

Івасенко В. М.,  
Винниченко Т. О.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА

*Розглянуті принципиальні схеми полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів, призначених для вимірювання вуглеводнів. Проведено аналіз похибок вимірювальних каналів газоаналізаторів. Визначено основні джерела похибок газоаналізаторів та орієнтовно оцінено їх величину. Проведено теоретичний розрахунок сумарної похибки вимірювальних ланцюгів газоаналізаторів за вирахуванням метану, що мають різні принципові схеми вимірювання. Обґрунтовано вибір оптимальної схеми вимірювання полум'яно-іонізаційного газоаналізатора.*

**Ключові слова:** вимірювання вуглеводнів, метан, детектор, полум'яно-іонізаційний газоаналізатор, похибки вимірювальних каналів газоаналізаторів.

### 1. Вступ

Вуглеводні відносяться до основних газових домішок, що забруднюють повітря і здійснюють шкідливий вплив на здоров'я людини. Вуглеводні поділяються на насичені (граничні), ненасичені (олефіни) й ароматичні. Всі вуглеводні за виключенням парафінового ряду — метану, приймають участь в фотохімічних реакціях при утворенні «смогу». З'єднання олефінного ряду і ароматичного ряду володіють більшою хімічною активністю ніж парафіни і, відповідно, відіграють більшу роль в фотохімічних процесах.

Для автоматичного контролю вуглеводнів в атмосфері міста в дійсний час отримав розвиток полум'яно-іонізаційний метод, за допомогою якого вимірюється сума концентрацій вуглеводневих парів і газів.

Особливістю газоаналізаторів, що призначені для аналізу атмосферного повітря, є необхідність вимірювання мікроконцентрацій органічних речовин при безперервно змінних атмосферних умовах. Вимірювання концентрацій забруднюючих газових домішок в атмосферному повітрі являє собою складну науково-технічну задачу.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

*Об'єкт дослідження* — вимірювання концентрацій забруднюючих газових домішок в атмосферному повітрі.

При визначенні вуглеводнів в атмосферному повітрі важливо вимірювати суму реакційних вуглеводнів, що вступають в реакцію з оксидами азоту і озоном, та утворюють фотохімічний смог. В атмосфері близько 80–90 % [1] викидів всіх вуглеводнів в атмосферне повітря приходить на долю метану, який є фотохімічно інертним. Поняття «реакційні вуглеводні» і «сума вуглеводнів за вирахуванням метану» в першому наближенні вважати тотожними. За останній час розроблено ряд газоаналізаторів за вирахуванням метану або ж таких, що дозволяють визначити вміст реакційних вуглеводнів.

Головною умовою ефективного використання високопродуктивного газоаналізатора варто вважати високу конструктивну і експлуатаційну метрологічну надійність

при достатньому рівні точності показань. В залежності від умов і цілей застосування, виникає необхідність у виборі оптимальної вимірювальної схеми полум'яно-іонізаційного газоаналізатора [2, 3].

### 3. Мета та задачі дослідження

*Мета дослідження* — визначення похибок полум'яно-іонізаційного газоаналізатора та вибір оптимальної вимірювальної схеми.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Визначити основні джерела похибок вимірювальних каналів газоаналітичних систем.
2. Провести теоретичну оцінку величин похибок структурних схем і сумарну додаткову похибку вимірювальних каналів газоаналітичних систем.
3. Визначити оптимальну структурну схему газоаналізатора з найменшою основною похибкою.

### 4. Аналіз літературних даних

Рішення задачі вибору оптимальної вимірювальної схеми визначається специфічними умовами роботи окремих вузлів, вимогами до необхідної точності вимірювання [4–6].

Компанія Mine Safety Appliances Co (США) розробила газоаналізатор, в якому використовується диференціальна схема вимірювання [7]. Схема має дві лінії подачі для кожного із детекторів. Сигнал з обох полум'яно-іонізаційних детекторів, включених зустрічно. Розділення вуглеводнів відбувається в каталітичний колонці. Значну частину основної похибки пневматичної схеми такого приладу складає похибка відділення метану від загальної суми вуглеводнів.

Компанія Horiba (Японія) [8] випускає газоаналізатори реакційних вуглеводнів в навколишньому середовищі з двома лініями подачі проби, одним детектором і одним підсилювачем. Основна похибка вимірювання підвищується за рахунок похибки каталітичного спалювання.

Компанія ЭТЭК (Росія) [9] та Meloy Labs Inc. (США) [10] використовують для випуску аналізаторів

схему дискретного вимірювання. Дана схема містить полум'яно-іонізаційний детектор, каталітичну колонку, підсилювач. Подібна схема вимірювання вимагає жорсткої стабілізації неінформативних параметрів. Що впливають на покази полум'яно-іонізаційного детектора.

Для визначення оптимальної схеми газоаналізатора необхідно конкретне порівняння типів схем з кількісною оцінкою їх похибок [2, 11, 12].

## 5. Матеріали та методи дослідження

Газоаналізатори реакційних вуглеводнів містять пристрій відділення метану або розділення ненасичених і насичених вуглеводнів.

Знайшли застосування два методи відділення метану від суми вуглеводнів:

1) поглинання реакційних вуглеводнів за допомогою сорбентів (силікагель, активоване вугілля);

2) поглинання за допомогою колонок, в яких відбувається вибіркоче каталітичне окиснення вуглеводнів.

Газоаналізатори реакційних вуглеводнів відрізняються як по способу відділення метану, так і по принциповій схемі вимірювання.

В сучасних газоаналізаторах вуглеводнів за вирахуванням метану застосовуються наступні основні принципові схеми:

1. Диференційна схема вимірювання з двома детекторами і одним підсилювачем. Один детектор видає сигнал на суму вуглеводнів інший тільки на метан. Детектори включені зустрічно і на підсилювач надходить сигнал, що відповідає значенню суми вуглеводнів за вирахуванням метану.

2. Схема вимірювання з одним детектором і одним підсилювачем. Пневматична схема працює за принципом переключення потоків аналізованого повітря на два потоки, в одному із яких потік повітря проходить через пристрій відділення метану при кожному циклі вимірювання. Електрична схема приладу містить запам'ятовувач і віднімач сигналів.

3. Схема містить два детектори, два газових блоки, один із яких обладнаний колонкою розділення вуглеводнів і двома вимірювальними блоками. Вміст реакційних вуглеводнів розраховується із різниці двох показників.

**5.1. Вибір структурної схеми газоаналізатора за вирахуванням метану.** Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор складається з значної кількості різноманітних функціональних елементів і вузлів: пробовідбірник, газопровід, генератор водню, відокремлювач вологи, фільтр пиловий, регулятор тиску, регулятор витрат, ротаметр, реакційна камера, камера спалювання, пальник, поляризуючий електрод, складна електронна схема і т. д. Всі ці еле-

менти впливають на функцію перетворення і точності характеристики приладу [12].

Теоретична оцінка точності характеристик полум'яно-іонізаційних детекторів, пристроїв, відділення метану, являє собою складну науково-технічну задачу, аналітичне рішення якої в повному обсязі не представляється можливим.

**5.2. Аналіз похибок.** Нижче наводиться аналіз похибок вимірювальних трактів газоаналізатора, що дозволяє визначити основні джерела похибки і орієнтовно оцінити їх величину. При оцінці похибок окремих елементів ланцюга вимірювання були використані експериментальні дані, а також дані, наявні в опублікованих матеріалах [7–9].

Згідно ГОСТ 13320-81, сумарна похибка приладу складається з основної похибки, обумовленої похибками ланок структурної схеми і сумарної додаткової похибки внаслідок впливу неінформативних параметрів перетворення.

Проведемо теоретичний розрахунок сумарної похибки вимірювальних ланцюгів газоаналізаторів вуглеводнів за вирахуванням метану, що мають різні принципові схеми вимірювання.

Для цього, визначивши статичні характеристики окремих елементів схеми, знаходимо функцію перетворення всього ланцюга. Далі визначаємо відносну ймовірну похибку результату вимірювання. Скористуємось результатами [13], де приведена формула:

$$\frac{P_R^2}{R^2} = \left( \frac{\partial R}{\partial X} \right)^2 \cdot \frac{P_x^2}{R^2} + \left( \frac{\partial R}{\partial Y} \right)^2 \cdot \frac{P_y^2}{R^2}, \quad (1)$$

де  $R$  — функція перетворення всіх ланцюгів;  $X$  і  $Y$  — аргументи функції перетворення;  $P_R$  — ймовірна помилка результату вимірювання;  $P_x$  і  $P_y$  — похибки аргументів  $X$  і  $Y$ .

## 6. Результати дослідження

**6.1. Розрахунок основної похибки диференційного вимірювального ланцюга газоаналізатора з одним підсилювачем.** Розраховуємо основну похибку газоаналізатора, структурна схема якого зображена на рис. 1.

Грунтуючись на експериментальних даних, прийmemo в розрахунках похибку відділення рівну 5 % неметанових вуглеводнів. За даними досліджень фірми Meloy Lab Inc. (США) наводяться дані, що 98 % неметанових вуглеводнів відділяється за допомогою пристрою каталітичної очистки [10].

Для розрахунку вагового вмісту вуглеводневих газів можна вважати, що в навколишньому повітрі міститься 0,72 мг/м<sup>3</sup> пропану і 2,16 мг/м<sup>3</sup> метану. Витрата аналізованого газу дорівнює 100 мл/хв.

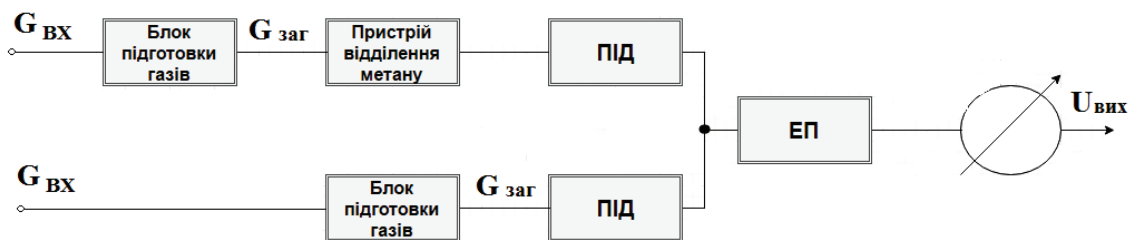


Рис. 1. Блок-схема диференційного вимірюваного ланцюга газоаналізатора: ПІД — полум'яно-іонізаційний детектор; ЕП — електрометричний підсилювач

Відносна похибка коефіцієнту відділення метану становить  $\delta_{K1} = 4,82\%$ .

Похибка ПІД визначалась експериментально через відношення нерівностей величин іонізаційної ефективності двох детекторів  $\delta_E = 1,38\%$ .

При проведенні експериментальних досліджень в якості вторинного вимірювального перетворювача був використаний серійно випущений вольтметр електрометричний ВК2-16. Похибка вимірювання приладу ВК2-16 складає  $\delta_{K2} = 10\%$ .

Абсолютна похибка вимірювань:

$$P_{\text{фзаг}}^2 = \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K_2}\right)^2 \cdot P_{K_2}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial E}\right)^2 \cdot P_E^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K_1}\right)^2 \cdot P_{K_1}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial G_{\text{заг}}}\right)^2 \cdot P_{G_{\text{заг}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial G'_{\text{заг}}}\right)^2 \cdot P_{G'_{\text{заг}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K_{\text{П}}}\right)^2 \cdot P_{K_{\text{П}}}^2 \quad (2)$$

Відносну похибку вимірювання визначаємо за формулою (1).

Для отримання відносної похибки розділимо обидві частини рівняння (2) на  $\phi_{\text{заг}}^2$ :

$$\delta_{\text{осн}}^2 = \frac{P_{K_2}^2}{K_2^2} + 0,121 \frac{P_E^2}{E^2} + 0,121 \frac{P_{K_1}^2}{K_1^2} + 0,121 \frac{P_{G_{\text{заг}}}^2}{G_{\text{заг}}^2} + 0,42 \frac{P_{G'_{\text{заг}}}^2}{G'_{\text{заг}}^2} = \delta_{K_2}^2 + 0,121(\delta_E^2 + \delta_{K_1}^2 + \delta_{G_{\text{заг}}}^2) + 0,42(\delta_{G'_{\text{заг}}}^2) + \delta_{\text{ксп}}^2 = 10^2 + 0,121(1,38^2 + 4,82^2 + 2^2) + 0,42 \cdot 2^2 = 105,21. \quad (3)$$

Таким чином, основна приведена похибка ланцюга вимірювання  $\delta_{\text{осн}} = \sqrt{105,21} = 10,26\%$ .

Визначимо додаткову похибку для ланцюга вимірювання (рис. 1).

Додаткова похибка в основному залежить від точності підтримки витрати водню. Похибка ПІД залежить від вимірювання атмосферного тиску, температури, вологості вмісту проби, відносної вологості і т. д. Вони компенсуються на вході електрометричного підсилювача.

При зміні витрати водню на 2% від номінального значення 30 мл/хв, приведена похибка корисного сигналу складає  $\delta_{\text{дод}} = \delta_{H_2} = 1,5\%$ .

**6.2. Похибка диференційного ланцюга вимірювання газоаналізатора з двома підсилювачами.** Розглянемо по-

хибку диференційного ланцюга вимірювання газоаналізатора, яка включає два електрометричних підсилювача. Блок-схема вимірюваного ланцюга приведена на рис. 2.

На відміну від випадку з одним підсилювачем вважаємо, що мультиплікативна похибка від нерівності іонізаційної ефективності ПІД відсутня, так як є можливість компенсувати її регулюванням коефіцієнтів підсилення першого і другого детекторів.

Тоді абсолютна похибка вимірювання:

$$P_{\text{фзаг}}^2 = \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K_2}\right)^2 \cdot P_{K_2}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K_{\text{П}}}\right)^2 \cdot P_{K_{\text{П}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K_1}\right)^2 \cdot P_{K_1}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial G_{\text{заг}}}\right)^2 \cdot P_{G_{\text{заг}}}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial K'_2}\right)^2 \cdot P_{K'_2}^2 + \left(\frac{\partial \phi_{\text{заг}}}{\partial G'_{\text{заг}}}\right)^2 \cdot P_{G'_{\text{заг}}}^2. \quad (4)$$

Для отримання відносної похибки розділимо обидві частини рівняння на  $\phi_{\text{заг}}^2$ . Відносна похибка становитиме:

$$\frac{P_{\text{фзаг}}^2}{\phi_{\text{заг}}^2} = 0,121 \frac{P_{K_2}^2}{K_2^2} + \frac{P_{K_{\text{П}}}^2}{K_{\text{П}}^2} + 0,121 \frac{P_{K_1}^2}{K_1^2} + 0,121 \frac{P_{G_{\text{заг}}}^2}{G_{\text{заг}}^2} + 0,42 \frac{P_{K'_2}^2}{K'_2{}^2} + 0,42 \frac{P_{G'_{\text{заг}}}^2}{G'_{\text{заг}}{}^2} = (0,5)^2 + 0,121(10^2 + 4,82^2 + 2^2) + 0,42(10^2 + 2^2) + 59,25. \quad (5)$$

Відносна приведена похибка ланцюга вимірювання схеми, яка показана на рис. 2, становитиме:

$$\delta_{\text{фзаг}} = \sqrt{\frac{P_{\text{фзаг}}^2}{\phi_{\text{заг}}^2}} = \sqrt{59,25} = 7,7\%.$$

Додаткова похибка ланцюга вимірювання, приведена на рис. 2, як і для схеми на рис. 1, в основному залежить від точності витрати водню  $\delta_{\text{дод}} = 1,5\%$ .

**6.3. Визначення похибки вимірювального ланцюга газоаналізатора, що включає адсорбуючий пристрій.** Визначимо похибки системи вимірювання, що включає адсорбуючий пристрій, перемикання газових потоків і схему запам'ятовування результату вимірювання. Блок-схема ланцюга вимірювання наведена на рис. 3.

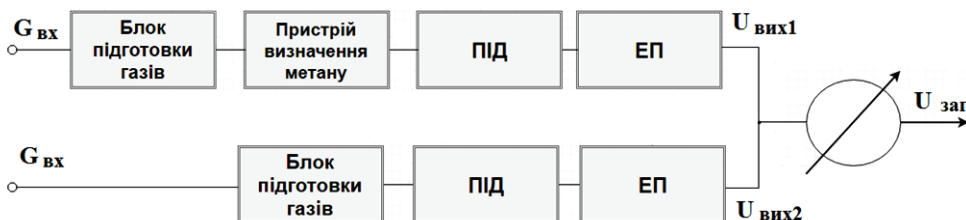


Рис. 2. Блок-схема диференційного вимірювального ланцюга газоаналізатора з двома електрометричними підсилювачами



Рис. 3. Блок-схема вимірюваного ланцюга газоаналізатора з адсорбуючим пристроєм

Застосування колонки з адсорбентом знижує похибку відділення метану від інших вуглеводнів.

З урахуванням домішок, присутніх на сорбенті після продувки, цю похибку на підставі експериментальних даних прийmemo рівною 1 %, тобто  $\delta_{\text{Кном}} = 1\%$ .

При обчисленні похибки запам'ятовуючого пристрою обмежимося розглядом умовної комірки пам'яті, що включає в себе РС-ланцюг. Вважаємо, що додаткові пристрої, що забезпечують зберігання, видачу і порівняння сигналів електрометричного підсилювача, мають у порівнянні з вказаною коміркою малі похибки.

Відносна похибка вимірювання:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{заг}}^2 &= \delta_{\text{K2}}^2 + \left( \frac{K_{\text{H}}}{K_{\text{H}} + 1} \right)^2 \cdot \delta_{\text{Kс}}^2 + \delta_{\text{KП}}^2 + \\ &+ \left( \frac{K_{\text{H}}}{K_{\text{H}} + 1} \right)^2 \cdot \delta_{\text{Кн}}^2 + \delta_{\text{заг}}^2 + \left( \frac{1}{K_{\text{H}} + 1} \right)^2 \cdot \delta_{\text{K1}}^2 = \\ &= 10^2 + 0,11 + (0,5)^2 + 0,11 + 2^2 + 0,43(1,1)^2 = 104,88. \quad (6) \end{aligned}$$

Основна відносна похибка схеми вимірювання, показана на рис. 3, складає  $\delta_{\text{заг}} = \sqrt{104,88} = 10,24\%$ .

Визначимо сумарну додаткову похибку схеми вимірювання, наведеної на рис. 3.

Похибку вимірювання витрати повітря для горіння можна знехтувати, бо до складу аналізованого газу входить кисень, що підтримує горіння. Експериментально встановлено, що для ПІД коаксіальної концентрації вплив витрати повітря для горіння на корисний сигнал дуже малий.

Як уже зазначалося, похибка вимірюваної величини від вимірювання витрати водню в межах допуску пневматичних пристроїв становить  $\delta_{\text{H2}} = 1,5\%$ .

Похибка підтримки витрати водню в пневматичних пристроях від зміни атмосферного тиску виражається у відносному зміні корисного сигналу при коливаннях тиску від 680 до 785 мм. рт. ст. і відповідно експериментальним даним  $\delta_{\text{тиск}} = 0,28\%$ .

Похибка від зміни навколишньої температури визначимо експериментально, враховуючи, що точність підтримки температури в термостаті детекторів в діапазоні від +10 °С до +35 °С зберігається на рівні  $\pm 0,5$  °С, складає  $\delta_t = 0,62\%$ .

Похибка від зміни віднової вологості від 10 до 50 % зміни навколишнього повітря при  $t = +40$  °С складає  $\delta_{\text{вол}} = 4,65\%$  [14].

Похибка вихідного сигналу від зміни іонізаційної ефективності ПІД при коливанні атмосферного тиску від 760 до 680 мм. рт. ст. складає 18 %.

Сумарна додаткова похибка вимірюваного ланцюга газоаналізатора, приведена на рис. 3 складає:

$$\begin{aligned} \delta_{\text{доп}} &= \pm \sqrt{\delta_{\text{H2}}^2 + \delta_{\text{тиск}}^2 + \delta_t^2 + \delta_{\text{вол}}^2 + \delta_{\text{тиску ПІД}}^2} = \\ &= \pm \sqrt{1,5^2 + 0,28^2 + 0,62^2 + 4,65^2 + 18^2} = 18,63\%. \quad (7) \end{aligned}$$

Відповідно до проведеного аналізу визначено характерні похибки, які впливають на точність вимірювання. Для схеми з одним ПІД характерна велика додаткова похибка, зумовлена зміною навколишньої температури, атмосферним тиском, вологістю проби, відносною

вологістю, витратою допоміжних газів і т. п. При вимірюванні вуглеводнів в атмосфері схема з одним детектором може забезпечувати лише дискретне вимірювання.

З використанням диференційного включення ПІД відбувається компенсація додаткових похибок первинних перетворювачів, які включені зустрічно. Використання в цьому випадку колонок з каталітичним розділенням, що забезпечують безперервний аналіз реакційних вуглеводнів, приводить до суттєвого збільшення основної похибки приладу за рахунок неповного відділення метану від загальної суми вуглеводнів. Основна похибка приладу може збільшуватися за рахунок можливої різності величин іонізаційної ефективності полум'яно-іонізаційних детекторів (мультиплікативна похибка).

При використанні диференційної схеми з двома електрометричними підсилювачами мультиплікативна похибка полум'яно-іонізаційних детекторів знижується за рахунок регулювання коефіцієнтів підсилення в кожному із вимірювальних каналів.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Проведення теоретичного розрахунку сумарної похибки дозволяє визначити основні джерела похибок вимірювальних ланцюгів газоаналізаторів вуглеводнів і орієнтовно оцінити їх величини. Врахування отриманих даних дозволяє мінімізувати витрати в процесі вибору, розробки та вдосконалення аналітичних систем.

Вимірювальні канали розглянутих схем мають елементи, властивості яких недостатньо вивчені і їх теоретична оцінка в повному обсязі не являється можливою. Точна оцінка таких елементів остаточно визначається на основі експериментальних досліджень.

Аналіз похибок вимірювальних ланцюгів газоаналізаторів дозволяє при розробці газоаналізатора корегувати і вдосконалювати елементи вибраної схеми з ціллю досягнення найменшої похибки вимірювання.

Вихідні параметри елементів вимірювальних систем в значному ступені залежать від зміни вхідних неінформативних величин і піддається впливу температури, витрати газів, атмосферного тиску, концентрації кисню в пробі, тому теоретична оцінка характеристик точності полум'яно-іонізаційного газоаналізатора являє собою складну науково-технічну задачу.

## 8. Висновки

1. Визначено, що основними джерелами похибки для схеми з одним ПІД є додаткова похибка, зумовлена зміною навколишньої температури, атмосферним тиском, вологістю проби, відносною вологістю, витратою допоміжних газів, похибкою відділення метану, характеристиками полум'яно-іонізаційного детектора.

2. Згідно проведеним теоретичним розрахункам, основна похибка диференційної схеми вимірювання з двома електрометричними підсилювачами складає 7,7 %. Величини основних похибок диференційної схеми вимірювання з одним підсилювачем і схеми з одним детектором і адсорбуючим пристроєм близькі між собою і складають 10,26 % і 10,24 % відповідно. Для останньої схеми вимірювання, однак, характерна наявність великої додаткової похибки, обумовленої впливом неінформативних параметрів вимірювання на корисний сигнал полум'яно-іонізаційного детектора і складає 18,63 %.



3. Визначено, що із розглянутих структурних схем газоаналізаторів, оптимальною, з найменшою основною похибкою є диференційна схема вимірювання з вдома електрометричними підсилювачами.

### Література

1. Тангиев, Б. Б. Научный эколого-криминологический комплекс (НЭКК) по обеспечению экологической безопасности и противодействию экотерроризму [Текст] / Б. Б. Тангиев. — СПб: Юридический центр — Пресс, 2010. — 515 с.
2. Приміський, В. П. Стан та перспективи розвитку полум'яно-іонізаційного розвитку для вимірювання концентрації вуглеводнів [Текст] / В. П. Приміський, А. В. Жужа // Метрологія та прилади. — 2013. — № 2. — С. 45–52.
3. Рыжков, В. Ф. Портативный пламенно-ионизационный газоанализатор [Текст] / В. Ф. Рыжков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2004. — № 1. — С. 27–29.
4. Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор екологічного контролю автомобілів [Електронний ресурс]: Патент України № 49063 G01N 2762 / Приміський В. П., Румбешта В. А.; Приватне акціонерне товариство «Український науково-дослідний інститут аналітичного приладобудування». — № 99116303; заявл. 19.11.1999; опубл. 16.09.2002, Бюл. № 9. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/3-49063-polumyano-ionizacijnij-gazoanalizator-ekologichno-kontrolyuavtomobiliv.html>
5. Швидкодійний полум'яно-іонізаційний газоаналізатор [Електронний ресурс]: Патент України № 91533 G01N 2762 / Жужа А. В. — № u 2014 00559; заявл. 20.01.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/4-91533-shvidkodyuchij-polumyano-ionizacijnij-gazoanalizator.html>
6. Івасенко, В. М. Сучасні засоби інструментального контролю (газоаналізатори і газоаналітичні системи) відпрацьованих газів автомобілів [Текст] / В. М. Івасенко, В. П. Приміський, Д. Г. Корнієнко, А. В. Ватаву, А. В. Жужа // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Нові рішення в сучасних технологіях. — 2012. — № 68. — С. 135–141.
7. Determination of reactive hydrocarbons in air [Electronic resource]: Patent US 3558283 A / Bombaugh K. J., Freeman W. R.; assignee: Mine Safety Appliances Co. — filed 09.06.1967; published 26.01.1971. — Available at: \www/URL: <https://www.google.si/patents/US3558283>
8. Horiba. Explore the future [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: <http://www.horiba.com/ru>
9. Газоанализаторы и газоаналитическое оборудование ЭТЭК [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: <http://etek-ltd.ru/>
10. Sexton, F. W. A Comparative Evaluation of Seven Automated Ambient Nonmethane Organic Compound Analyzers [Text]: EPA/600/4-82/046 (NTIS PB82230798) / F. W. Sexton, R. M. Michie Jr., F. McElroy, V. Thompson. — Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1982. — 3 p.
11. Вартанов, А. З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологического мониторинга [Текст]: учеб. для вузов / А. З. Вартанов, А. Д. Рубан. — М.: Горная книга, 2009. — 640 с.
12. Івасенко, В. М. Дослідження основних метрологічних характеристик полум'яно-іонізаційного детектора [Текст] / В. М. Івасенко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сер. Приладобудування. — 2015. — Вип. 49. — С. 75–81.
13. Schenck, H. Theories of Engineering Experimentation [Text] / H. Schenck. — Ed. 3. — CRC Press, 1979. — 302 p.
14. Lucero, D. P. Water Vapor Sensitivity Response of Hydrogen Flame Ionization Detectors [Text] / D. P. Lucero // Journal of Chromatographic Science. — 1972. — Vol. 10, № 7. — P. 463–467. doi:10.1093/chromsci/10.7.463

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПЛАМЕННО-ИОНИЗАЦИОННОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

Рассмотрены принципиальные схемы пламенно-ионизационных газоанализаторов, предназначенных для измерения углеводородов. Проведен анализ погрешностей измерительных каналов газоанализатора. Определены основные источники погрешностей газоанализатора и ориентировочно оценена их величина. Проведен теоретический расчет суммарной погрешности измерительных цепей газоанализаторов за вычетом метана, имеющих различные принципиальные схемы измерения. Обоснован выбор оптимальной схемы измерения пламенно-ионизационного газоанализатора.

**Ключевые слова:** измерения углеводородов, метан, детектор, пламенно-ионизационный газоанализатор, погрешности измерительных каналов газоанализатора.

*Івасенко Віталій Михайлович, кандидат технічних наук, асистент, кафедра аналітичних екологічних приладів та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна, e-mail: [ivassenko-vitaliy@ukr.net](mailto:ivassenko-vitaliy@ukr.net).*

*Винниченко Тетяна Олександрівна, кафедра аналітичних екологічних приладів та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.*

*Івасенко Віталій Михайлович, кандидат технических наук, ассистент, кафедра аналитических экологических приборов и систем, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина.*

*Винниченко Татьяна Александровна, кафедра аналитических экологических приборов и систем, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина.*

*Ivassenko Vitaliy, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [ivassenko-vitaliy@ukr.net](mailto:ivassenko-vitaliy@ukr.net).*

*Vynnychenko Tetiana, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine*