K_i = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{(n_d - 2i + 1)}{n_d}} \right] \quad \text{для} \quad i \leq \frac{n_d}{2}, \quad (12)$$

$$K_i = \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{\frac{(2i - n_d - 1)}{n_d}} \right] \quad \text{для} \quad i > \frac{n_d}{2}. \quad (13)$$

7.3.4 Розташування вимірювальних точок у вимірювальному перерізі прямокутного газоходу визначають за такими правилами.

Площину перерізу умовно ділять на однакові за площею вимірювальні ділянки, обмежені лініями, паралельними сторонам газоходу. Вимірювальні точки розташовують у центрі кожної такої вимірювальної ділянки в точках перетину ліній, паралельних сторонам газоходу.

Схему розташування вимірювальних точок на вимірювальному перерізі прямокутного газоходу наведено на рисунку 3.

7.3.5 Загальну кількість вимірювальних точок n і кількість вимірювальних точок на вимірювальних лініях n_A та n_B визначають за таблицею В.3 додатка В.

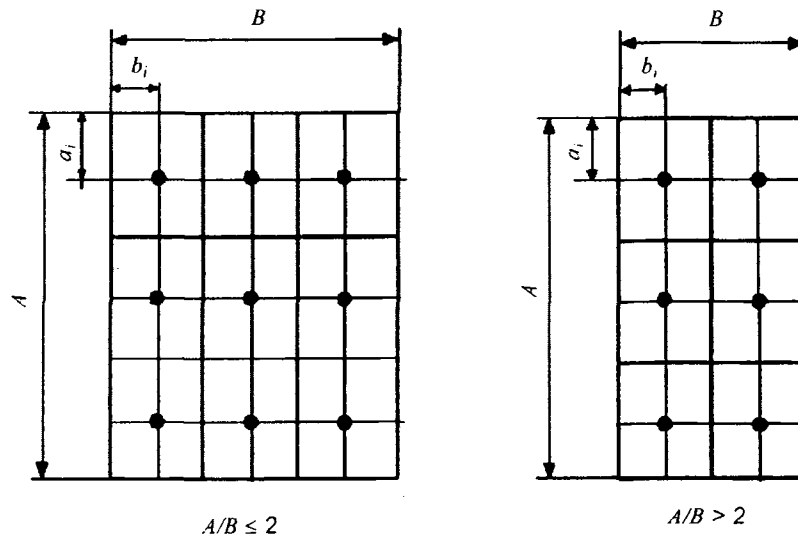
7.3.6 Координати вимірювальних точок обчислюють за такими формулами:

$$a_i = K_{n_A i} \cdot A, \quad (14)$$

$$b_i = K_{n_B i} \cdot B. \quad (15)$$

Значення коефіцієнтів $K_{n_A i}$, $K_{n_B i}$ наведено в таблиці В.4 додатка В.

Обчислені за формулами (14) і (15) значення координат вимірювальних точок заокруглюють до цілих.



Умовні позначки:

- A — довжина довшої сторони прямокутного вимірювального перерізу газоходу;
- B — довжина коротшої сторони прямокутного вимірювального перерізу газоходу;
- a_i, b_i — координати i -ї точки вимірювання (відстань від внутрішніх стінок газоходу).

Рисунок 3 — Схема розміщення вимірювальних точок на перерізі прямокутного газоходу

Якщо кількість вимірювальних точок перевищує максимальну кількість за таблицею В.4 додатка В, значення коефіцієнтів K_{nAi} та K_{nBi} обчислюють за формулами:

$$K_{nAi} = \frac{2_{iA} - 1}{2_{nAi}}, \quad (16)$$

$$K_{nBi} = \frac{2_{iB} - 1}{2_{nBi}}. \quad (17)$$

7.4 Вимірювальні порти

7.4.1 Вимірювальні порти планують на стадії проектування й облаштування згідно з вимогами 7.4.1—7.4.6 перед введенням в дію нових, реконструкцією або виконанням заходів планово-запобіжного ремонту діючих ДВ, ГОУ.

Під час поточного ремонту ДВ та ГОУ вимірювальні порти обладнують з урахуванням конструктивних і технічних можливостей.

Вимірювальні порти в місці вимірювання має бути виконано так, щоб якнайменше було порушено поверхневі шари газоходу (теплоізоляцію, антикорозійний покрив тощо) та не було витoku газу чи підсосу повітря.

7.4.2 Вимірювальні порти мають забезпечувати доступ до вимірювальних точок відповідно до 7.3.1 чи 7.3.4. Їх розташовують у точках газоходів, що відповідають початку та/або закінченню вимірювальних ліній.

7.4.3 Кількість і розташування вимірювальних портів на круглих газоходах визначають так:

- за діаметра газоходу до 1700 мм включно облаштовують два порти під кутом 90° ;
- за діаметра газоходу понад 1700 мм облаштовують чотири порти під кутом 90° .

У разі використання пневмометричної трубки завдовжки більше ніж діаметр газоходу на 200 мм — 400 мм можна облаштувати два вимірювальних порти під кутом 90° .

7.4.4 Кількість і розташування вимірювальних портів на прямокутних газоходах визначають за таблицею В.3 додатка В.

Вимірювальні порти розташовують на коротшій або на довшій стороні газоходу. Якщо B не перевищує 1700 мм і є можливість облаштування відповідної робочої платформи, перевагу надають розташуванню вимірювальних портів на коротшій стороні.

Для газоходів з довжинами сторін понад 1700 мм вимірювальні порти розташовують з обох протилежних кінців ліній вимірювання обраної сторони газоходу.

У разі використання пневмометричної трубки завдовжки більше ніж довжина обраної сторони на 200 мм — 400 мм вимірювальні порти можна облаштувати на одній обраній стороні газоходу.

Приклад

Для перерізу з розміщенням вимірювальних точок 3×5 загальна їх кількість становить 15. Ці точки можуть бути доступними крізь три вимірювальні порти на коротшій стороні або крізь п'ять вимірювальних портів — на довшій стороні газоходу.

7.4.5 Геометричні характеристики вимірювального порту мають забезпечувати простір для введення та видалення пневмометричних трубок.

Рекомендований діаметр вимірювального порту — (60 ± 10) мм.

У разі використання приймачів тиску, що конструктивно розміщені в зондах для відбирання проб, діаметр круглого вимірювального порту може становити до 125 мм або мінімальна площа перерізу прямокутного вимірювального порту — 100 мм \times 250 мм.

7.4.6 Конструкція вимірювального порту має передбачати заглушку на різьбовому чи болтовому з'єднанні.

7.5 Робоча платформа та робочий майданчик

7.5.1 Вимоги до облаштування робочої платформи й робочого майданчика має бути враховано й реалізовано під час проектування нових або реконструкції діючих ДВ та ГОУ, під час виконання заходів планово-запобіжного ремонту ДВ та ГОУ, на діючих — за наявності конструктивних, технічних і економічних можливостей.

7.5.2 Постійна й тимчасова робочі платформи мають бути достатньо міцними для перебування на них від двох до шести осіб з обладнанням масою від 50 кг до 300 кг залежно від мети вимірювань. Безпечність платформи перевіряють перед використанням відповідно до вимог техніки безпеки на робочому місці.

7.5.3 Робоча платформа має забезпечувати достатні робочі площі й висоту (робочий простір) для проведення вимірювання, тобто забезпечувати можливість маніпулювання пневмометричними трубками й іншими ЗВТ.

Оптимальна відстань від підлоги робочої платформи до вимірювальних портів — від 1,2 м до 1,5 м.

Площу робочої платформи визначають залежно від гідравлічного діаметра газоходу, мети й обсягу вимірювань.

Мінімальна площа, необхідна для розміщення ЗВТ, допоміжного обладнання, виконання вимірювань і пересування виконавців, становить: 4 м^2 — якщо гідравлічний діаметр не перевищує 0,5 м; від 12 м^2 до 18 м^2 — якщо гідравлічний діаметр перевищує 0,5 м.

7.5.4 Уведенню пневмометричних трубок, зондів не повинні заважати захисне огороження, інші вмонтовані елементи. Достатню глибину робочої зони визначають за сумою внутрішнього діаметра, товщини стінки газоходу, довжини патрубка вимірювального порту й додаткових 1,5 м для введення пневмометричних трубок.

7.5.5 Якщо конструкція робочої платформи не дає можливості забезпечити рівень вібрації, визначений в умовах застосування ЗВТ, встановлюють спеціальні амортизатори й демпфери.

7.5.6 Робочу платформу та драбину до неї облаштовують огорожею. Робочу зону на платформі з усіх боків захищають бортовими листами заввишки не нижче ніж 1 м.

Приклади схем конструкцій робочих платформ наведено в додатку Г.

7.5.7 У робочій зоні обладнують місця для встановлення необхідних ЗВТ, допоміжного обладнання та пристроїв для їх надійного закріплення. На газоході обладнують пристрій для фіксації пневмометричної трубки у вимірювальних точках.

Для підймання на робочу платформу ЗВТ і допоміжного обладнання, за необхідності, на платформі монтують талі.

7.5.8 Робочу зону облаштовують силовим з'єднанням, технічні характеристики якого мають відповідати вимогам техніки безпеки та інструкцій з експлуатації ЗВТ, допоміжного обладнання, яке використовують під час вимірювання, а також, за необхідності, комунікаціями водопостачання та водовідведення, стисненого повітря.

7.5.9 Рівень природного, штучного стаціонарного чи переносного освітлення робочої зони має відповідати чинним нормативним документам.

7.5.10 Якщо вимоги, наведені в 7.2—7.5, не можливо виконати в повному обсязі, їх дотримуються якомога повніше, а кожне відхилення фіксують у плані та протоколі вимірювань.

Примітка. Вимоги 7.2, 7.4—7.5 відповідають [2].

7.6 Мета і планування вимірювання

7.6.1 Мету вимірювання визначає замовник. Це визначення має охоплювати: мету вимірювання як таку; місце вимірювання; досліджуваний технологічний процес, робочі умови, що стосуються ДВ; вимірювані фізичні величини (швидкість, об'ємна витрата газового потоку); термін виконання вимірювання; вимоги до вимірювальної лабораторії. У цьому визначенні може бути зазначено методи вимірювання та вимоги до похибки/невизначеності вимірювання.

7.6.2 Для подальшого планування вимірювання збирають найповнішу інформацію, що стосується мети вимірювання: дозволи на викиди, матеріали інвентаризації, попередні результати вимірювання, технологічний регламент тощо. З'ясовують наявність місць вимірювань, їх відповідність вимогам 7.2, 7.4—7.5; можливість впливу режиму роботи технологічного обладнання, сировини, ГОУ на результати вимірювання; значення проектної та фактичної виробничої потужності й продуктивності технологічного устаткування, технологічний режим, за якого буде виконано вимірювання.

7.6.3 З огляду на мету на підставі зібраної інформації складають план вимірювання, охоплюючи підготовчі заходи:

- обстеження місця вимірювання та ознайомлення з конкретними умовами виконання вимірювання;
- доведення до відповідального персоналу, визначеного відповідно до мети, вимог до умов експлуатації підприємства та їх узгодження;
- вирішення з відповідальним персоналом замовника питань підготовки місць вимірювання, легкого доступу до них. Якщо місця вимірювання не визначено, не обладнано, розробляють і надають рекомендації щодо їх розташування та обладнання відповідно до 7.2, 7.4—7.5;
- виділення відповідального представника замовника для присутності під час вимірювання, з'ясування організаційних питань, що можуть виникнути під час підготування та вимірювання.

У разі здійснення виробничого контролю за дотриманням встановлених нормативів викидів достатньо підготовчих заходів у обсягах, визначених дозволом на викиди забруднювальних речовин.

Примітка. Вимоги 7.6 відповідають [2].

7.7 Обстеження місця вимірювання

7.7.1 Після прибуття на підприємство представники виконавця вимірювання та підприємства мають перевірити, що попередньо заплановані заходи виконано: робочі платформи, робочі зони, місця вимірювання та вимірювальні порти підготовлено, регламент роботи ДВ і ДУ відповідають запланованим.

7.7.2 Перед вимірюванням обстежують місце вимірювання. Під час огляду отримують і перевіряють інформацію про доступ до місця вимірювання, відповідність або відхилення його розташування та облаштування вимогам 7.2, 7.4—7.5, номер вимірювального порту та його розміри, розміри вимірювального перерізу, перешкоди тощо.

7.7.3 На підставі зібраної інформації обирають ЗВТ і допоміжне обладнання, враховуючи таке:

- площа розташованого поперек потоку газу вимірювального вузла (наконечника пневмометричної трубки, чутливого елемента зонда вимірювача температур чи анемометра) не повинна перевищувати 5 % площі вимірювального перерізу;
- довжина пневмометричних трубок, зондів вимірювачів температури й швидкості має бути більшою, ніж сума довжин вимірювального перерізу й патрубка вимірювального порту на величину від 200 мм до 400 мм;
- довжина з'єднувальних трубок має відповідати відстані до вимірювача тиску (зокрема, можливо розташуванню його в приміщенні (зоні), де параметри навколишнього середовища відповідають експлуатаційній документації цього ЗВТ).

7.7.4 За результатами обстеження місця вимірювання остаточно визначають термін виконання вимірювання.

Примітка. Вимоги 7.7 відповідають [2].

7.8 Готування ЗВТ і допоміжних пристроїв

7.8.1 Пневмометричну трубку перевіряють: чи немає деформації, задирок або інших пошкоджень; забрудненості та закупорки трубок-приймачів тиску; внутрішніх перетоків між трубками-приймачами тиску.

Пневмометричну трубку завчасно розмічають, наносячи позначки, що мають відповідати сумарній відстані від зовнішнього краю вимірювального порта до найближчої внутрішньої стінки газоходу та від внутрішньої стінки газоходу до кожної конкретної вимірювальної точки.

7.8.2 Вимірювач швидкості (анемометр) перевіряють, чи немає пошкодження лопаток і корпусу, а також забруднення на лопатках.

7.8.3 Пневмометричну трубку й зонд вимірювача швидкості на частині, що залишається зовні газоходу, обладнують покажчиком орієнтації приймача повного тиску чи крильчатки анемометра у вимірювальних точках.

7.8.4 З'єднувальні трубки перевіряють на цілісність і чистоту, визначають їх довжину.

7.8.5 Приймачі тисків пневмометричної трубки з'єднують з манометром з'єднувальними трубками відповідно до 6.2. Для вимірювання динамічного тиску штуцер приймача повного тиску, позначений знаком «+», приєднують до штуцера манометра, позначеного знаком «+», а штуцер приймача статичного тиску, позначений знаком «-», приєднують до штуцера манометра, позначеного знаком «-».

7.8.6 З'єднання пневмометричної трубки з манометром з'єднувальними трубками перевіряють на герметичність: створюють тиск, зазначають відповідний показ манометра, герметично перекривають з'єднувальні трубки, в цьому разі протягом 1 хв не повинно фіксуватися зниження тиску.

8 ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАННЯ

8.1 Пневмометричний метод

8.1.1 Пневмометричну трубку через обладнаний вимірювальний порт вводять в газохід, направляють наконечник приймача повного тиску назустріч газовому потоку.

Відхилення від співвісності не повинно перевищувати 5° або значення, вказаного в інструкції з експлуатації пневмометричної трубки.

8.1.2 Динамічний тиск вимірюють у кожній точці не менше ніж три рази: тричі переміщують напірну трубку вздовж вимірювальної лінії та послідовно встановлюють у кожній вимірювальній точці.

8.2 Анемометричний метод

Зонд ЗВТ через обладнаний вимірювальний порт вводять у газохід, направляють його назустріч газовому потоку, переміщують уздовж вимірювальної лінії, тричі послідовно встановлюючи в кожну вимірювальну точку відповідно до 7.3. Час вимірювання в кожній точці має відповідати експлуатаційній документації ЗВТ.

8.3 Тиск і температура

Під час вимірювань відповідно до 8.1 та 8.2 визначають абсолютний тиск і температуру газопилового потоку згідно з ДСТУ 8726.

8.4 Геометричні характеристики вимірювального перерізу

Геометричні характеристики вимірювального перерізу визначають прямим вимірюванням внутрішніх розмірів газоходу або за результатами вимірювання зовнішнього розміру газоходу й товщини його стінки.

Зовнішні розміри газоходу вимірюють рулеткою відповідно до 6.1.5. Товщину стінки газоходу вимірюють штангенциркулем відповідно до 6.1.6.

Внутрішні розміри газоходу вимірюють штангенглибиноміром відповідно до 6.1.7. Діаметр круглого газоходу вимірюють двічі на кожній вимірювальній лінії. Довжини сторін прямокутного перерізу вимірюють двічі на кожній вимірювальній горизонталі та вертикалі.

Відхил вимірюваних значень від середнього не повинен перевищувати 1 %, в іншому разі кількість вимірювань подвоюють.

У разі такого розташування газоходу, яке перешкоджає проведенню прямих вимірювань (підземні канали тощо), дозволено визначати геометричні характеристики вимірювального перерізу за технічною документацією підприємства.

9 ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

9.1 Динамічний тиск

9.1.1 Середнє значення показів манометра в i -й точці на вимірювальній лінії \bar{p}_i , у паскалях, визначають за формулою:

$$\bar{p}_i = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J p_{ij}, \quad (18)$$

де p_{ij} — j -й показ манометра в i -й точці на вимірювальній лінії, Па;
 J — кількість показів манометра в i -й точці на вимірювальній лінії, шт. ($J \geq 3$).

9.1.2 Динамічний тиск газу в i -й точці $P_{ди}$, у паскалях, обчислюють за формулою:

$$P_{ди} = \bar{p}_i \cdot K_T, \quad (19)$$

де \bar{p}_i — середнє значення показів манометра в i -й точці на вимірювальній лінії, Па;
 K_T — коефіцієнт перетворення пневмометричної трубки.
 Отриманий результат заокруглюють до десятих.

9.2 Густина газу

Густина газу ρ_0 , в кілограмах на кубічний метр, що містить M компонентів з молярними масами Mr_m , у кілограмах на кіломоль, та об'ємними частками φ_m , у відсотках, за нормальних умов визначають за формулою:

$$\rho_0 = 0,01 \sum_m^M \frac{Mr_m \cdot \varphi_m}{22,4}, \quad (20)$$

де 22,4 — мольний об'єм за нормальних умов, м³/кмоль.

Якщо відомі значення густини та об'ємної частки за нормальних умов для кожного з компонентів газової суміші ρ_{0m} та φ_m , відповідно, густину газу за нормальних умов визначають за формулою:

$$\rho_0 = 0,01 \sum_m^M \rho_{0m} \cdot \varphi_m. \quad (21)$$

Якщо немає значень об'ємних часток компонентів газової суміші, густину газу беруть такою, що дорівнює густині повітря 1,29 кг/м³.

Густина газу за реальних умов вимірювання ρ , у кілограмах на кубічний метр, визначають за формулою:

$$\rho = 2,695 \cdot \rho_0 \cdot \frac{P_r}{T_r}, \quad (22)$$

де P_r — абсолютний (фактичний) тиск газу, кПа;
 T_r — фактична температура газового потоку за реальних умов за Кельвіном.
 Отриманий результат заокруглюють до сотих.

9.3 Швидкість газового потоку

Швидкість газового потоку в i -й точці вимірювального перерізу v_i , у метрах за секунду, обчислюють за формулою або прямо отримують результати її вимірювання вимірювачем швидкості (анемометром):

$$v_i = \sqrt{\frac{2P_{ди}}{\rho}} = \frac{1,414}{\sqrt{\rho}} \sqrt{P_{ди}}, \quad (23)$$

де $1,414 = \sqrt{2}$.

Середнє значення швидкості газового потоку \bar{v} , в метрах за секунду, визначають за формулою:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i. \quad (24)$$

Отриманий результат заокруглюють до сотих.

9.4 Площа вимірювального перерізу

Для подальшого визначення об'ємної витрати обчислюють площу вимірювального перерізу відповідно до 9.4.1 (у разі круглого газоходу) або відповідно до 9.4.2 (у разі прямокутного газоходу).

9.4.1 Середній діаметр круглого газоходу \bar{d} , у міліметрах, обчислюють за формулою:

$$\bar{d} = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J d_j, \tag{25}$$

де d_j — j -й результат прямого вимірювання внутрішнього діаметра круглого газоходу, мм;
 J — кількість вимірювань відповідно до 8.4 для круглого газоходу.

Отриманий результат заокруглюють до цілих.

Середню довжину зовнішнього периметра круглого газоходу \bar{F}' , у міліметрах, обчислюють за формулою:

$$\bar{F}' = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J F'_j, \tag{26}$$

де F'_j — j -й результат вимірювання довжини зовнішнього периметра круглого газоходу, мм;
 J — кількість вимірювань відповідно до 8.4 для круглого газоходу.

Отриманий результат заокруглюють до цілих.

Середню товщину стінки круглого газоходу \bar{d}_c , у міліметрах, обчислюють за формулою:

$$\bar{d}_c = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J d_{cj}, \tag{27}$$

де d_{cj} — j -й результат вимірювання товщини стінки круглого газоходу, мм;
 J — кількість вимірювань відповідно до 8.4 для круглого газоходу.

Отриманий результат заокруглюють до цілих.

Середній діаметр круглого газоходу \bar{d} , у міліметрах, обчислюють за формулою за результатами вимірювання довжини зовнішнього периметра газоходу й товщини стінки газоходу:

$$\bar{d} = 0,318\bar{F}' - 2\bar{d}_c, \tag{28}$$

де $0,318 = 1/3,14$;

\bar{F}' — середнє значення довжини зовнішнього периметра круглого газоходу, мм;

\bar{d}_c — середнє значення товщини стінки круглого газоходу, мм.

Отриманий результат заокруглюють до цілих.

Площу вимірювального перерізу круглого газоходу S_d , у квадратних метрах, обчислюють за формулою:

$$S_d = 0,785 \left(\frac{\bar{d}}{1000} \right)^2, \tag{29}$$

де $0,785 = 3,14/4$.

Отриманий результат заокруглюють до сотих.

9.4.2 Середні значення довжин сторін вимірювального перерізу \bar{A} , \bar{B} , у міліметрах, обчислюють за формулами:

$$\bar{A} = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J A_j, \tag{30}$$

$$\bar{B} = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J B_j, \tag{31}$$

де A_j — j -й результат прямого вимірювання внутрішньої довшої сторони прямокутного газоходу, мм;

B_j — j -й результат прямого вимірювання внутрішньої коротшої сторони прямокутного газоходу, мм;

J — кількість вимірювань відповідно до 8.4 для прямокутного газоходу.

Отриманий результат заокруглюють до цілих.

Середні значення товщин стінок газоходу \bar{d}_{cA} , \bar{d}_{cB} , у міліметрах, обчислюють за формулами:

$$\bar{d}_{cA} = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J d_{cAj}, \quad (32)$$

$$\bar{d}_{cB} = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J d_{cBj}, \quad (33)$$

де d_{cAj} — j -й результат вимірювання товщини довшої сторони прямокутного газоходу, мм;
 d_{cBj} — j -й результат вимірювання товщини коротшої сторони прямокутного газоходу, мм;
 J — кількість вимірювань відповідно до 8.4 для прямокутного газоходу.

Отриманий результат заокруглюють до цілих.

Середні значення довжин сторін вимірювального перерізу \bar{A} , \bar{B} , у міліметрах, обчислюють за такими формулами за результатами вимірювання довжини зовнішніх сторін \bar{A}' , \bar{B}' і товщин стінок \bar{d}_{cA} , \bar{d}_{cB} прямокутного газоходу:

$$\bar{A} = \bar{A}' - 2\bar{d}_{cB}, \quad (34)$$

$$\bar{B} = \bar{B}' - 2\bar{d}_{cA}. \quad (35)$$

Отримані результати заокруглюють до цілих.

Площу вимірювального перерізу прямокутного газоходу S_{AB} , у квадратних метрах, обчислюють за формулою:

$$S_{AB} = 10^{-6} (\bar{A} \cdot \bar{B}). \quad (36)$$

Отриманий результат заокруглюють до сотих.

9.5 Об'ємна витрата газового потоку

9.5.1 Об'ємну витрату газового потоку за реальних умов, q_V , у кубічних метрах за секунду, визначають за формулою:

$$q_V = \bar{v} \cdot S, \quad (37)$$

де S — площа вимірювального перерізу круглого газоходу S_d або площа вимірювального перерізу прямокутного газоходу S_{AB} , м².

9.5.2 Об'ємну витрату газового потоку за нормальних умов, q_{V0} , у кубічних метрах за секунду, визначають за формулою:

$$q_{V0} = 2,695 \cdot q_V \cdot \frac{P_r}{T_r}. \quad (38)$$

За необхідності, об'ємну витрату газового потоку перераховують на сухий газ та/або на стандартний вміст кисню.

9.5.3 Об'ємну витрату газового потоку в перерахунку на сухий газ, q_{V0c} , у кубічних метрах за секунду, визначають за формулами:

$$q_{V0c} = q_{V0} \cdot \frac{100 - \varphi_{H_2O}}{100}, \quad (39)$$

де φ_{H_2O} — вміст водяної пари, об'ємні відсотки;

$$q_{V0c} = 2,695 \cdot q_{V0} \cdot \frac{(P_r - P_B)}{P_r}, \quad (40)$$

де P_B — парціальний тиск водяної пари за реальних умов, кПа.

9.5.4 Об'ємну витрату газового потоку в перерахунку на стандартний вміст кисню q_{V0k} , у кубічних метрах за секунду, визначають за такою формулою:

$$q_{V0k} = q_{V0} \cdot \frac{21 - \varphi_{O_2, \text{вим}}}{21 - \varphi_{O_2, \text{ст}}}, \quad (41)$$

де $\varphi_{O_2, \text{вим}}$ — вимірний вміст кисню в газозоді за реальних умов, об'ємні %;
 $\varphi_{O_2, \text{ст}}$ — стандартний вміст кисню в газозоді, об'ємні %.

9.5.5 Об'ємну витрату газового потоку за стандартних умов $q_{Vст}$, у кубічних метрах за секунду, визначають за формулою:

$$q_{Vст} = 2,695 \cdot q_V \cdot \frac{P_r}{T_r} \cdot \left(\frac{100 - \varphi_{H_2O}}{100} \right) \cdot \left(\frac{21 - \varphi_{O_2, \text{вим}}}{21 - \varphi_{O_2, \text{ст}}} \right). \quad (42)$$

9.5.6 Отримані значення об'ємної витрати газового потоку заокруглюють до сотих.

Примітка. Опрацювання результатів вимірювання відповідає ДСТУ ISO 8756.

9.6 Оцінювання похибки вимірювання

Алгоритм оцінювання похибки визначення швидкості та об'ємної витрати газового потоку наведено в додатку Е.

9.7 Оцінювання невизначеності вимірювання

Алгоритм оцінювання невизначеності вимірювання швидкості та об'ємної витрати газового потоку наведено в додатку Ж.

10 ВИМОГИ ЩОДО БЕЗПЕКИ

10.1 Під час виконання вимірювання необхідно дотримуватися загальних правил безпеки цього виробництва та відповідних виробничих інструкцій з техніки безпеки.

10.2 Заборонено починати роботи з вимірювання параметрів газових потоків без попереднього ознайомлення з загальними правилами безпеки цього виробництва (цеху, дільниці) та проходження відповідного інструктажу.

10.3 Перед виконанням робіт в особливо небезпечних чи особливо шкідливих умовах виконавці повинні отримати письмовий допуск на проведення робіт.

10.4 Вимірювання повинні виконувати не менше ніж два фахівці.

10.5 Виконавці повинні здійснювати всі роботи в спеціальному одязі, взутті та використовувати індивідуальні засоби захисту, враховуючи специфічні умови цього виробництва.

10.6 У вибухонебезпечних виробництвах необхідно використовувати вибухо- та іскробезпечне обладнання.

10.7 Роботи, пов'язані з виконанням робіт на висоті, дозволено виконувати лише за наявності міцних та надійних робочих платформ, обладнаних відповідно до вимог 7.5.1.

10.8 Заборонено виконувати роботи з використанням тимчасових настилів, підмостків, а на висоті більше ніж 1,5 м — переносних драбин.

10.9 Для запобігання ураженню потоком газу з відчинених вимірювальних портів заборонено перебувати навпроти них.

10.10 Якщо немає спеціально обладнаних електричних розеток, заборонено самостійно виконувати під'єднання приладів до електромережі та від'єднання від неї.

10.11 Заборонено залишати без нагляду прилади, що працюють, та експлуатувати їх з порушенням вимог техніки безпеки, встановлених в інструкціях до них.

10.12 У разі виникнення на підприємстві аварійної ситуації необхідно терміново припинити роботи й покинути небезпечну зону.

11 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

Результати вимірювання оформлюють протоколом, зміст та паперові або електронні носії якого мають відповідати 5.4.7 та 5.10 ДСТУ ISO/IEC 17025.

Якщо вимірювання проводять для внутрішніх замовників, результати може бути повідомлено спрощеним способом. У цьому разі результати вимірювання дозволено реєструвати в журналі вимірювання параметрів газового потоку.

11.1 Протокол вимірювання параметрів газового потоку

Протокол вимірювання параметрів газового потоку може бути окремим документом або додатком до протоколу вимірювання концентрації забруднювальних речовин інструментальним методом, або до протоколу (акта) відбирання проб.

11.1.1 Протокол має містити принаймні таку інформацію:

- назву й адресу організації, назву підрозділу, що виконує вимірювання;
- назву й адресу підприємства, де виконують вимірювання;
- мету вимірювання;
- дату виконання вимірювань, час початку й закінчення вимірювань;
- посилання на нормативні документи, відповідно до яких виконують вимірювання;
- характеристику ДВ, режим роботи ДУ під час вимірювань тощо;
- розташування вимірювальної секції (до/після вентилятора, до/після ГОУ, на вертикальній, горизонтальній чи похилій ділянці газоходу); довжину вимірювальної секції;
- характеристику й параметри вимірювального перерізу (круглий або прямокутний); результати обчислення діаметра або довжин сторін, результати обчислення середнього значення діаметра або довжин сторін, гідравлічного діаметра, площі вимірювального перерізу;
- розраховані значення коефіцієнта кратності гідравлічному діаметру та довжин вимірювальної, вхідної й вихідної секції;
- визначену кількість вимірювальних точок на вимірювальних лініях; значення коефіцієнтів для розрахунку координат вимірювальних точок на вимірювальній лінії (дозволено не наводити в разі комп'ютерних розрахунків) та розраховані координати кожної точки вимірювання;
- результати вимірювання динамічного тиску в кожній вимірювальній точці вимірювального перерізу: покази ЗВТ, їх середнє значення, значення коефіцієнта пневмометричної трубки; значення динамічного тиску;
- результати вимірювання повного тиску: покази ЗВТ в кожній вимірювальній точці вимірювального перерізу, їх середнє значення; результати розрахунків статичного тиску в кожній вимірювальній точці. У разі безпосереднього вимірювання статичного тиску за допомогою трубки Піто значень повного тиску не наводять;
- результат обчислення середнього значення статичного тиску в вимірювальному перерізі та абсолютного тиску газу;
- результати вимірювання атмосферного тиску, їх середнє значення;
- координати точок вимірювання температури газу, покази ЗВТ, розрахунки середнього значення (у Кельвінах та градусах Цельсія);
- розраховане значення густини газу за нормальних і реальних умов;
- розраховані значення швидкості газового потоку в кожній вимірювальній точці вимірювального перерізу та їх середнє значення;
- розраховане значення об'ємної витрати за реальних умов, нормальних і, за необхідності, приведених до стандартних умов тощо;
- реальні умови навколишнього середовища під час виконання вимірювання (температура повітря тощо);
- перелік ЗВТ, що застосовували під час вимірювання (назву, тип, заводський номер, довжину пневмометричних трубок) та відомості з повірки зазначених ЗВТ.

11.1.2 У протоколі подають прізвища та підписи виконавців вимірювання.

Рекомендовану форму протоколу наведено в додатку Д.

11.2 Журнал вимірювання параметрів газового потоку

Зміст і послідовність зазначуваних даних у журналі вимірювання параметрів газового потоку (далі — журнал) мають забезпечувати зберігання даних, що залишаються незмінними протягом календарного року (розділ 1), і дані, що їх мають фіксувати під час кожного вимірювання (розділ 2).

Зміст, паперові або електронні носії журналу мають відповідати 5.4.7 та 5.10 ДСТУ ISO/IES 17025.

11.2.1 Розділ 1 журналу має містити принаймні:

- назву й адресу підприємства, де виконують вимірювання;
- назву підрозділу підприємства, що виконує вимірювання;
- мету вимірювання;
- посилання на нормативні документи, відповідно до яких виконують вимірювання;
- назву (номер) ДВ, ДУ;
- характеристики й параметри вимірювального перерізу (круглий або прямокутний); результати обчислення діаметра або довжин сторін, результати обчислення середнього значення діаметра або довжин сторін, гідравлічного діаметра, площі вимірювального перерізу;
- розраховані значення коефіцієнта кратності гідравлічному діаметру та довжин вимірювальної, вхідної й вихідної секцій;
- визначену кількість вимірювальних точок на вимірювальних лініях; значення коефіцієнтів для обчислення координат вимірювальних точок на вимірювальній лінії й розраховані координати кожної точки вимірювання;
- координати точок вимірювання температури газу;
- розраховане значення густини газу за нормальних умов;
- перелік ЗВТ, що застосовували під час вимірювання (назву, тип, заводський номер, довжину пневмометричних трубок) та відомості з повірки зазначених ЗВТ.

11.2.2 Розділ 2 має містити принаймні:

- дату виконання вимірювання, час початку й закінчення вимірювання;
- характеристики ДВ, режим роботи ДУ під час вимірювання тощо;
- розташування вимірювальної секції (до/після вентилятора, до/після ГОУ, на вертикальній, горизонтальній чи похилій ділянці газоходу); довжину вимірювальної секції;
- координати кожної точки вимірювання;
- результати вимірювання динамічного тиску в кожній вимірювальній точці вимірювального перерізу: покази ЗВТ, їх середнє значення, значення коефіцієнта пневмометричної трубки; значення динамічного тиску;
- результати вимірювання повного тиску: покази ЗВТ у кожній вимірювальній точці вимірювального перерізу, їх середнє значення; результати розрахунків статичного тиску в кожній вимірювальній точці. У разі безпосереднього вимірювання статичного тиску за допомогою трубки Піто значення повного тиску не наводять;
- результат обчислення середнього значення статичного тиску в вимірювальному перерізі та абсолютного тиску газу;
- результати вимірювання атмосферного тиску, їх середнє значення;
- результати вимірювань температури газу: покази ЗВТ, обчислення середнього значення (у Кельвінах та градусах Цельсія);
- розраховане значення густини газу за реальних умов;
- розраховані значення швидкості газового потоку в кожній вимірювальній точці вимірювального перерізу та його середнє значення;
- розраховане значення об'ємної витрати газового потоку за реальних умов, нормальних і, за необхідності, приведених до стандартних умов тощо;
- реальні умови навколишнього середовища під час виконання вимірювання (температура повітря тощо).

11.2.3 За необхідності, зазначають відхили та/або доповнення стосовно дотримання вимог нормативних документів, за якими виконували вимірювання, специфічні умови навколишнього середовища тощо.

Примітка. Зміст і послідовність зазначуваних даних розділу 2 можна наводити за формами, поданими в Д.2 й Д.3 додатка Д.

ДОДАТОК А
(довідковий)КОНСТРУКЦІЇ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ
ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМОМЕТРИЧНИХ ТРУБОК
І МАНОМЕТРІВ, ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ**А.1 Конструкції, характеристики та умови використання пневмометричних трубок**

Пневмометричні трубки — це засоби приймання повного й статичного тисків, перетворення кінетичної енергії газового потоку на динамічний тиск, які використовують у комплекті з вимірювачами тиску, для визначення швидкості газового потоку розрахунковим методом за результатами вимірювання динамічного тиску.

Конструктивно пневмометричні трубки — це з'єднані між собою дві металеві трубки, через одну з яких приймається і передається на манометр повний тиск, через іншу — статичний тиск.

Схеми найзастосовуваніших конструкцій пневмометричних трубок наведено на рисунках А.1— А.7. Приймачі повного тиску позначено знаком «+», статичного тиску — знаком «-».

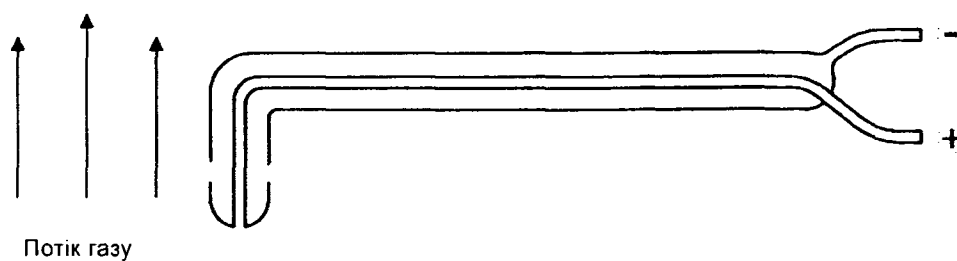


Рисунок А.1 — Стандартна трубка Піто (L-типу)

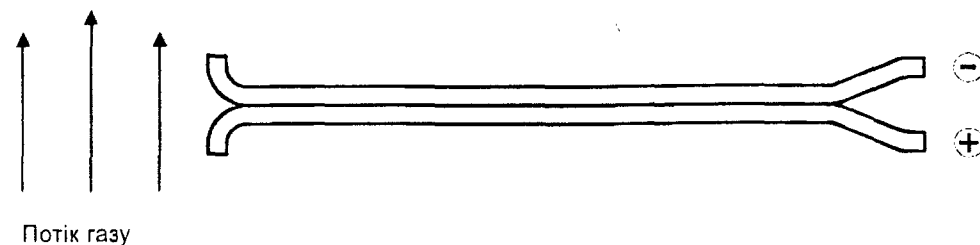


Рисунок А.2 — Трубка Піто (S-типу)

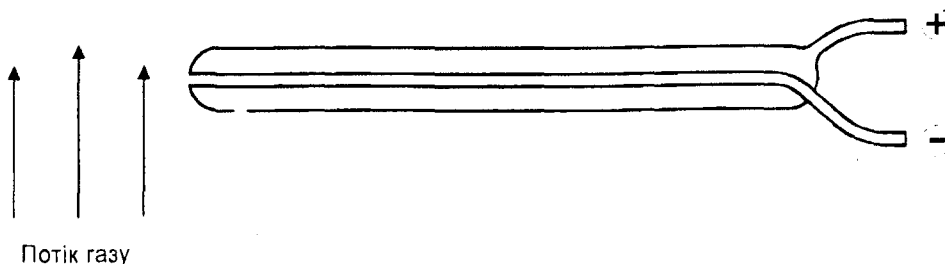


Рисунок А.3 — Трубка Піто (пряма)

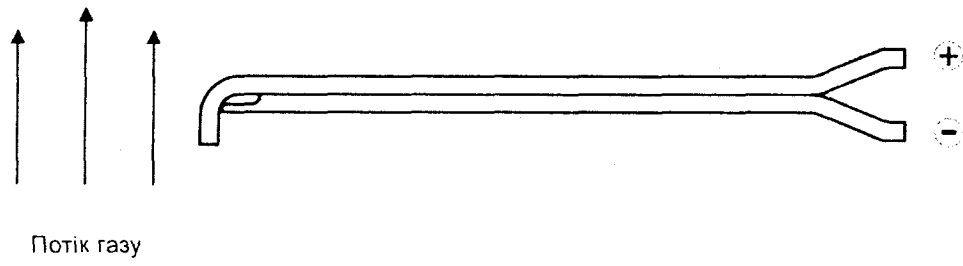


Рисунок А.4 — Трубка НІІОГАЗ

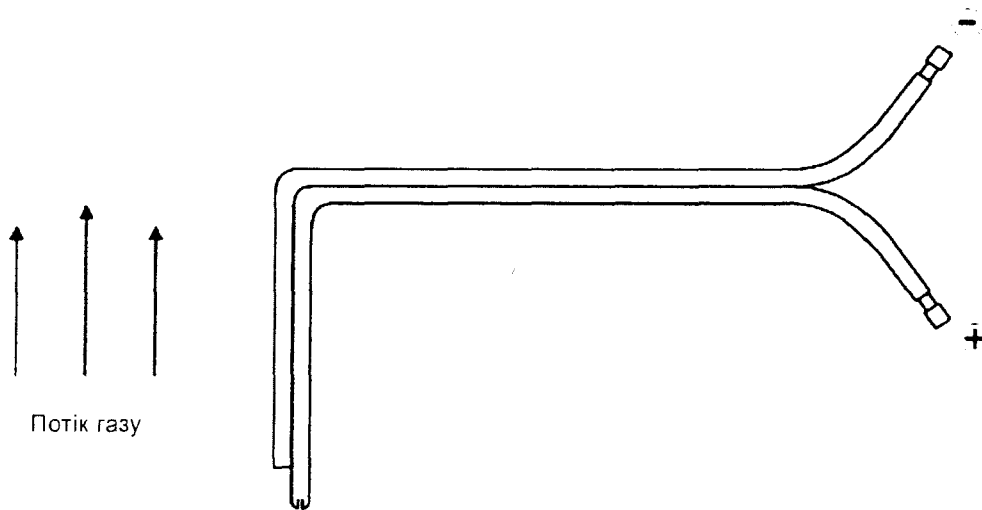


Рисунок А.5 — Трубка МІОТ

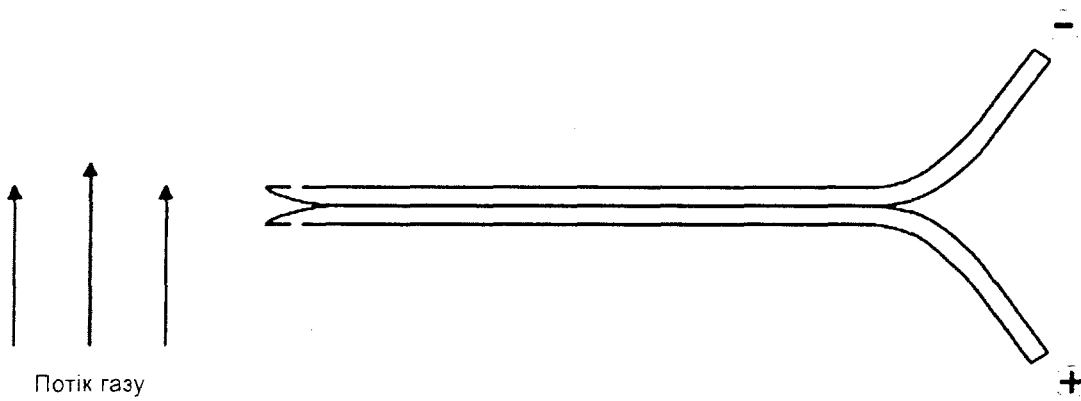


Рисунок А.6 — Трубка Проба

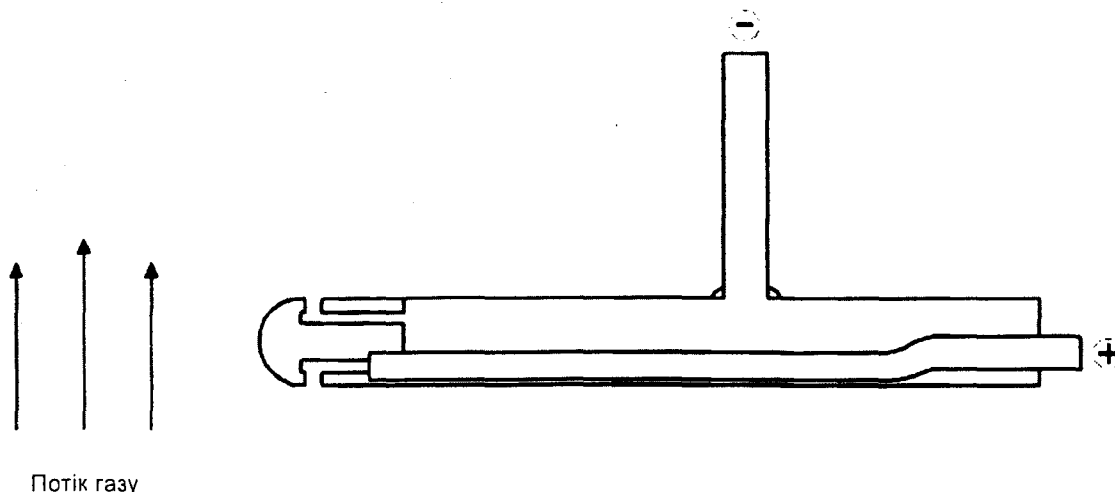


Рисунок А.7 — Трубка Гінцветмет

Основні технічні характеристики пневмометричних трубок наведено в таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Основні технічні характеристики пневмометричних трубок

Назва конструкції трубки	Тиск, що вимірюють	Діапазон перетворення трубки, м/с	Коефіцієнт перетворення трубки, Кт	Допустима відносна похибка коефіцієнта перетворення, %	Допустимий вміст твердих суспендованих речовин, г/м ³
Піто L-типу	Повний, статичний, динамічний	Від 4 до 60	Від 0,95 до 1,05	± 3	Не більше ніж 10
МІОТ					
Піто пряма	Повний, динамічний	Від 4 до 30	Від 0,35 до 0,55	± 5	» 100
Піто S-типу			Від 0,60 до 0,80		
Гінцветмет			Від 0,50 до 0,70		
Проба			Від 0,50 до 0,65		
НІОГАЗ					

Діапазон робочих температур з нормованою похибкою становить від мінус 40 °С до 40 °С. Діапазон допустимих температур газу — від мінус 40 °С до 240 °С (до 600 °С за спецзамовленням).

Типові довжини пневмометричних трубок до 2,0—2,5 м. За необхідності трубки більшої довжини виробляють за спецзамовленням.

Пневмометричні трубки може бути оснащено термоелектричним перетворювачем, у цьому разі їх доцільно використовувати з манометрами, що містять канал уведення температури.

Мінімальне значення динамічного тиску, який вимірюють за допомогою трубок Піто L-типу й МІОТ, становить 5 Па, трубок НІОГАЗ і Проба — 10 Па за умови комплектації цифровим манометром.

У разі використання трубки Піто L-типу треба враховувати заважальний вплив твердих суспендованих речовин і вологості газового потоку, що призводить до відкладень твердих речовин і конденсату в внутрішніх порожнинах трубки. За цих умов доцільно використовувати пневмометричні трубки НІОГАЗ, Піто S-типу або Проба.

А.2 Характеристики та умови використання манометрів

Цифрові мановакуумметри використовують у діапазоні вимірювання тиску від 5 Па до 2000 Па.

Роздільна здатність манометра становить не більше ніж 1 Па, основна абсолютна похибка вимірювання тиску Δ не може бути більша за значення, обчислене також за формулою:

$$\Delta = \pm (1 + 0,008P_{\text{вим}}), \tag{А.1}$$

де $P_{\text{вим}}$ — числове значення вимірюваного тиску, Па.

Манометр типу ММЦ-200 застосовують за температури навколишнього повітря від мінус 10 °С до 40 °С, відносної вологості — до 98 % й атмосферного тиску — від 84 кПа до 110 кПа.

А.3 Характеристики та умови використання вимірювача швидкості ІС-1

Вимірювач швидкості ІС-1 використовують у діапазоні вимірювання швидкості від 1,0 м/с до 25,0 м/с.

Абсолютна похибка вимірювання швидкості Δ , в метрах за секунду, має бути не більша за значення, обчислене за формулою:

$$\Delta = \pm(0,25 + 0,003v), \quad (\text{A.2})$$

де v — числове значення вимірюваної швидкості, м/с.

Діаметр головки зонда становить 20 мм, габаритні розміри вимірювального зонда — 1100 мм × 30 мм × 30 мм (довжину зонда може бути змінено на замовлення споживача).

Допустима температура навколишнього середовища для:

— вимірювального блоку — від мінус 10 °С до 50 °С;

— головки зонда — від мінус 10 °С до 350 °С.

Допустима відносна вологість — до 100 % за умови, якщо немає конденсації вологи.

Дозволено використовувати вимірювач швидкості ІС-1 за вмісту в газовому потоці твердих суспендованих речовин не більше ніж 1,0 г/м³, за умови, що немає речовин і конденсату, які відкладаються на крильчатці.

ДОДАТОК Б (обов'язковий)

ДАНИ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗТАШУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СЕКЦІЇ

Таблиця Б.1 — Значення коефіцієнтів кратності довжин вхідної й вихідної секцій відповідно L_1 та L_2 для обчислення геометричних параметрів розташування вимірювального перерізу в секції

Коефіцієнт кратності довжини вимірювальної секції L	Коефіцієнт кратності довжини вхідної секції L_1	Коефіцієнт кратності довжини вихідної секції L_2
2,0	1,8	0,2
2,5	2,1	0,4
3,0	2,4	0,6
3,5	2,7	0,8
4,0	3,0	1,0
4,5	3,2	1,2
5,0	3,6	1,4
5,5	3,9	1,6
6,0	4,2	1,8
6,5	4,3	2,0
7,0	4,8	2,2
7,5	5,1	2,4
8,0	5,4	2,6
8,5	5,7	2,8
9,0	6,0	3,0
9,5	6,3	3,2
10,0	6,6	3,4

ДОДАТОК В
(обов'язковий)ДАНІ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ КІЛЬКОСТІ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТОЧОК ТА ЇХ КООРДИНАТ
НА ВИМІРЮВАЛЬНОМУ ПЕРЕРІЗІ ГАЗОХОДУТаблиця В.1 — Кількість вимірювальних точок на одній вимірювальній лінії (діаметрі)
у перерізі круглого газоходу

Гідралічний діаметр d_n , мм	Коефіцієнт кратності довжини вимірювальної секції L	Кількість вимірювальних точок на одній вимірювальній лінії n_d
До 200	Понад 5,5	2
	Від 4 до 5,5 включно	4
Від 200 до 500 включно	Понад 5,5	2
	Від 4 до 5,5 включно	2
	» 2,5 » 4 »	6
Понад 500 до 1000 включно	Понад 5,5	2
	Від 4 до 5,5 включно	4
	» 2,5 » 4 »	6
» 1000 » 1400 »	Понад 5,5	4
	Від 4 до 5,5 включно	6
	» 2,5 » 4 »	8
	До 2,5	10
» 1400 » 2000 »	Понад 5,5	6
	Від 4 до 5,5 включно	8
	» 2,5 » 4 »	10
	До 2,5	12
» 2000 » 3000 »	Понад 5,5	8
	Від 4 до 5,5 включно	10
	» 2,5 » 4 »	12
	До 2,5	14
» 3000	Понад 5,5	12
	Від 4 до 5,5 включно	14
	» 2,5 » 4 »	16
	До 2,5	18

Таблиця В.2 — Значення коефіцієнта K_i для обчислення координат вимірювальних точок на одній вимірювальній лінії (діаметрі) в перерізі круглого газоходу

Номер вимірювальної точки i	Значення коефіцієнта K_i								
	$n_d = 2$	$n_d = 4$	$n_d = 6$	$n_d = 8$	$n_d = 10$	$n_d = 12$	$n_d = 14$	$n_d = 16$	$n_d = 18$
1	0,1465	0,0670	0,0436	0,0323	0,0257	0,0213	0,0182	0,0159	0,0141
2	0,8535	0,2500	0,1465	0,1047	0,0817	0,0670	0,0568	0,0493	0,0436
3		0,7500	0,2959	0,1938	0,1465	0,1181	0,0991	0,0854	0,0751
4		0,9330	0,7041	0,3232	0,2261	0,1772	0,1465	0,1250	0,1091
5			0,8535	0,6768	0,3419	0,2500	0,2012	0,1693	0,1464
6			0,9564	0,8062	0,6581	0,3557	0,2685	0,2205	0,1882
7				0,8953	0,7739	0,6443	0,3664	0,2835	0,2365
8				0,9677	0,8535	0,7500	0,6336	0,3750	0,2959
9					0,9183	0,8228	0,7315	0,6250	0,3821
10					0,9743	0,8819	0,7988	0,7165	0,6179
11						0,9330	0,8535	0,7795	0,7041
12						0,9787	0,9008	0,8307	0,7635
13							0,9432	0,8750	0,8118
14							0,9818	0,9146	0,8536
15								0,9507	0,8909
16								0,9841	0,9249
17									0,9564
18									0,9859

Таблиця В.3 — Кількість вимірювальних точок на вимірювальних лініях A та B у прямокутному перерізі газоходу

Гідрравлічний діаметр d_h , мм	Коефіцієнт кратності довжини вимірювальної секції L	Кількість вимірювальних точок за співвідношення довжин сторін A/B		
		від 1 до 1,6 включно	понад 1,6 до 2,5 включно	понад 2,5
		$n_B \times n_A = n$	$n_B \times n_A = n$	$n_B \times n_A = n$
До 200	Понад 5,5	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 3 = 3$
	Від 4 до 5,5 включно	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$
Від 200 до 500 включно	Понад 5,5	$1 \times 1 = 1$	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 3 = 3$
	Від 4 до 5,5 включно	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$
	» 2,5 » 4 »	$2 \times 4 = 8$	$2 \times 4 = 8$	$2 \times 5 = 10$
Понад 500 до 900 включно	Понад 5,5	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$
	Від 4 до 5,5 включно	$2 \times 4 = 8$	$2 \times 4 = 8$	$2 \times 5 = 10$
	» 2,5 » 4 »	$3 \times 4 = 12$	$3 \times 5 = 15$	$3 \times 5 = 15$
Понад 900 до 1400 включно	Понад 5,5	$2 \times 4 = 8$	$2 \times 4 = 8$	$2 \times 5 = 10$
	Від 4 до 5,5 включно	$3 \times 4 = 12$	$3 \times 5 = 15$	$3 \times 5 = 15$
	» 2,5 » 4 »	$4 \times 4 = 16$	$3 \times 6 = 18$	$3 \times 6 = 18$
	До 2,5	$4 \times 6 = 24$	$3 \times 8 = 24$	$3 \times 8 = 24$

Кінець таблиці В.3

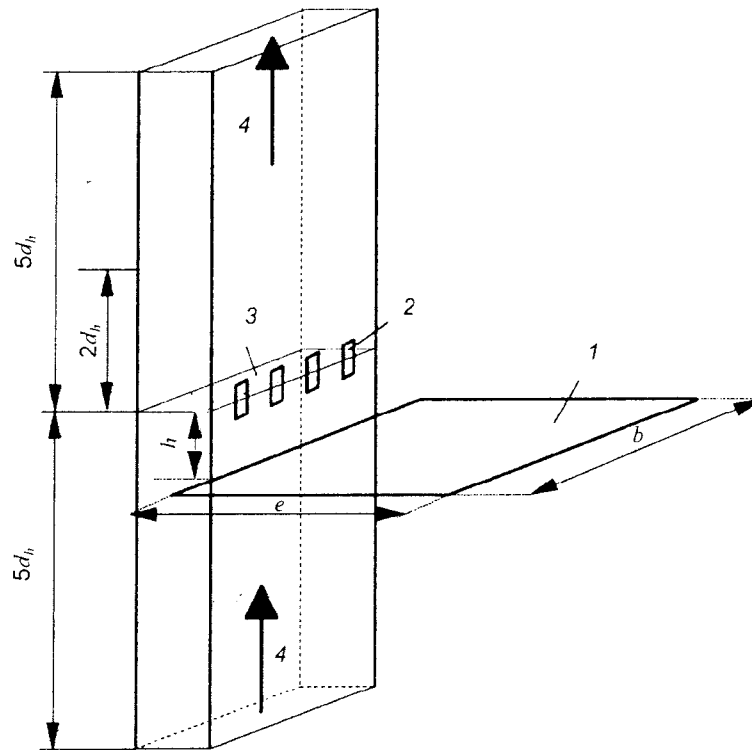
Гидравлічний діаметр d_h , мм	Коефіцієнт кратності довжини вимірювальної секції L	Кількість вимірювальних точок за співвідношення довжин сторін A/B		
		від 1 до 1,6 включно	понад 1,6 до 2,5 включно	понад 2,5
		$n_B \times n_A = n$	$n_B \times n_A = n$	$n_B \times n_A = n$
Понад 1400 до 2000 включно	Понад 5,5	$3 \times 4 = 12$	$3 \times 5 = 15$	$3 \times 5 = 15$
	Від 4 до 5,5 включно	$4 \times 4 = 16$	$3 \times 6 = 18$	$3 \times 6 = 18$
	» 2,5 » 4 »	$4 \times 5 = 20$	$4 \times 5 = 20$	$3 \times 7 = 21$
	До 2,5	$4 \times 7 = 28$	$4 \times 7 = 28$	$3 \times 10 = 30$
Понад 2000 до 2700 включно	Понад 5,5	$4 \times 4 = 16$	$3 \times 6 = 18$	$3 \times 6 = 18$
	Від 4 до 5,5 включно	$4 \times 5 = 20$	$4 \times 5 = 20$	$3 \times 7 = 21$
	» 2,5 » 4 »	$4 \times 6 = 24$	$4 \times 6 = 24$	$3 \times 8 = 24$
	До 2,5	$4 \times 8 = 32$	$4 \times 8 = 32$	$4 \times 11 = 44$
Понад 2700 до 3500 включно	Понад 5,5	$4 \times 5 = 20$	$4 \times 5 = 20$	$3 \times 7 = 21$
	Від 4 до 5,5 включно	$4 \times 6 = 24$	$4 \times 6 = 24$	$3 \times 8 = 24$
	» 2,5 » 4 »	$4 \times 7 = 28$	$4 \times 7 = 28$	$4 \times 7 = 28$
	До 2,5	$4 \times 10 = 40$	$4 \times 10 = 40$	$4 \times 10 = 40$
Понад 3500	Понад 5,5	$4 \times 6 = 24$	$4 \times 6 = 24$	$3 \times 8 = 24$
	Від 4 до 5,5 включно	$4 \times 7 = 28$	$4 \times 7 = 28$	$4 \times 7 = 28$
	» 2,5 » 4 »	$4 \times 8 = 32$	$4 \times 8 = 32$	$4 \times 8 = 32$
	До 2,5	$4 \times 11 = 44$	$4 \times 11 = 44$	$4 \times 11 = 44$

Таблиця В.4 — Значення коефіцієнтів K_{nA} та K_{nB} для обчислення координат вимірювальних точок на вимірювальних лініях у прямокутному перерізі

Номер вимірювальної точки i	Значення коефіцієнтів K_{nA} та K_{nB}										
	кількість вимірювальних точок на вимірювальній лінії n_A або n_B , шт.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,5000	0,2500	0,1667	0,1250	0,1000	0,0833	0,0714	0,0625	0,0556	0,0500	0,0455
2		0,7500	0,5000	0,3750	0,3000	0,2500	0,2143	0,1875	0,1667	0,1500	0,1364
3			0,8333	0,6250	0,5000	0,4167	0,3571	0,3125	0,2778	0,2500	0,2273
4				0,8750	0,7000	0,5833	0,5000	0,4375	0,3889	0,3500	0,3182
5					0,9000	0,7500	0,6429	0,5625	0,5000	0,4500	0,4091
6						0,9167	0,7857	0,6875	0,6111	0,5500	0,5000
7							0,9286	0,8125	0,7222	0,6500	0,5909
8								0,9375	0,8333	0,7500	0,6818
9									0,9444	0,8500	0,7727
10										0,9500	0,8636
11											0,9545

ДОДАТОК Г
(довідковий)

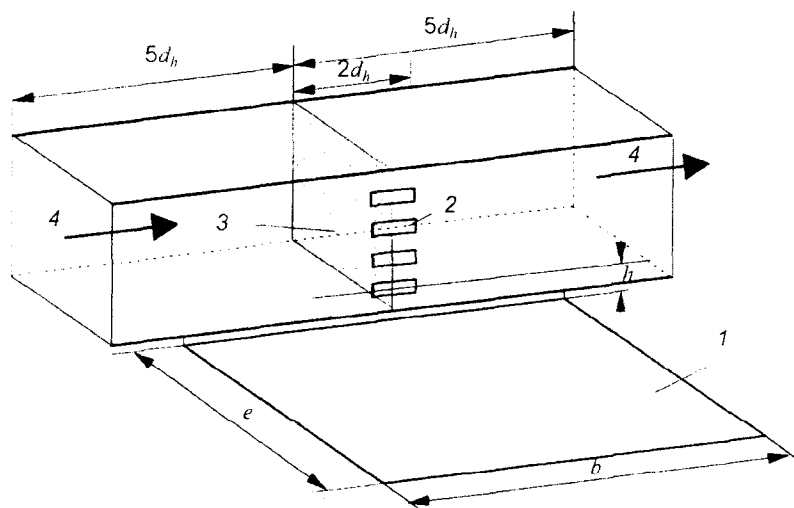
ПРИКЛАДИ СХЕМ КОНСТРУКЦІЙ РОБОЧОЇ ПЛАТФОРМИ
ТА РОЗТАШУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПОРТІВ



Умовні позначки:

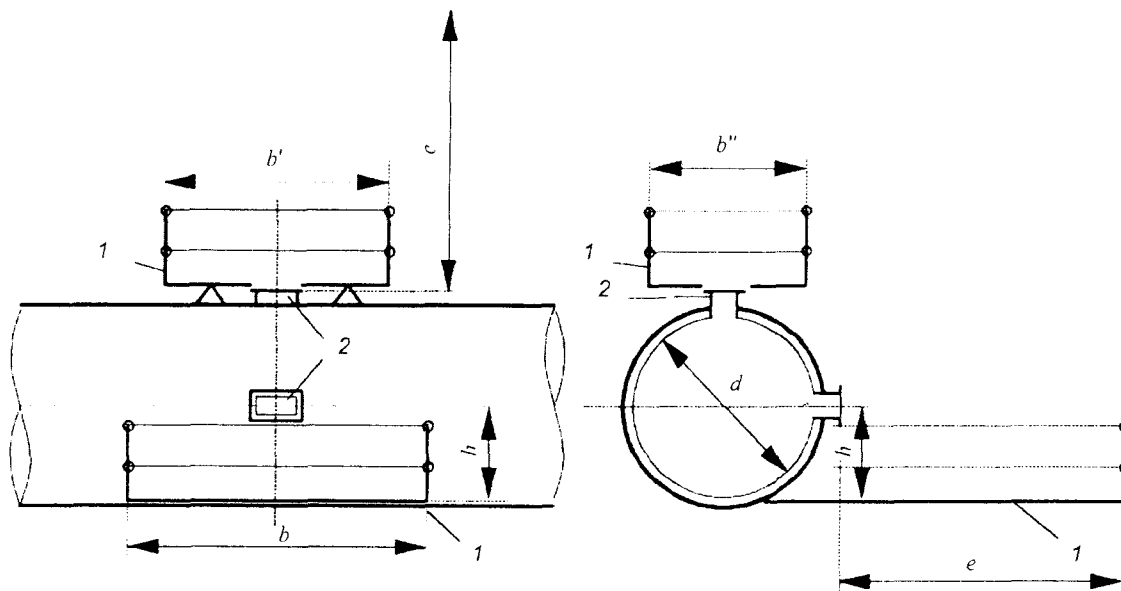
- 1 — робоча платформа;
- 2 — вимірювальний порт;
- 3 — вимірювальний переріз;
- 4 — напрямок потоку газу;
- b — ширина робочої зони;
- d_h — гідравлічний діаметр газоходу;
- e — глибина робочої зони;
- h — мінімальна висота робочої зони.

Рисунок Г.1 — Приклад схеми конструкції робочої платформи та розташування вимірювальних портів на вертикальній ділянці прямокутного газоходу



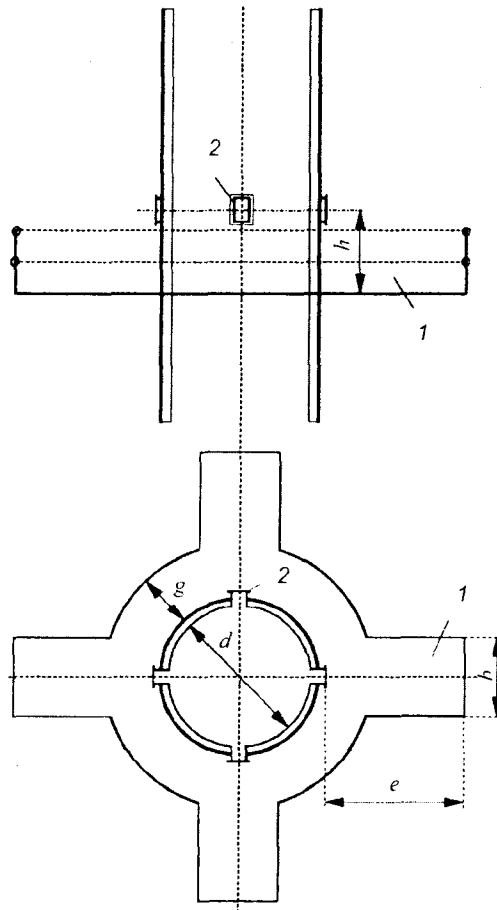
- Умовні позначки:
- | | |
|----------------------------|--|
| 1 — робоча платформа; | h — ширина робочої зони; |
| 2 — вимірювальний порт; | d_h — гідравлічний діаметр газоходу; |
| 3 — вимірювальний переріз; | e — глибина робочої зони; |
| 4 — напрямок потоку газу; | h — мінімальна висота робочої зони. |

Рисунок Г.2 — Приклад схеми конструкції робочої платформи та розташування вимірювальних портів на горизонтальній ділянці прямокутного газоходу



- Умовні позначки:
- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 — робоча платформа; | |
| 2 — вимірювальний порт; | |
| h, b', b'' — ширина робочої зони; | |
| d — внутрішній діаметр газоходу; | |
| e — глибина робочої зони; | |
| h — мінімальна висота робочої зони. | |

Рисунок Г.3 — Приклад схеми конструкції робочої платформи та розташування вимірювальних портів на горизонтальній ділянці круглого газоходу



Умовні позначки:

- 1 — робоча платформа;
- 2 — вимірювальний порт;
- b — ширина робочої зони;
- d — внутрішній діаметр газоходу;
- e — глибина робочої зони;
- g — ширина проходу в робочій зоні;
- h — мінімальна висота робочої зони.

Рисунок Г.4 — Приклад схеми конструкції робочої платформи та розташування вимірювальних портів на вертикальній ділянці круглого газоходу

ДОДАТОК Д
(довідковий)

**РЕКОМЕНДОВАНА ФОРМА ПРОТОКОЛУ
ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОВОГО ПОТОКУ**

Д.1 Рекомендована форма першого аркуша протоколу вимірювання параметрів газового потоку

Протокол вимірювання параметрів газового потоку

Дата виконання вимірювання _____.

Час виконання вимірювання: початок ____ год ____ хв, закінчення ____ год ____ хв

Вимірювання виконано відповідно до (перелік НД, згідно з якими виконували вимірювання)

1. Номер (назва) джерела _____

2. Місце вимірювання _____

2.1. До (після) вентилятора; до (після) ГОУ; ділянка газоходу: вертикальна, горизонтальна, похила (підкреслити)

2.2. Довжина прямої ділянки l , мм _____

2.3. Вимірювальний переріз _____

Круглий переріз	Прямокутний переріз
<p>Діаметр d, мм $d_j = \dots; \bar{d} = \dots$</p> <p>Довжина зовнішнього периметра F', мм $F'_j = \dots; \bar{F}' = \dots$</p> <p>Товщина стінки d_c, мм $d_{c_j} = \dots; \bar{d}_c = \dots$ $\bar{d} = 0,318\bar{F}' - 2\bar{d}_c = 0,318 \times \dots - 2 \times \dots$ $\bar{d} = \dots$</p>	<p>Розмір сторін A та B, мм $A_j = \dots; \bar{A} = \dots$ $B_j = \dots; \bar{B} = \dots$</p> <p>Розмір зовнішніх сторін A' та B', мм $A'_j = \dots; \bar{A}' = \dots$ $B'_j = \dots; \bar{B}' = \dots$</p> <p>Товщини стінок d_{cA} та d_{cB}, мм $d_{cA_j} = \dots; \bar{d}_{cA} = \dots$ $d_{cB_j} = \dots; \bar{d}_{cB} = \dots$ $\bar{A} = \bar{A}' - 2\bar{d}_{cB} = \dots - 2 \times \dots; \bar{A} = \dots$ $\bar{B} = \bar{B}' - 2\bar{d}_{cA} = \dots - 2 \times \dots; \bar{B} = \dots$ $\bar{A} / \bar{B} = \dots / \dots = \dots$</p> <p>Гідравлічний діаметр d_h, мм $\bar{d}_h = (2\bar{A} \cdot \bar{B}) / (\bar{A} + \bar{B}) = (2 \times \dots \times \dots) / (\dots + \dots)$ $\bar{d}_h = \dots$</p>
<p>$L = l / \bar{d} = \dots / \dots = \dots$</p> <p>Довжина ділянки до й після вимірювального перерізу l_1 та l_2, мм $l_1 = L_1 \cdot \bar{d}_h = \dots \times \dots = \dots$ $l_2 = L_2 \cdot \bar{d}_h = \dots \times \dots = \dots$</p>	<p>$L = l / \bar{d}_h = \dots / \dots = \dots$</p> <p>Довжина ділянки до й після вимірювального перерізу l_1 та l_2, мм $l_1 = L_1 \cdot \bar{d}_h = \dots \times \dots = \dots$ $l_2 = L_2 \cdot \bar{d}_h = \dots \times \dots = \dots$</p>
<p>Кількість точок вимірювань n_d, шт. $n_d = \dots$</p>	<p>Кількість точок вимірювань n_A, n_B, шт. $n_A = \dots, n_B = \dots$</p>

Круглий переріз	Прямокутний переріз
Площа перерізу S_d , м ² $S_d = 0,785 \cdot (\bar{d} / 1000)^2$ $S_d = 0,785 \times (\quad / 1000)^2$ $S_d = \quad$	Площа перерізу S_{AB} , м ² $S_{AB} = (\bar{A} / 1000) \cdot (\bar{B} / 1000)$ $S_{AB} = (\quad / 1000) \times (\quad / 1000)$ $S_{AB} = \quad$

3. Температура газового потоку t_p , °C; T_r , K
 (t_{r1} — на початку, t_{r2} — у середині, t_{r3} — наприкінці вимірювань тиску).

Круглий переріз					Прямокутний переріз				
Координати точки, мм	t_{r1}	t_{r2}	t_{r3}	\bar{t}_r	Координати точки, мм	t_{r1}	t_{r2}	t_{r3}	\bar{t}_r
0,25d 0,25 × \quad = \quad					т. 1 0,25 \bar{A} 0,25 × \quad = \quad 0,25 \bar{B} 0,25 × \quad = \quad				
0,75d 0,75 × \quad = \quad					т. 2 0,75 \bar{A} 0,75 × \quad = \quad 0,75 \bar{B} 0,75 × \quad = \quad				
$\bar{t}_r = \quad$;					$T_r = (273 + \bar{t}_r)$				
					$T_r = \quad$				

4. Атмосферний тиск P_a , кПа

На початку	Наприкінці	$\bar{P}_a =$

5. ЗВТ, що застосовували під час вимірювання

Назва ЗВТ	Заводський номер	Відомості з повірки ЗВТ	
		Свідоцтво №	(тавро) від
		Свідоцтво №	(тавро) від
		Свідоцтво №	(тавро) від
		Свідоцтво №	(тавро) від
		Свідоцтво №	(тавро) від
		Свідоцтво №	(тавро) від
...		Свідоцтво №	(тавро) від

Д.2 Рекомендована форма другого аркуша протоколу вимірювання параметрів газового потоку (за умови вимірювання тисків манометром з пневмометричними трубками)

6. Швидкість v та об'ємна витрата q_V

n_i	Координати точки n_i , мм		Тиск повний $P_{пв}$, Па; статичний $P_{ст}$, Па					Тиск динамічний $P_{дв}$, Па				Швидкість v_i , м/с $v_i = \frac{1,414}{\sqrt{\rho}} \sqrt{P_{дв}} =$ $= \dots \cdot \sqrt{P_{дв}}$	
	$K_{дв}$, $K_{нА}$, $K_{нВ}$	у разі круглого перерізу: $K_{дв} \cdot d_i$ у разі прямокутного перерізу: $K_{нА} \cdot A$, $K_{нВ} \cdot B$	показ ЗВТ			\bar{p}_i	$P_{пв}$	$K_T = \dots$		\bar{p}_i	$P_{дв} = \bar{p}_i \cdot K_T$		$\sqrt{P_{дв}}$
			p_1	p_2	p_3			p_1	p_2				

$\bar{P}_c = \dots / 1000 = \dots$ кПа

$P_r = (P_a \pm P_c) = \dots$

$P_r =$

$\bar{v} =$

$P_r / T_r = \dots / \dots$

$P_r / T_r =$

Густина газу ρ , кг/м³

$\rho = 2,695 \rho_0 \cdot P_r / T_r$; $\rho = 2,695 \times \dots \times \dots = \dots$ кг/м³

За $\rho_0 = 1,29$ кг/м³ $\rho = 3,477 P_r / T_r$;

$\rho = 3,477 \times \dots = \dots$ кг/м³; $\sqrt{\rho} = \dots$; $\frac{1,414}{\sqrt{\rho}} = \dots$

Об'ємна витрата q_V та q_{V0} , м³/с.

За робочих умов $q_V = \bar{v} \cdot S = \dots \times \dots = \dots$

За нормальних умов $q_{V0} = 2,695 q_V \cdot P_r / T_r =$

$2,695 \times \dots \times \dots$

$q_{V0} =$

7. Температура навколишнього середовища на робочій платформі, $t_{нс} = \dots$ °С.

Примітка.

Вимірювання виконали

(підписи, прізвища та ініціали)

Д.3 Рекомендована форма другого аркуша протоколу вимірювання параметрів газового потоку (за умови використання вимірювача швидкості)

6. Швидкість v та об'ємна витрата q_V

Координати точки n_i , мм			Швидкість v_i , м/с				Тиск статичний P_{ci} , Па			
			показ ЗВТ			\bar{v}_i	показ ЗВТ			\bar{P}_{ci}
n_i	K_{Di} K_{nAi} K_{nBi}	$K_{Di} \cdot \bar{d}_i$ $K_{nAi} \cdot A_i$ $K_{nBi} \cdot B_i$	v_1	v_2	v_3		P_{c1}	P_{c2}	P_{c3}	

					$\bar{v} =$ _____	$\bar{P}_c =$ _____ / 1000 = _____
--	--	--	--	--	-------------------	------------------------------------

$P_r = (P_a \pm P_c) =$ _____ $P_r =$

$P_r / T_r =$ _____ / _____ $P_r / T_r =$

Об'ємна витрата q_V та q_{V0} , м³/с.

За робочих умов $q_V = \bar{v} \cdot S =$ _____ \times _____ = _____.

За нормальних умов $q_{V0} = 2,695 q_V \cdot P_r / T_r =$ _____ \times _____ \times _____ $q_{V0} =$

7. Температура навколишнього середовища на робочій платформі, $t_{нс} =$ _____ °С.

Примітка.

Вимірювання виконали _____
(підписи, прізвища та ініціали)

ДОДАТОК Е
(обов'язковий)

ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

Е.1 Оцінювання СКВ результатів вимірювання швидкості та об'ємної витрати газопилового потоку

СКВ середнього значення швидкості $\sigma(\bar{v})$, у метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(\bar{v})}{\bar{v}^2} = \frac{\sigma^2(v)}{n \cdot \bar{v}^2} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma^2(v_i)}{v_i^2}, \quad (\text{E.1})$$

де $\sigma(v)$ — СКВ результатів швидкості за всіма n вимірювальними точками, м/с;
 $\sigma(v_i)$ — СКВ швидкості в i -й точці, м/с;
 n — кількість вимірювальних точок.

Е.1.1 Якщо кількість вимірювальних точок менше ніж або дорівнює 10, СКВ результатів швидкості за всіма n вимірювальними точками $\sigma(v)$, у метрах за секунду, обчислюють за формулою:

$$\sigma(v) = d_j (v_{\max} - v_{\min}), \quad (\text{E.2})$$

де v_{\max}, v_{\min} — максимальне й мінімальне значення швидкості серед n вимірювальних точок, м/с;
 d_j — коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань.
 Значення коефіцієнта d_j наведено в таблиці Е.1.

Таблиця Е.1 — Значення коефіцієнта d_j залежно від кількості вимірювань

Кількість вимірювань J	Коефіцієнт d_j	Кількість вимірювань J	Коефіцієнт d_j
2	0,885	7	0,370
3	0,591	8	0,351
4	0,486	9	0,337
5	0,430	10	0,325
6	0,395		

Якщо кількість вимірювальних точок більше ніж 10, $\sigma(v)$, у метрах за секунду, обчислюють за формулою:

$$\sigma(v) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}. \quad (\text{E.3})$$

Е.1.2 У разі вимірювання швидкості пневмометричним методом СКВ швидкості в i -й точці $\sigma(v_i)$, у метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(v_i)}{v_i^2} = \frac{\sigma^2(P_{di})}{4 \cdot P_{di}^2} + \frac{\sigma^2(\rho)}{4 \cdot \rho^2}, \quad (\text{E.4})$$

де $\sigma(P_{di})$ — СКВ значення динамічного тиску в i -й точці, Па;
 $\sigma(\rho)$ — СКВ густини газу за реальних умов, кг/м³.

Е.1.2.1 СКВ динамічного тиску в i -й точці $\sigma(P_{di})$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\sigma^2(P_{di}) = \frac{\sigma_{p_i}^2}{J} = \frac{1}{J} \cdot d_j^2 (p_{i,\max} - p_{i,\min})^2, \quad (\text{E.5})$$

де σ_{p_i} — СКВ J показів манометра в i -й точці, Па ($J \geq 3$);
 $p_{i,\max}, p_{i,\min}$ — максимальний і мінімальний покази манометра в i -й точці, Па;
 d_j — коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань J , значення якого наведено в таблиці Е.1.

Е.1.2.2 СКВ густини газу $\sigma(\rho)$, у кілограмах на кубічний метр, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(\rho)}{\rho^2} = \frac{\sigma^2(P_r)}{P_r^2} + \frac{\sigma^2(T_r)}{T_r^2}, \quad (\text{E.6})$$

де $\sigma(P_r)$ — СКВ абсолютного тиску газу, Па;
 $\sigma(T_r)$ — СКВ температури газу, К.

Е.1.2.2.1 СКВ абсолютного тиску газу $\sigma(P_r)$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\sigma^2(P_r) = \sigma^2(\bar{P}_a) + 10^{-6} \cdot \sigma^2(\bar{P}_c), \quad (\text{E.7})$$

де $\sigma(\bar{P}_a)$ — СКВ атмосферного тиску, Па, який обчислюють відповідно до Е.1.2.1;
 $\sigma(\bar{P}_c)$ — СКВ середнього значення статичного тиску, Па, яке обчислюють з рівняння:

$$\sigma^2(\bar{P}_c) = \frac{\sigma^2(P_c)}{n} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sigma^2(P_{ci}), \quad (\text{E.8})$$

де $\sigma(P_c)$ — СКВ результатів статичного тиску за всіма n вимірювальними точками, обчислений відповідно до Е.1.1, Па,
 $\sigma(P_{ci})$ — СКВ статичного тиску в i -й точці, Па.

Якщо статичний тиск вимірюють безпосередньо манометром, СКВ статичного тиску в i -й точці $\sigma(P_{ci})$, у паскалях, обчислюють відповідно до Е.1.2.1; якщо статичний тиск знаходять через виміряні повний і динамічний тиски, СКВ статичного тиску в i -й точці $\sigma(P_{ci})$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\sigma^2(P_{ci}) = \sigma^2(P_{di}) + \sigma^2(P_{ni}), \quad (\text{E.9})$$

де $\sigma^2(P_{di})$ — СКВ динамічного тиску в i -й точці, Па, який обчислюють відповідно до Е.1.2.1;
 $\sigma^2(P_{ni})$ — СКВ середнього значення повного тиску в i -й точці, Па, який обчислюють відповідно до Е.1.2.1.

Е.1.2.2.2 СКВ температури газу $\sigma(T_r)$, у Кельвінах, обчислюють з рівняння:

$$\sigma^2(T_r) = \frac{\sigma_{T_r}^2}{n} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sigma^2(t_{ri}), \quad (\text{E.10})$$

де σ_{T_r} — СКВ значень температури за всіма n вимірювальними точками, К, обчислений відповідно до Е.1.1;

$\sigma(t_{ri})$ — СКВ значення температури в i -й точці, К, яке обчислюють відповідно до Е.1.2.1.

Е.1.3 У разі вимірювання швидкості анемометричним методом СКВ швидкості в i -й точці $\sigma(v_i)$, у метрах за секунду, обчислюють з рівняння (Е.11):

$$\sigma^2(v_i) = \frac{1}{J} \cdot d_J^2 \cdot (v_{i,\max} - v_{i,\min})^2, \quad (\text{E.11})$$

де $v_{i,\max}$, $v_{i,\min}$ — виміряні максимальне й мінімальне значення швидкості в i -й точці, м/с;
 d_J — коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань J , значення якого наведено в таблиці Е.1.

Е.1.4 СКВ площі вимірювального перерізу обчислюють відповідно до Е.1.4.1 у разі прямокутного перерізу або відповідно до Е.1.4.2 — у разі круглого перерізу.

Е.1.4.1 СКВ площі прямокутного перерізу $\sigma(S)$, у квадратних міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(S)}{S^2} = \frac{\sigma^2(\bar{A})}{\bar{A}^2} + \frac{\sigma^2(\bar{B})}{\bar{B}^2}, \quad (\text{E.12})$$

де $\sigma(\bar{A})$, $\sigma(\bar{B})$ — СКВ середнього значення довжини сторін A , B відповідно, мм.

У разі прямого вимірювання внутрішніх розмірів прямокутного газоходу СКВ середнього значення довжини сторін A і B , відповідно, обчислюють відповідно до Е.1.2.1, у квадратних міліметрах ($J \geq 2$).

Якщо довжини сторін A і B вимірювального перерізу визначають за результатами віднімання від результату вимірювання зовнішнього розміру газоходу результату вимірювання товщини його стінки, СКВ середнього значення довжини сторін $\sigma(\bar{A})$ і $\sigma(\bar{B})$, у міліметрах, обчислюють за формулами:

$$\sigma^2(\bar{A}) = \sigma^2(\bar{A}') + 4 \cdot \sigma^2(\bar{d}_c), \quad (\text{E.13})$$

$$\sigma^2(\bar{B}) = \sigma^2(\bar{B}') + 4 \cdot \sigma^2(d_c), \quad (\text{E.14})$$

де $\sigma(\bar{A}')$, $\sigma(\bar{B}')$, $\sigma(d_c)$ — СКВ середнього значення зовнішніх розмірів газоходу, A' і B' , і товщини його стінки, d_c , відповідно, обчислені відповідно до Е.1.2.1, мм ($J \geq 2$).

Е.1.4.2 СКВ площі круглого перерізу газоходу $\sigma(S)$, у квадратних міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(S)}{S^2} = 4 \cdot \frac{\sigma^2(\bar{d})}{\bar{d}^2}, \quad (\text{E.15})$$

де $\sigma(\bar{d})$ — СКВ середнього значення діаметра перерізу газоходу, мм.

СКВ середнього значення діаметра перерізу газоходу $\sigma(\bar{d})$, у міліметрах, обчислюють відповідно до Е.1.1.1 у разі прямого вимірювання або, якщо його визначають за результатами вимірювання периметра й товщини стінки газоходу, з рівняння:

$$\sigma^2(\bar{d}) = \frac{1}{\pi^2} \cdot \sigma^2(\bar{F}) + 4 \cdot \sigma^2(\bar{d}_c), \quad (\text{E.16})$$

де $\sigma(\bar{F})$, $\sigma(\bar{d}_c)$ — СКВ середнього значення периметра, товщини стінки газоходу, відповідно, які обчислюють відповідно до Е.1.2.1, мм ($J \geq 2$).

Е.1.5 Обчислення СКВ об'ємної витрати

За обчисленими значеннями СКВ швидкості та площі вимірювального перерізу знаходять СКВ об'ємної витрати за реальних умов $\sigma(q_V)$, у кубічних метрах за секунду, з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(q_V)}{q_V^2} = \frac{\sigma^2(\bar{v})}{\bar{v}^2} + \frac{\sigma^2(S)}{S^2}. \quad (\text{E.17})$$

СКВ об'ємної витрати за нормальних умов $\sigma(q_{V0})$, у кубічних метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\sigma^2(q_{V0})}{q_{V0}^2} = \frac{\sigma^2(q_V)}{q_V^2} + \frac{\sigma^2(P_r)}{P_r^2} + \frac{\sigma^2(T_r)}{T_r^2}. \quad (\text{E.18})$$

Е.2 Обчислення НССП результатів вимірювання швидкості та об'ємної витрати газопилового потоку

Е.2.1 НССП середнього значення швидкості $\theta_{\bar{v}}$, у метрах за секунду, в разі вимірювання швидкості пневмометричним методом обчислюють з рівняння:

$$\frac{\theta_{\bar{v}}^2}{\bar{v}^2} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \frac{\theta_{v_i}^2}{v_i^2}, \quad (\text{E.19})$$

де θ_{v_i} — НССП швидкості в кожній вимірювальній точці, м/с.

НССП швидкості в кожній вимірювальній точці θ_{v_i} , у метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\theta_{v_i}^2}{v_i^2} = \frac{\theta_{P_{Di}}^2}{4 \cdot P_{Di}^2} + \frac{\theta_{\rho}^2}{4 \cdot \rho^2}, \quad (\text{E.20})$$

де $\theta_{P_{Di}}$ — НССП динамічного тиску газу в i -й точці, Па;

θ_{ρ} — НССП густини газу, кг/м³.

Е.2.1.1 НССП динамічного тиску газу в i -й точці $\theta_{P_{Di}}$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\theta_{P_{Di}}^2}{P_{Di}^2} = \frac{\theta_{p_i}^2}{\bar{p}_i^2} + \frac{\theta_{K_T}^2}{K_T^2}, \quad (\text{E.21})$$

де $\theta_{\bar{p}_i}$ — НССП середнього значення показів манометра в i -й точці, Па;

θ_{K_T} — НССП пневмометричної трубки, Па.

НССП середнього значення показів манометра в i -й точці $\theta_{\bar{p}_i}$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{\bar{p}_i}^2 = \frac{\theta_{\text{ман}}^2}{J}, \quad (\text{E.22})$$

де $\theta_{\text{ман}}$ — НССП за рахунок похибки манометра, Па.

E.2.1.2 НССП густини газу θ_{ρ} , у кілограмах на кубічний метр, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\theta_{\rho}^2}{\rho^2} = \frac{\theta_{P_r}^2}{P_r^2} + \frac{\theta_{T_r}^2}{T_r^2} + \frac{\theta_{M_r}^2}{M_r^2}, \quad (\text{E.23})$$

де θ_{P_r} — НССП абсолютного тиску газу, Па;

θ_{T_r} — НССП температури газу, К;

θ_{M_r} — НССП молярної маси газу, кг/моль.

E.2.1.2.1 НССП абсолютного тиску газу θ_{P_r} , у кілопаскалях, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{P_r}^2 = \theta_{\bar{P}_a}^2 + 10^{-6} \cdot \theta_{\bar{P}_c}^2, \quad (\text{E.24})$$

де $\theta_{\bar{P}_a}$ — НССП атмосферного тиску, кПа;

$\theta_{\bar{P}_c}$ — НССП середнього значення статичного тиску газу, Па.

E.2.1.2.1.1 НССП атмосферного тиску $\theta_{\bar{P}_a}$, у кілопаскалях, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{\bar{P}_a}^2 = \frac{1}{J} \theta_{\text{бар}}^2, \quad (\text{E.25})$$

де $\theta_{\text{бар}}$ — НССП за рахунок похибки барометра-анероїда, кПа;

J — кількість результатів вимірювання атмосферного тиску.

E.2.1.2.1.2 НССП середнього значення статичного тиску $\theta_{\bar{P}_c}$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{\bar{P}_c}^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \theta_{P_{c_i}}^2, \quad (\text{E.26})$$

де $\theta_{P_{c_i}}$ — НССП значення статичного тиску в i -й точці.

Якщо статичний тиск знаходять через виміряні повний і динамічний тиски, НССП значення статичного тиску в i -й точці $\theta_{P_{c_i}}$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{P_{c_i}}^2 = \theta_{P_{di}}^2 + \theta_{P_{ni}}^2, \quad (\text{E.27})$$

де $\theta_{P_{di}}$ — НССП значення динамічного тиску в i -й точці, Па, який обчислюють відповідно до E.2.1.1;

$\theta_{P_{ni}}$ — НССП значення повного тиску в i -й точці, Па, який обчислюють з рівняння:

$$\theta_{P_{ni}}^2 = \frac{1}{J} \cdot \theta_{\text{ман}}^2. \quad (\text{E.28})$$

Якщо статичний тиск вимірюють безпосередньо манометром, НССП значення статичного тиску в i -й точці $\theta_{P_{c_i}}$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{P_{c_i}}^2 = \frac{1}{J} \cdot \theta_{\text{ман}}^2, \quad (\text{E.29})$$

де $\theta_{\text{ман}}$ — НССП за рахунок похибки манометра, Па.

E.2.1.2.2 НССП температури газу θ_{T_r} , у Кельвінах, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{T_r}^2 = \frac{1}{n \cdot J} \cdot \theta_t^2, \quad (\text{E.30})$$

де n — кількість вимірювальних точок;

J — кількість вимірювань у кожній вимірювальній точці ($J \geq 3$);

θ_t — НССП за рахунок похибки вимірювача температури, К.

E.2.1.2.3 НССП молярної маси обчислюють так.

Якщо відомо об'ємні частки компонентів газу, а його молярну масу M_r , у кілограмах на моль, обчислюють за формулою:

$$M_r = 10^{-5} \cdot \left[32 \cdot \varphi_{O_2,в} + 44 \cdot \varphi_{CO_2,в} + 18 \cdot \varphi_{H_2O} + 28 \left(100 - \varphi_{O_2,в} - \varphi_{CO_2,в} - \varphi_{H_2O} \right) \right], \quad (E.31)$$

НССП молярної маси газу θ_{M_r} , у кілограмах на моль, обчислюють з рівняння:

$$\theta_{M_r}^2 = \left(4 \cdot 10^{-5} \right) \cdot \theta_{\varphi_{O_2,в}}^2 + \left(16 \cdot 10^{-5} \right) \cdot \theta_{\varphi_{CO_2,в}}^2 + \left(10^{-4} \right)^2 \cdot \theta_{\varphi_{H_2O}}^2, \quad (E.32)$$

де $\theta_{\varphi_{O_2,в}}$, $\theta_{\varphi_{CO_2,в}}$, $\theta_{\varphi_{H_2O}}$ — НССП об'ємної частки кисню, двооксиду вуглецю та води в газі, відповідно, об'ємні %.

НССП об'ємної частки води в газі $\theta_{\varphi_{H_2O}}$, в об'ємних відсотках, обчислюють за формулою:

$$\theta_{\varphi_{H_2O}} = \varphi_{H_2O} \cdot \theta_{ЗВТ}, \quad (E.33)$$

де $\theta_{ЗВТ}$ — НССП за рахунок похибки ЗВТ, використаного для вимірювання вологості газу.

НССП об'ємної частки кисню та двооксиду вуглецю в газі $\theta_{\varphi_{O_2,в}}$, $\theta_{\varphi_{CO_2,в}}$ відповідно, в об'ємних відсотках, обчислюють з рівнянь:

$$\theta_{\varphi_{O_2,в}}^2 = \varphi_{O_2,в}^2 \cdot \left(\left[\frac{\theta_{\varphi_{O_2,с}}^2}{\varphi_{O_2,с}} \right]^2 + \left[\frac{\theta_{\varphi_{H_2O}}^2}{100 - \varphi_{H_2O}} \right]^2 \right), \quad (E.34)$$

$$\theta_{\varphi_{CO_2,в}}^2 = \varphi_{CO_2,в}^2 \cdot \left(\left[\frac{\theta_{\varphi_{CO_2,с}}^2}{\varphi_{CO_2,с}} \right]^2 + \left[\frac{\theta_{\varphi_{H_2O}}^2}{100 - \varphi_{H_2O}} \right]^2 \right), \quad (E.35)$$

де $\theta_{\varphi_{O_2,с}}$, $\theta_{\varphi_{CO_2,с}}$ — НССП за рахунок похибки відповідних ЗВТ, використаних для вимірювання об'ємних часток кисню й двооксиду вуглецю в газі.

Е.2.2 НССП середнього значення швидкості $\theta_{\bar{v}}$, у метрах за секунду, в разі вимірювання її анемометричним методом обчислюють з рівняння:

$$\theta_{\bar{v}}^2 = \frac{1}{n \cdot J} \theta_{анем}^2, \quad (E.36)$$

де $\theta_{анем}$ — НССП за рахунок похибки анемометра, Па;

n — кількість вимірювальних точок;

J — кількість вимірювань у кожній вимірювальній точці ($J \geq 3$).

Е.2.3 НССП площі вимірювального перерізу обчислюють відповідно до Е.2.3.1 у разі прямокутного перерізу або відповідно до Е.2.3.2 — у разі круглого перерізу.

Е.2.3.1 НССП площі прямокутного вимірювального перерізу θ_S , у квадратних міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\theta_S^2}{S^2} = \frac{\theta_A^2}{A^2} + \frac{\theta_B^2}{B^2}, \quad (E.37)$$

де θ_A , θ_B — НССП довжини сторін вимірювального перерізу A і B , відповідно, мм.

Е.2.3.1.1 Якщо довжину сторін вимірювального перерізу A та B , у міліметрах, визначають прямим вимірюванням, відповідні НССП θ_A , θ_B , у міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\theta_A^2 = \theta_B^2 = \frac{1}{4} \theta_{штг.л}^2, \quad (E.38)$$

де $\theta_{штг.л}$ — НССП за рахунок похибки штангенглибиноміра, мм.

Е.2.3.1.2 Якщо довжину сторін вимірювального перерізу A та B , у міліметрах, визначають за результатами віднімання від результату вимірювання зовнішнього розміру газоходу результату вимірювання товщини його стінки, відповідні НССП θ_A , θ_B , у міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\theta_A^2 = \theta_B^2 = \theta_{рул}^2 + 4 \cdot \theta_{шт}^2, \quad (E.39)$$

де $\theta_{рул}$ — НССП за рахунок похибки рулетки, мм;

$\theta_{шт}$ — НССП за рахунок похибки штангенциркуля, мм.

Е.2.3.2 НССП площі круглого вимірювального перерізу θ_S , у квадратних міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\frac{\theta_S^2}{S^2} = 4 \cdot \frac{\theta_d^2}{d^2}, \quad (\text{E.40})$$

де θ_d — НССП середнього значення діаметра, мм.

Е.2.3.2.1 Якщо діаметр перерізу визначають за результатами вимірювання периметра й товщини стінки газоходу за формулою (25), НССП середнього значення діаметра θ_d , у міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\theta_d^2 = \frac{1}{\pi^2} \cdot \theta_F^2 + 4 \cdot \theta_{d_c}^2, \quad (\text{E.41})$$

де θ_F — НССП периметра газоходу, що дорівнює похибці рулетки, мм;

θ_{d_c} — НССП товщини стінки газоходу, що дорівнює похибці штангенциркуля, мм.

Е.2.3.2.2 Якщо діаметр перерізу визначають за результатами прямих вимірювань, відповідну НССП θ_d , у міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\theta_d^2 = \frac{1}{4} \cdot \theta_{\text{штгл}}^2, \quad (\text{E.42})$$

де $\theta_{\text{штгл}}$ — НССП за рахунок похибки штангенглибиноміра, мм.

Е.2.4 НССП об'ємної витрати за реальних умов θ_{q_1} , у кубічних метрах за секунду, обчислюють за попередньо обчисленими значеннями НССП швидкості та площі вимірювального перерізу з рівняння:

$$\frac{\theta_{q_1}^2}{q_1^2} = 1,21 \left(\frac{\theta_v^2}{v^{-2}} + \frac{\theta_S^2}{S^2} \right). \quad (\text{E.43})$$

НССП об'ємної витрати за нормальних умов $\theta_{q_{1,0}}$, у кубічних метрах за секунду, обчислюють за попередньо обчисленими значеннями НССП об'ємної витрати за реальних умов, НССП тиску газу та НССП температури газу з рівняння:

$$\frac{\theta_{q_{1,0}}^2}{q_{1,0}^2} = 1,21 \left(\frac{\theta_{q_1}^2}{q_1^2} + \frac{\theta_{P_r}^2}{P_r^2} + \frac{\theta_{T_r}^2}{T_r^2} \right). \quad (\text{E.44})$$

Е.3 Обчислення сумарної похибки результатів вимірювання об'ємної витрати газопилового потоку
Сумарну похибку вимірюваного значення фізичної величини Δ обчислюють за формулою:

$$\Delta = \frac{1,96 \cdot \sigma + \theta}{\sigma + \sqrt{3,63}} \sqrt{\sigma^2 + \frac{\theta^2}{3,63}}. \quad (\text{E.45})$$

Використовуючи відповідні значення σ та θ , знаходять сумарні похибки швидкості та об'ємної витрати за реальних чи нормальних умов.

Е.4 Приклад обчислення НССП (інструментальної похибки) результатів вимірювання швидкості та об'ємної витрати в разі вимірювання швидкості пневмометричним методом

Вимірювання швидкості та об'ємної витрати виконували такими ЗВТ:

манометр ММЦ-200;

трубка Піто L-типу;

барометр-анероїд БАММ-1;

вимірювач температури ИТ-1;

рулетка вимірювальна металева з ціною поділки 1 мм (для вимірювання геометричних розмірів вимірювального перерізу газоходу) — згідно з ДСТУ 4179;

штангенциркуль ШЦ-2 з похибкою $\pm 0,1$ мм (для вимірювання товщини стінки газоходу).

Значення параметрів газового потоку (обрані так, щоб отримати максимально можливе значення НССП): динамічний тиск — 5 Па; температура газу — 101 °С; атмосферний тиск — 99,725 кПа; сторона газоходу квадратного перерізу — 150 мм; товщина стінки — 2 мм. Довжина вимірювальної секції становить 1 м.

Е.4.1 Обчислення НССП середнього значення швидкості в i -й точці

Коефіцієнт кратності довжини вимірювальної секції L становить:

$$L = \frac{l}{d_h} = \frac{1000}{150} = 6,7. \quad (E.46)$$

Тому кількість вимірювальних точок, обрана за таблицею В.3, — одна вимірювальна точка.

Швидкість вимірювали пневмометричним методом, у вимірювальній точці виконували три вимірювання динамічного тиску.

Е.4.1.1 НССП динамічного тиску $\theta_{P_{di}}$, у паскалях, у вимірювальній точці обчислювали з рівняння (Е.21):

$$\frac{\theta_{P_{di}}^2}{P_{di}^2} = \frac{\theta_{P_i}^2}{\bar{P}_i^2} + \frac{\theta_{K_T}^2}{K_T^2} = \frac{1,4^2}{3^2} + \frac{0,03^2}{1^2} = 0,03, \quad (E.47)$$

де $\theta_{P_i}^2 = \frac{\theta_{ман}^2}{J}$ за рівнянням (Е.22);

$\theta_{ман} = 1,4$ Па — НССП манометра;

$J = 3$ — кількість вимірювань у кожній вимірювальній точці;

$\bar{P}_i = 5$ Па — середнє значення показів манометра у вимірювальній точці;

$\theta_{K_T} = 0,03$ — НССП коефіцієнта перетворення пневмометричної трубки;

$K_T = 1$ — значення коефіцієнта перетворення пневмометричної трубки.

Е.4.1.2 НССП густини газу, θ_{ρ} , у кілограмах на кубічний метр, обчислювали з рівняння (Е.23).

Е.4.1.2.1 НССП абсолютного тиску газу θ_{P_a} , у кілопаскалях, обчислювали з рівняння (Е.24):

$$\theta_{P_a}^2 = \theta_{P_a}^2 + 10^{-6} \cdot \theta_{P_c}^2 \approx \frac{1}{2} \theta_{бар}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,2^2 = 0,02 \text{ (кПа}^2\text{)}, \quad (E.48)$$

де $\theta_{бар} = 0,2$ кПа — НССП барометра-анероїда, який дорівнює його абсолютній похибці.

Е.4.1.2.2 НССП значення температури θ_{T_r} , у Кельвінах, обчислювали з рівняння (Е.30):

$$\theta_{T_r}^2 = \frac{1}{I \cdot J} \cdot \theta_i^2 = \frac{1}{1 \cdot 3} \cdot 2^2 = 1,33, \quad (E.49)$$

де $I = 1$ — кількість вимірювальних точок;

$J = 3$ — кількість вимірювань у кожній вимірювальній точці.

Густину газу брали такою, що дорівнює густині повітря, тому НССП густини газу θ_{ρ} , у кілограмах на кубічний метр, обчислювали з рівняння (Е.23) з урахуванням 9.2:

$$\frac{\theta_{\rho}^2}{\rho^2} = \frac{\theta_{P_a}^2}{P_a^2} + \frac{\theta_{T_r}^2}{T_r^2} = \frac{0,02}{99,725^2} + \frac{1,33}{(273 + 101)^2} = 1,15 \cdot 10^{-5}. \quad (E.50)$$

Значення НССП густини газу значно менше порівняно зі значенням НССП динамічного тиску, тому ним можна знехтувати.

Е.4.1.3 НССП швидкості в i -й точці θ_{v_i} , у метрах за секунду, обчислювали з рівняння (Е.20):

$$\frac{\theta_{v_i}^2}{v_i^2} = \frac{\theta_{P_{di}}^2}{4 \cdot P_{di}^2} + \frac{\theta_{\rho}^2}{4 \cdot \rho^2} \approx \frac{\theta_{P_{di}}^2}{4 \cdot P_{di}^2} = \frac{0,03}{4} = 0,00676. \quad (E.51)$$

Е.4.1.4 НССП середнього значення швидкості $\theta_{\bar{v}}$, у метрах за секунду, обчислювали з рівняння (Е.19):

$$\frac{\theta_{\bar{v}}^2}{\bar{v}^2} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{\theta_{v_i}^2}{v_i^2} = \frac{1}{1} \cdot 0,00676 = 0,00676. \quad (E.52)$$

Звідси відносний НССП (інструментальна похибка) вимірювання швидкості:

$$\delta_{\bar{v}} = \frac{\theta_{\bar{v}}}{\bar{v}} \cdot 100 \% = \sqrt{0,00676} \cdot 100 = 8,2 (\%). \quad (E.53)$$

Е.4.2 Обчислення НССП площі вимірювального перерізу

Е.4.2.1 Геометричні характеристики вимірювального перерізу визначали за результатами віднімання від результату вимірювання зовнішнього розміру газоходу результату вимірювання товщини його стінки.

НССП сторін A і B θ_A та θ_B відповідно, в міліметрах, обчислювали з рівняння (Е.38):

$$\theta_A^2 = \theta_B^2 = \theta_{рул}^2 + 4 \cdot \theta_{шт}^2 = 1^2 + 4 \cdot 0,5^2 = 2 \text{ (мм}^2\text{)}, \quad (\text{Е.54})$$

де $\theta_{рул} = 1$ мм — абсолютна похибка рулетки;
 $\theta_{шт}$ — абсолютна похибка штангенциркуля, мм.

Е.4.2.2 НССП площі прямокутного перерізу θ_S , у квадратних міліметрах, обчислювали з рівняння (Е.36):

$$\frac{\theta_S^2}{S^2} = \frac{\theta_A^2}{A^2} + \frac{\theta_B^2}{B^2} = \frac{2}{150^2} + \frac{2}{150^2} = 0,00018 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (\text{Е.55})$$

Е.4.3 Обчислення НССП об'ємної витрати

На підставі обчислених значень НССП швидкості та площі вимірювального перерізу обчислюють НССП об'ємної витрати за реальних умов θ_{q_r} , у кубічних метрах за секунду, з рівняння (Е.43):

$$\frac{\theta_{q_r}^2}{q_r^2} = 1,21 \left(\frac{\theta_v^2}{v^2} + \frac{\theta_S^2}{S^2} \right) = 1,21 (0,00676 + 0,00018) = 0,00839. \quad (\text{Е.56})$$

Звідси відносний НССП (інструментальна похибка) вимірювання об'ємної витрати за реальних умов становить:

$$\delta_q = \frac{\theta_{q_r}}{q_r} \cdot 100 \% = \sqrt{0,00839} \cdot 100 = 9,2 \text{ (\%)}. \quad (\text{Е.57})$$

НССП об'ємної витрати за нормальних умов $\theta_{q_{1,0}}$, у кубічних метрах за секунду, обчислюють з рівняння (Е.44):

$$\frac{\theta_{q_{1,0}}^2}{q_{1,0}^2} = 1,21 \left(\frac{\theta_{q_r}^2}{q_r^2} + \frac{\theta_P^2}{P_r^2} + \frac{\theta_{T_r}^2}{T_r^2} \right) = 1,21 \left(\frac{\theta_{q_r}^2}{q_r^2} + \frac{\theta_P^2}{P_r^2} \right) \approx 1,21 \cdot \frac{\theta_{q_r}^2}{q_r^2} = 1,21 \cdot 0,00839 = 0,01016. \quad (\text{Е.58})$$

Звідси відносний НССП (інструментальна похибка) вимірювання об'ємної витрати за нормальних умов становить:

$$\delta_{q_{1,0}} = \frac{\theta_{q_{1,0}}}{q_{1,0}} \cdot 100 \% = \sqrt{0,01016} \cdot 100 = 10 \text{ (\%)}. \quad (\text{Е.59})$$

ДОДАТОК Ж
(обов'язковий)

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

Ж.1 Оцінювання невизначеності середнього значення швидкості

Стандартну невизначеність середнього значення швидкості $u(\bar{v})$, у метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$\frac{u^2(\bar{v})}{\bar{v}^2} = \frac{\sigma_v^2}{n \cdot v^2} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \frac{u^2(v_i)}{v_i^2}, \quad (\text{Ж.1})$$

де σ_v — СКВ результатів швидкості за всіма n вимірювальними точками, м/с;
 $u(v_i)$ — стандартна невизначеність швидкості в i -й точці, м/с.

Ж.1.1 Якщо кількість вимірювальних точок менше ніж або дорівнює 10, СКВ результатів швидкості за всіма n вимірювальними точками σ_v , у метрах за секунду, обчислюють за формулою:

$$\sigma_v = d_J (v_{\max} - v_{\min}), \quad (\text{Ж.2})$$

де v_{\max}, v_{\min} — максимальне й мінімальне значення швидкості серед i вимірювальних точок, м/с;
 d_J — коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань. Значення коефіцієнта наведено в таблиці Е.1.

Якщо кількість вимірювальних точок більше ніж 10, σ_v , у метрах за секунду, обчислюють за формулою:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}. \quad (\text{Ж.3})$$

Ж.1.2 Якщо швидкість вимірюють пневмометричним методом, стандартну невизначеність швидкості в i -й точці $u(v_i)$, у метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$\frac{u^2(v_i)}{v_i^2} = \frac{u^2(P_{di})}{4 \cdot P_{di}^2} + \frac{u^2(\rho)}{4 \cdot \rho^2}, \quad (\text{Ж.4})$$

де $u(P_{di})$ — стандартна невизначеність динамічного тиску в i -й точці, Па;
 $u(\rho)$ — стандартна невизначеність густини газу за реальних умов, кг/м³.

Ж.1.2.1 Стандартну невизначеність динамічного тиску газу в i -й точці $u(P_{di})$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$\frac{u^2(P_{di})}{P_{di}^2} = \frac{u^2(\bar{p}_i)}{\bar{p}_i^2} + \frac{u_{3ВТ}^2(K_T)}{K_T^2}, \quad (\text{Ж.5})$$

де $u(\bar{p}_i)$ — стандартна невизначеність середнього значення показів манометра в i -й точці, Па;
 $u_{3ВТ}(K_T)$ — стандартна невизначеність пневмометричної трубки, Па.

Стандартну невизначеність середнього значення показів манометра в i -й точці $u(\bar{p}_i)$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(\bar{p}_i) = \frac{\sigma_{\bar{p}_i}^2}{J} + \frac{u_{3ВТ}^2(\bar{p}_i)}{J}, \quad (\text{Ж.6})$$

де $\sigma_{\bar{p}_i}$ — СКВ J показів манометра в i -й точці, Па ($J \geq 3$);
 $u_{3ВТ}(\bar{p}_i)$ — стандартна невизначеність манометра, використаного для вимірювання динамічного тиску, Па.

Ж.1.2.1.1 СКВ J показів манометра в i -й точці $\sigma_{\bar{p}_i}$, у паскалях, обчислюють за формулою:

$$\sigma_{\bar{p}_i} = d_J \cdot (p_{i,\max} - p_{i,\min}), \quad (\text{Ж.7})$$

де $p_{i,\max}, p_{i,\min}$ — максимальний і мінімальний покази манометра в i -й точці, Па;
 d_J — коефіцієнт, що залежить від кількості вимірювань J , значення якого наведено в таблиці Е.1.

Ж.1.2.1.2 Якщо відомо розширену невизначеність ЗВТ, стандартну невизначеність ЗВТ $u_{3ВТ}$ обчислюють за формулою:

$$u_{3ВТ} = \frac{U_{3ВТ}}{k}, \quad (\text{Ж.8})$$

де $U_{3ВТ}$ — розширена невизначеність ЗВТ, зазначена у свідоцтві про калібрування ЗВТ;
 k — відповідний коефіцієнт охоплення, зазначений у свідоцтві про калібрування ЗВТ.
 Стандартну невизначеність ЗВТ $u_{3ВТ}$ можна також обчислити за формулою:

$$u_{3ВТ} = \frac{\theta_{3ВТ}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{Ж.9})$$

де $\theta_{3ВТ}$ — абсолютна похибка ЗВТ, зазначена в його технічних характеристиках.

Отже, стандартні невизначеності ЗВТ, а саме: манометра $u_{3ВТ}(\bar{p}_i)$, у паскалях, і пневмометричної трубки $u_{3ВТ}(K_T)$, використаних для вимірювання динамічного тиску, обчислюють за формулою (Ж.8) або (Ж.9).

Ж.1.2.2 Стандартну невизначеність густини газу за реальних умов $u(\rho)$, у кілограмах на кубічний метр, обчислюють з рівняння:

$$\frac{u^2(\rho)}{\rho^2} = \frac{u^2(P_r)}{P_r^2} + \frac{u^2(T_r)}{T_r^2} + \frac{u^2(M_r)}{M_r^2}, \quad (\text{Ж.10})$$

де $u(P_r)$ — стандартна невизначеність абсолютного тиску газу, Па;
 $u(T_r)$ — стандартна невизначеність температури газу, К;
 $u(M_r)$ — стандартна невизначеність молярної маси газу, кг/моль.

Ж.1.2.2.1 Стандартну невизначеність абсолютного тиску газу $u(P_r)$, у кілопаскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(P_r) = u^2(\bar{P}_a) + 10^{-6} \cdot u^2(\bar{P}_c), \quad (\text{Ж.11})$$

де $u(\bar{P})$ — стандартна невизначеність середнього значення атмосферного тиску, кПа;
 $u(\bar{P}_c)$ — стандартна невизначеність середнього значення статичного тиску, Па.

Ж.1.2.2.1.1 Стандартну невизначеність середнього значення атмосферного тиску, $u(\bar{P}_a)$, у кілопаскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(\bar{P}_a) = \frac{\sigma_{P_a}^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ}}^2(\bar{P}_a)}{J}, \quad (\text{Ж.12})$$

де σ_{P_a} — СКВ J результатів вимірювання атмосферного тиску, обчислений відповідно до Ж.1.2.1.1, кПа ($J \geq 2$);
 $u_{\text{ЗВТ}}(\bar{P}_a)$ — стандартна невизначеність барометра, використаного для вимірювання атмосферного тиску, обчислена відповідно до Ж.1.2.1.2, кПа.

Ж.1.2.2.1.2 Стандартну невизначеність середнього значення статичного тиску $u(\bar{P}_c)$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(\bar{P}_c) = \frac{\sigma_{P_c}^2}{n} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n u^2(P_{ci}), \quad (\text{Ж.13})$$

де σ_{P_c} — СКВ значень статичного тиску за всіма n вимірювальними точками, обчислений відповідно до Ж.1.1, Па,
 $u(P_{ci})$ — стандартна невизначеність вимірювання статичного тиску в i -й точці, Па.

Ж.1.2.2.1.2.1 Якщо статичний тиск вимірюють безпосередньо манометром, стандартну невизначеність статичного тиску в i -й точці $u(P_{ci})$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(P_{ci}) = \frac{\sigma_{P_{ci}}^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ}}^2(P_{ci})}{J}, \quad (\text{Ж.14})$$

де $\sigma_{P_{ci}}$ — СКВ J результатів вимірювання статичного тиску в i -й точці, обчислене відповідно до Ж.1.2.1.1, Па ($J \geq 3$);
 $u_{\text{ЗВТ}}(P_{ci})$ — стандартна невизначеність манометра, використаного для вимірювання статичного тиску, обчислена відповідно до Ж.1.2.1.2, Па.

Ж.1.2.2.1.2.2 Якщо статичний тиск знаходять через виміряні повний та динамічний тиски, стандартну невизначеність статичного тиску в i -й точці $u(P_{ci})$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(P_{ci}) = u^2(P_{di}) + u^2(P_{ni}), \quad (\text{Ж.15})$$

де $u(P_{di})$ — стандартна невизначеність динамічного тиску в i -й точці, Па, обчислена відповідно до Ж.1.2.1;

$u(P_{ni})$ — стандартна невизначеність повного тиску в i -й точці, Па.

Стандартну невизначеність повного тиску в i -й точці $u(P_{ni})$, у паскалях, обчислюють з рівняння:

$$u^2(P_{ni}) = \frac{\sigma_{P_{ni}}^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ}}^2(P_{ni})}{J}, \quad (\text{Ж.16})$$

де $\sigma_{P_{ni}}$ — СКВ J результатів вимірювання повного тиску в i -й точці, обчислений відповідно до Ж.1.2.1.1, Па ($J \geq 3$);

$u_{\text{ЗВТ}}(P_{\text{III}})$ — стандартна невизначеність манометра, використаного для вимірювання повного тиску, обчислена відповідно до Ж.1.2.1.2, Па.

Ж.1.2.2.2 Сумарну стандартну невизначеність температури газу $u(T_r)$, у Кельвінах, обчислюють з рівняння:

$$u^2(T_r) = \frac{\sigma_{\bar{T}_r}^2}{n} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n u^2(\bar{T}_{ri}), \quad (\text{Ж.17})$$

де $\sigma_{\bar{T}_r}$ — СКВ значень температури за всіма n вимірювальними точками, K , обчислений відповідно до Ж.1.1;

$u(\bar{T}_{ri})$ — сумарна стандартна невизначеність температури в i -й точці, K .

Сумарну стандартну невизначеність температури в i -й точці, $u(\bar{T}_{ri})$, у Кельвінах, обчислюють з рівняння:

$$u^2(\bar{T}_{ri}) = \frac{\sigma_{T_{ri}}^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ}}^2(\bar{T}_{ri})}{J}, \quad (\text{Ж.18})$$

де $\sigma_{T_{ri}}$ — СКВ J результатів вимірювання температури в i -й точці, обчислений відповідно до Ж.1.2.1.1, K ($J \geq 3$);

$u_{\text{ЗВТ}}(\bar{T}_{ri})$ — стандартна невизначеність вимірювача температури, K , обчислена відповідно до Ж.1.2.1.2.

Ж.1.2.2.3 Якщо відомі об'ємні частки компонентів газу, а його молярну масу M_r , у кілограмах на моль, обчислюють за формулою (Ж.19), то сумарну стандартну невизначеність молярної маси $u(M_r)$, у кілограмах на моль, обчислюють з рівняння (Ж.20).

$$M_r = 10^{-5} \cdot [32 \cdot \varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}} + 44 \cdot \varphi_{\text{CO}_{2,\text{E}}} + 18 \cdot \varphi_{\text{H}_2\text{O}} + 28 \cdot (100 - \varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}} - \varphi_{\text{CO}_{2,\text{E}}} - \varphi_{\text{H}_2\text{O}})], \quad (\text{Ж.19})$$

$$u^2(M_r) = (4 \cdot 10^{-5})^2 \cdot u^2(\varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}}) + (16 \cdot 10^{-5})^2 \cdot u^2(\varphi) + (10^{-4})^2 \cdot u^2(\varphi_{\text{H}_2\text{O}}), \quad (\text{Ж.20})$$

де $u(\varphi_{\text{H}_2\text{O}})$ — стандартна невизначеність об'ємної частки вологи в газі, %;

$u(\varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}})$, $u(\varphi_{\text{CO}_{2,\text{E}}})$ — стандартні невизначеності об'ємної частки кисню, об'ємної частки двооксиду вуглецю в газі, відповідно, %.

Стандартні невизначеності об'ємної частки кисню й об'ємної частки двооксиду вуглецю в газі $u(\varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}})$ і $u(\varphi_{\text{CO}_{2,\text{E}}})$ у відсотках, відповідно обчислюють з рівнянь:

$$u^2(\varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}}) = \varphi_{\text{O}_{2,\text{E}}}^2 \cdot \left[\left[\frac{u(\varphi_{\text{O}_{2,\text{C}}})}{\varphi_{\text{O}_{2,\text{C}}}} \right]^2 + \left[\frac{u(\varphi_{\text{H}_2\text{O}})}{100 - \varphi_{\text{H}_2\text{O}}} \right]^2 \right], \quad (\text{Ж.21})$$

$$u^2(\varphi_{\text{CO}_{2,\text{E}}}) = \varphi_{\text{CO}_{2,\text{E}}}^2 \cdot \left[\left[\frac{u(\varphi_{\text{CO}_{2,\text{C}}})}{\varphi_{\text{CO}_{2,\text{C}}}} \right]^2 + \left[\frac{u(\varphi_{\text{H}_2\text{O}})}{100 - \varphi_{\text{H}_2\text{O}}} \right]^2 \right]. \quad (\text{Ж.22})$$

де $u(\varphi_{\text{O}_{2,\text{C}}})$, $u(\varphi_{\text{CO}_{2,\text{C}}})$ — стандартні невизначеності об'ємної частки кисню, двооксиду вуглецю в сухому газі, відповідно, %.

Ж.1.3 Якщо швидкість вимірюють анемометричним методом, сумарну стандартну невизначеність швидкості в i -й вимірювальній точці $u(\bar{v}_i)$, у метрах за секунду, обчислюють з рівняння:

$$u^2(\bar{v}_i) = \frac{\sigma_{v_i}^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ}}^2(v_i)}{J}, \quad (\text{Ж.23})$$

де σ_{v_i} — СКВ J результатів вимірювання швидкості в i -й точці, обчислений відповідно до Ж.1.2.1.1, м/с ($J \geq 3$);

$u_{\text{ЗВТ}}(v_i)$ — стандартна невизначеність анемометра, обчислена відповідно до Ж.1.2.1.2, м/с.

Ж.2 Оцінювання невизначеності площі вимірювального перерізу

Ж.2.1 Стандартну невизначеність площі прямокутного перерізу газоходу $u(S_n)$, у квадратних міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\frac{u^2(S_n)}{S_n^2} = \frac{u^2(\bar{A})}{\bar{A}^2} + \frac{u^2(\bar{B})}{\bar{B}^2}, \quad (\text{Ж.24})$$

де $u(\bar{A})$ — стандартна невизначеність вимірювання довжини сторони A , мм;

$u(\bar{B})$ — стандартна невизначеність вимірювання довжини сторони B , мм.

Ж.2.1.1 Якщо геометричні характеристики вимірювального перерізу визначають прямим вимірюваннями внутрішніх розмірів газоходу, стандартні невизначеності довжин сторін A і B $u(\bar{A})$ і $u(\bar{B})$, відповідно, у міліметрах, обчислюють з рівнянь:

$$u^2(\bar{A}) = \frac{\sigma_A^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ(штгг)}}^2}{J}, \quad (\text{Ж.25})$$

$$u^2(\bar{B}) = \frac{\sigma_B^2}{J} + \frac{u_{\text{ЗВТ(штгг)}}^2}{J}, \quad (\text{Ж.26})$$

де σ_A, σ_B — СКВ J результатів вимірювання довжин сторін A і B , обчислені відповідно до Ж.1.2.1.1, мм ($J \geq 2$);

$u_{\text{ЗВТ(штгг)}}$ — стандартна невизначеність штангенглибиноміра, обчислена згідно з Ж.1.2.1.2, мм.

Ж.2.1.2 Якщо геометричні характеристики вимірювального перерізу визначають за результатами віднімання від результату вимірювання зовнішнього розміру газоходу результату вимірювання товщини його стінки, стандартні невизначеності сторін A і B $u(\bar{A})$ і $u(\bar{B})$ відповідно, у міліметрах, обчислюють за формулами:

$$u^2 \bar{A} = \frac{\sigma_{A'}^2}{J} + 4 \cdot \frac{\sigma_{d_c}^2}{J} + u_{\text{ЗВТ(р)}}^2 + 4 \cdot u_{\text{ЗВТ(ш)}}^2, \quad (\text{Ж.27})$$

$$u^2(\bar{B}) = \frac{\sigma_{B'}^2}{J} + 4 \cdot \frac{\sigma_{d_c}^2}{J} + u_{\text{ЗВТ(р)}}^2 + 4 \cdot u_{\text{ЗВТ(ш)}}^2, \quad (\text{Ж.28})$$

де $\sigma_{A'}, \sigma_{B'}, \sigma_{d_c}$ — СКВ J результатів вимірювання зовнішніх розмірів газоходу A' і B' і товщини його стінки d_c , відповідно, обчислені відповідно до Ж.1.2.1.1, мм ($J \geq 2$);

$u_{\text{ЗВТ(р)}}, u_{\text{ЗВТ(ш)}}$ — стандартні невизначеності рулетки, штангенциркуля відповідно, обчислені відповідно до Ж.1.2.1.2, мм.

Ж.2.2 Стандартну невизначеність площі круглого перерізу газоходу $u(S)$, у квадратних міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$\frac{u^2(S)}{S^2} = 4 \cdot \frac{u^2(\bar{d})}{\bar{d}^2}, \quad (\text{Ж.29})$$

де $u(\bar{d})$ — стандартна невизначеність середнього значення діаметра перерізу газоходу, мм.

Ж.2.2.1 Якщо діаметр круглого перерізу газоходу визначають за результатами вимірювання периметра й товщини стінки газоходу за формулою (28), стандартну невизначеність діаметра перерізу газоходу $u(\bar{d})$, у міліметрах, обчислюють з рівняння:

$$u^2(\bar{d}) = \frac{1}{\pi^2} \cdot u^2(\bar{F}) + 4 \cdot u^2(\bar{d}_c), \quad (\text{Ж.30})$$

де $u(\bar{F}), u(\bar{d}_c)$ — стандартні невизначеності середнього значення периметра, товщини стінки газоходу відповідно, мм.

Стандартні невизначеності середнього значення периметра, товщини стінки газоходу $u(\bar{F}), u(\bar{d}_c)$ відповідно, в міліметрах, обчислюють за формулами:

$$u^2(\bar{F}) = \frac{\sigma_F^2}{J} + \frac{u_{ЗВТ(p)}^2}{J}, \quad (\text{Ж.31})$$

$$u^2(\bar{d}_c) = \frac{\sigma_{d_c}^2}{J} + \frac{u_{ЗВТ(\omega)}^2}{J}, \quad (\text{Ж.32})$$

де σ_F, σ_{d_c} — СКВ J результатів вимірювання периметра, товщини стінки газоходу відповідно, обчислені відповідно до Ж.1.2.1.1, мм;

$u_{ЗВТ(p)}, u_{ЗВТ(\omega)}$ — стандартні невизначеності рулетки, штангенциркуля відповідно, обчислені відповідно до Ж.1.2.1.2, мм.

Ж.2.2.2 Якщо діаметр круглого перерізу газоходу визначають прямим вимірюванням, стандартну невизначеність середнього значення діаметра перерізу газоходу $u(\bar{d})$, у міліметрах, обчислюють за формулою:

$$u^2(\bar{d}) = \frac{\sigma_d^2}{J} + \frac{u_{ЗВТ(\omega_{ггг})}^2}{J}, \quad (\text{Ж.33})$$

де σ_d — СКВ J результатів вимірювання діаметра перерізу газоходу, обчислене відповідно до Ж.1.2.1.1, мм;

$u_{ЗВТ(\omega_{ггг})}$ — стандартна невизначеність штангенглибиноміра, обчислена відповідно до Ж.1.2.1.2, мм.

Ж.3 Оцінювання стандартної невизначеності об'ємної витрати

Стандартну невизначеність об'ємної витрати за реальних умов $u(q_r)$, у кубічних метрах за секунду, обчислюють за розрахованими значеннями стандартної невизначеності швидкості газу й площі вимірювального перерізу з рівняння:

$$\frac{u^2(q_r)}{q_r^2} = \frac{u^2(\bar{v})}{\bar{v}^2} + \frac{u^2(S)}{S^2}. \quad (\text{Ж.34})$$

Стандартну невизначеність об'ємної витрати за нормальних умов $u(q_{r0})$, у кубічних метрах за секунду, обчислюють за значеннями стандартної невизначеності об'ємної витрати за реальних умов, стандартної невизначеності тиску газу та стандартної невизначеності температури газу з рівняння:

$$\frac{u^2(q_{r0})}{q_{r0}^2} = \frac{u^2(q_r)}{q_r^2} + \frac{u^2(P_r)}{P_r^2} + \frac{u^2(T_r)}{T_r^2}. \quad (\text{Ж.35})$$

Ж.4 Оцінювання розширеної невизначеності

Розширену невизначеність вимірюваного значення фізичної величини за довірчої ймовірності 0,95 U обчислюють за формулою:

$$U = 2 \cdot u. \quad (\text{Ж.36})$$

Використовуючи відповідні значення $u(\bar{v})$ та $u(q_r)$ чи $u(q_{r0})$, знаходять розширені невизначеності швидкості та об'ємної витрати за реальних чи за нормальних умов відповідно.

ДОДАТОК И
(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

1 ISO 16911-1:2013 Stationary source emissions — Manual and automatic determination of velocity and volume flow rate in ducts — Part 1: Manual reference method (Викиди від стаціонарних джерел. Ручне й автоматичне визначення швидкості та об'ємної витрати в газоходах. Частина 1. Ручний стандартний метод)

2 EN 15259:2007 Air quality — Measurement of stationary source emissions — Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report (Якість повітря. Вимірювання викидів стаціонарних джерел. Вимоги до вибору вимірювальних секцій і місць вимірювань, мети й плану вимірювань та складання звіту)

3 ДСТУ 2681:94 Метрологія. Терміни та визначення

4 ДСТУ-Н 7531:2014 Метрологія. Впровадження концепції невизначеності вимірювання під час випробування з урахуванням вимог ДСТУ ISO/IEC 17025

5 ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, IDT)

6 CEN/TS 15674:2007 Air quality — Measurement of stationary source emission — Guidelines for the elaboration of methods of measurement (Якість повітря. Вимірювання викидів стаціонарних джерел. Рекомендації з розроблення методів вимірювання)

7 CEN/TS 15675:2007 Air quality — Measurement of stationary source emissions — Application of EN ISO/IEC 17025:2005 to periodic measurements (Якість повітря. Вимірювання викидів стаціонарних джерел. Застосування EN ISO / IEC 17025:2005 під час проведення періодичних вимірювань)

8 ISO 20988:2007 Air quality — Guidelines for estimating measurement uncertainty (Якість повітря. Настанова з оцінювання невизначеності вимірювань)

9 ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (Невизначеність вимірювання. Частина 3. Настанова з вираження невизначеності вимірювання)

10 ГОСТ 17.2.4.06–90 Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения (Охорона природи. Атмосфера. Методи визначення швидкості та витрати газопилових потоків, що відходять від стаціонарних джерел забруднення).

Код згідно з ДК 004: 13.040.40

Ключові слова: газовий потік, вимірювальний переріз, об'ємна витрата газового потоку, організований викид, стаціонарне джерело викиду, тиск газового потоку, швидкість газового потоку.

Редактор **Н. Кунцевська**

Верстальник **В. Мультян**

Підписано до друку 17.10.2018. Формат 60 × 84 1/8.

Ум. друк. арк. 5,58. Зам. 1882. Ціна договірна.

Виконавець

Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)

вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115

Свідоцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 14.01.2006 серія ДК № 1647