

**В. Приміський**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри аналітичного екологічного приладобудування,

**В. Івасенко**, аспірант кафедри,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Проаналізовано особливості конструкції полум'яно-іонізаційного детектора. Розглянуто варіанти підключення трьох газових каналів: водню, повітря, аналізованої проби з вуглеводнями, — до детектора. Обґрунтовано вибір коаксіальної схеми введення газових потоків на пальник детектора. Проведено експериментальні дослідження впливу витрати аналізованої проби на вихідний сигнал. Досліджено вплив витрати водню, конструкції пальника, форми і конфігурації полум'я на вихідний сигнал. Надано рекомендації щодо побудови двоканального полум'яно-іонізаційного газоаналізатора для вимірювання фонових концентрацій вуглеводнів.*

*Peculiar properties of the flamingly-ionized detector were analyzed. The variants of the connection of three gas pipes: hydrogen, air, analyzed sample of carbon dioxide to the detector were examined. The choice of the coaxial schema of the gas flows injection to detector's burner was proved. The experimental investigations of the influence on the usage of the analyzed sample to the outgoing signal were held. The influence of the hydrogen usage, construction of the burner, the distribution of the flame according to the outgoing signal was analyzed. The recommendations for the dual-channel flamingly-ionized gas sensor building, which is used for measurement of the carbon dioxide background concentration, were given.*

**Ключові слова:** вуглеводні, детектор, випаровування, газоаналізатор, пальник, електрод, водень, повітря, аналіз.  
**Keywords:** carbon dioxide, detector, vaporization, gas sensor, burner, electrode, hydrogen, air, analysis.

Станом на початок 2014 року в Україні налічувалося більше 9,0 млн. одиниць автотранспортних засобів, що належать приватним власникам, державним і комунальним підприємствам. Для обслуговування та забезпечення усіх цих транспортних засобів паливом на всій території країни створено широку мережу автозаправних станцій (АЗС). Наявна мережа АЗС в Україні складає більше 6000 станцій [1]. Різке збільшення кількості автомобілів призводить до техногенного навантаження на довкілля відпрацьованими газами автотранспорту. Кожна АЗС є джерелом викиду забруднювальних речовин (ЗР) [2, 3]. Бурхливе зростання кількості АЗС у країнах Західної Європи призвело до необхідності розроблення відповідних методик, які дозволяють визначити обсяги рівня випаровувань палива в процесі експлуатації АЗС [4, 5]. Кількість АЗС, що постійно зростає, а також об'єми реалізованого пального передбачають необхідність детального підходу до вивчення впливу роботи АЗС на навколишнє середовище. Ступінь токсичності компонентів відпрацьованого пального неоднаковий: одну з найбільших загроз становлять ароматичні вуглеводні —  $C_nH_m$ , які справляють різноманітний фізіологічний вплив на організм людини і характеризуються мінімальними значеннями гранично допустимих концентрацій у повітрі [6, 7]. Також випаровування АЗС є реальним джерелом утворення вибухо- та пожежонебезпечних ситуацій і відповідно необхідності нормування [8, 9].

За нормативами Правил Європейської економічної комісії ООН з транспорту (ЄЕК ООН), Правила 49 і 83 для вимірювання вуглеводнів  $C_nH_m$  у складі відпрацьованих



В. Приміський



В. Івасенко

газів і викидів АЗС рекомендують застосовувати полум'яно-іонізаційний метод газового аналізу (полум'яно-іонізаційний детектор (ПІД)). За допомогою ПІД-методу можна створити високочутливий автоматичний газоаналізатор для вимірювання концентрацій сумарних вуглеводнів на рівні 0,00001% [10]. Принцип вимірювання за цим методом полягає у тому, що аналізований газ направляється у водневе полум'я. За температури 2000 °С відбувається дисоціація молекул вуглеводнів на СН-групи, їхнє окислення з утворенням вільних електронів та позитивних іонів  $\text{CHO}^+$ . Якщо до зони водневого горіння прикласти електричне поле, виникає іонізаційний струм, пропорційний кількості СН-груп у молекулі вуглеводню. ПІД має більш рівномірну чутливість до різних видів вуглеводних сполук, тому на сьогодні він прийнятий як стандартний для вимірювання сумарної кількості вуглеводнів [11, 12]. Вимірювальна кількість вуглеводнів за ПІД-методом є у (1,8–2,5) рази більшою, ніж за інфрачервоним (NDIR) методом. До недоліків ПІД-методу можна віднести відносну складність конструкції первинного перетворювача та необхідність створення трьох газових потоків:

- аналізованого газу: випаровувань АЗС, відпрацьованого газу з вихлопної труби;
- водневого палива;
- повітря для горіння.

У відомих дослідженнях полум'яно-іонізаційного методу значну увагу приділяють безпосередньо процесу іонізації, інтервалу напруги живлення детектора, вибору конструкції електродів, джерела чистого водню, електрометричним підсилювачам іонізаційного струму тощо; вплив же витрат зазначених газових потоків на вихідний сигнал досліджено не повною мірою [13]. Найбільш суттєвий дестабілізуючий вплив на вихідний сигнал ПІД справляють: іонізаційний струм на рівні ( $10^{-12}$  —  $10^{-9}$ ) А, зміни об'ємної витрати аналізованої проби. Зменшення впливу зміни витрати на вихідний сигнал і відповідно вибір оптимального значення інтервалу витрати є актуальним завданням.

### ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНИЙ ДЕТЕКТОР З КОАКСІАЛЬНО РОЗТАШОВАНИМИ ГАЗОВИМИ КАНАЛАМИ

З метою усунення зазначеного вище явища сконструйовано і випробувано ПІД із коаксіально розташованими газовими каналами: аналізованого газу, повітря для горіння, чистого водню (рис. 1). Тобто всі три газові канали: водню, повітря, аналізованої проби входять до пальника одночасно і коаксіально [14, 15].

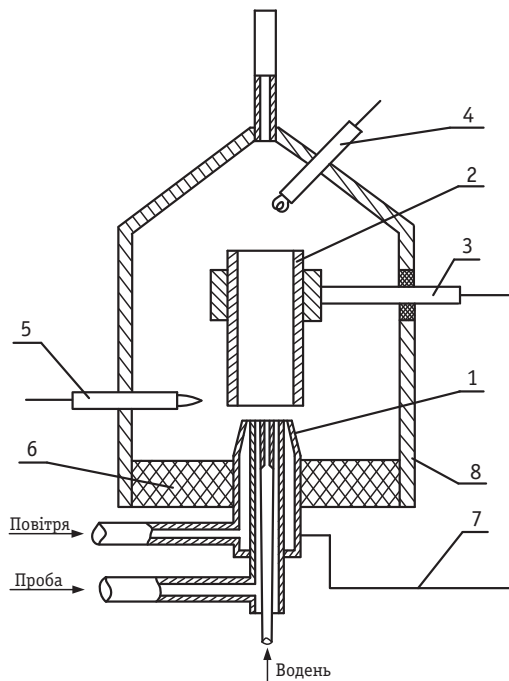


Рис.1. Полум'яно-іонізаційний детектор

Fig. 1. Flamingly-ionized detector

- 1 — вузол пальника; 2 — колектор;  
3, 7 — електроди; 4 — пальник; 5 — термopара;  
6 — основа; 8 — корпус.

Результати експериментів з дослідження впливу зміни витрат газів: повітря, проби, водню, — що надходять до пальника, на вихідний сигнал ПІД наведено на рис. 2, 3. Залежність сигналу ПІД від витрати проби (рис. 2), має ділянку насичення, що дозволяє вибрати робоче значення витрати, коливання якого в межах похибки пневматичних елементів викликає незначні зміни вихідного струму ПІД.

Залежність сигналу ПІД від витрати повітря для горіння має такий же характер, як і в детекторі із загальним каналом водню і проби. Рівень флуктуаційних завад детектора коаксіальної конструкції не перевищує  $5 \cdot 10^{-14}$  А, чутливість зберігається на рівні  $1,25 \cdot 10^{-5}$  А/мг, за метаном. Розрахунковий поріг чутливості при цьому становить  $4 \cdot 10^{-9}$  мг/с.

Особливістю роботи детектора цієї конструкції є те, що максимальному значенню сигналу за аналізу фонових концентрацій вуглеводнів в атмосфері відповідає визначення співвідношень лінійних швидкостей газової проби і водню, постійне для кожного значення діаметра водневого пальника. Подібна закономірність зберігається і за відсутності проби, коли виконується вимірювання початкового фонових струму, і потік водню взаємодіє з повітрям для горіння. По суті, вимірювання проби, якщо це є повітря, і вимірювання початкового фонових струму відрізняються в ПІД з коаксіальним подаванням

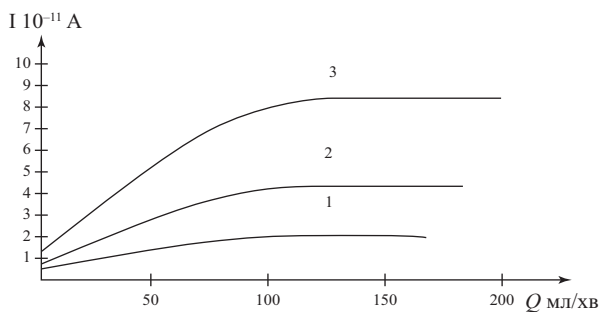


Рис. 2. Залежність сигналу від витрати аналізованого повітря

Fig. 2. The dependence of signal with the analyzed air usage

Витрата водню: 1.  $Q_{H_2} = 20$  мл/хв; 2.  $Q_{H_2} = 30$  мл/хв.; 3.  $Q_{H_2} = 50$  мл/хв.

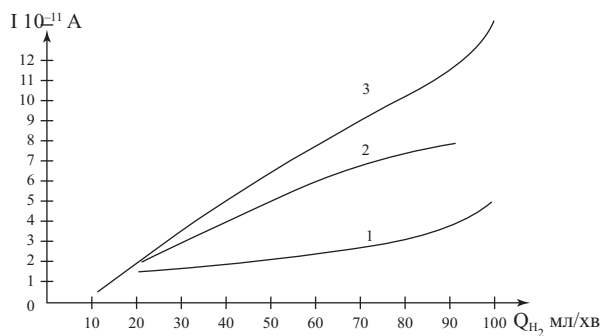


Рис. 3. Залежність сигналу датчика від витрати водню

Fig. 3. The dependence of sensor signal with the hydrogen usage

Витрата аналізованого повітря 1.  $Q_{П} = 34,5$  мл/хв; 2.  $Q_{П} = 69$  мл/хв; 3.  $Q_{П} = 80,5$  мл/хв

газів умовами подавання проби до водневого полум'я.

Вплив витрати водню на сигнал ПД графічно представлено на рис. 3. Робоче значення витрати водню вибирають за умови отримання високої чутливості та низького рівня шуму.

Окрім співвідношення лінійних швидкостей проби водню, чутливість ПД цієї конструкції залежить від ступеня наближення аналізованого газу до полум'я. Як показали експерименти, максимальний сигнал детектора отримано у випадку, коли площа кільцевого перерізу каналу аналізованого газу була найменшою, тобто забезпечувалося надійне і найбільш повне потрапляння молекул вуглеводню до зони полум'я. Вузол пальника датчика (рис. 1) влаштовано у такий спосіб, що водневе сопло омивається потоком проби, а далі за колом розташовано канал подавання повітря для горіння. Канал подавання проби повинен розташовуватися поблизу основи полум'я й має такий прохідний переріз і конфігурацію, щоби розсіювання аналізованої речовини було мінімальним.

Значний вплив на величину чутливості детектора мають розміри водневого полум'я. Встановлено, що зі збільшенням висоти полум'я та його зменшенням в діаметрі, за збільшення лінійної швидкості водню, зростає корисний сигнал, при цьому зменшується горизонтальна ділянка залежності сигналу від витрати проби. За вибору робочого значення лінійної швидкості водню для кожного сопла є верхня межа, перевищення якої призводить до розширення зони низької температури, збільшення турбулентності та зриву полум'я. Низький поріг чутливості, який дозволяє проводити вимірювання мікроконцентрації вуглеводню, можна отримати за використання водневих пальників із внутрішнім діамет-

ром (0,3-0,5) мм, верхня межа лінійності детектування при цьому обмежується величиною  $1 \cdot 10^{-2}$ %. Чергове зменшення лінійного динамічного діапазону можна пояснити тим, що мікрополум'я має малий об'єм рекреаційної зони і зони термічної дисоціації. Енергія, отримана від згорання водню, може виявитися недостатньою для нормального протікання піролізу великого числа вуглеводневмістких молекул.

Зважаючи на те, що середні значення вуглеводневих домішок в атмосфері зазвичай не перевищує  $(1-5) \cdot 10^{-3}$ % можна вважати, що отримана верхня границя лінійного динамічного діапазону відповідає нормативам ГДК у повітрі. Очевидно, за аналізу навколишнього повітря можна обійтися без повітря для горіння. Експериментально встановлено, що припинення подавання повітря для горіння до зони полум'я майже не відбивається на величині корисного сигналу. Отже, існує можливість створення двоканального полум'яно-іонізаційного детектора для вимірювання мікрослідів вуглеводнів у навколишньому повітрі. Як вже зазначено, за аналізу подібних сумішей поліпшуються умови іонізації сторонніх домішок, присутніх у пробі, і початковий фоновий струм при цьому зростає. Величина його для двогазового детектора вимірюється за подавання до каналу проби очищеного повітря і може перевищувати фоновий сигнал звичайного ПД приблизно у (2-2,5) рази. Проте рівень флуктуаційних шумів детектора при цьому не перевищує відповідного значення, отриманого за аналізу навколишнього повітря за допомогою стандартних ПД. Залежність сигналу від витрати повітря для горіння має такий же характер, як і в стандартних ПД з окремими каналами водню і проби.

#### ВИСНОВКИ

Конструкція розробленого детектора дозволяє регулювати величину початкового фонового сигналу


і підбирати рівень необхідної чутливості. Рівень флуктуаційних завад детектора коаксіальної конструкції не перевищує  $5 \cdot 10^{-14}$  А, чутливість зберігається на рівні  $1,25 \cdot 10^{-5}$  А/мг/с, за метаном. Розрахунковий поріг чутливості при цьому становить  $4 \cdot 10^{-9}$  мг/с.

До особливостей конструкції коаксіального ПІД необхідно віднести необхідність забезпечення фіксованої концентричності газових каналів під час ви-

готовлення детектора, що впливає на величину інструментальної похибки.

Доцільність використання ПІД з коаксіальним подаванням газів у диференціальній схемі вимірювання газоаналізатора визначатиметься можливістю отримання детекторів з близькою чутливістю. Для вирішення цього питання необхідно проведення подальшої науково-дослідницької роботи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Івасенко В.М. Розрахункова модель випаровувань автозаправних станцій [Текст] / В.М. Івасенко // Вісник НТУ «ХПІ» (Ivasenko V.M. The estimated model fumes filling stations. USSR: Visnik NTU «ХПІ»). — 2014. — № 40 (1083). — С/Р. 51—59.
2. Соколова Е.В. Оценка факторов воздействия выбросов АЗС на воздушную среду их рабочей зоны и прилегающей территории [Текст] / Е.В. Соколова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура (Sokolova E.V. Assessment of impacts of emission gas station on the air environment of the work area and the surrounding area. USSR: Construction and architecture). — 2011. — № 25 (44). — С/Р. 392—397.
3. Франчук Г.М. Аналіз даних про токсичність паливно-мастильних матеріалів для людини [Текст] / Г.М. Франчук, М.М. Николаяк // Вісник НАУ (Franchuk H. M., Nykoliak M. M. Analysis of data on toxicity lubricants for man. USSR: Visnyk NAU). — 2007. — № 3—4 (33). — С/Р. 54—58.
4. Рота Р. Виділення тепла з резервуарів: моделювання та експерименти [Текст] / Р. Рота, С. Фраттіні (Rota R., Frattini S., Astori S., Paludetto R. Emission from fixed-roof storage tanks: modeling and experiments. Ind and Eng. Chem. Res.), 2001. T/V.40 — № 24. — С/Р. 5847—5857.
5. Андерсон М. Новий метод розрахунку після звітів по викидах бак [Текст] / М. Андерсон // Нафта і газ (Anderson M., Siepel J. New calculation method after tank emission reports. Oil and Gas Journal). 1997 — T/V. 95. — №46. — С/Р. 77—78.
6. Соколова Е.В. Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия АЗС на атмосферу городских комплексов [Текст] / Е.В. Соколова, С.А. Кошкарев // Вестник Северо-Кавказского федерального университета (Sokolova E.V. Justification of measures to reduce the level of exposure to the gas station on the atmosphere of urban complexes. USSR: Bulletin of the North Caucasus Federal University). — 2013. — № 3 (36). — С/Р. 102—107.
7. Азаров В.Н. К обоснованию размера санитарно-защитной зоны АЗС при снижении выбросов паров тяжелых углеводородов [Текст] / В.Н. Азаров, С.А. Кошкарев, Е.В. Соколова // Строительство и реконструкция (Azarov V.N., Koshkarev S.A., Sokolova E.V. On the justification of the size of the sanitary protection zone of the gas station with a decrease in vapor emissions of heavy hydrocarbons. Stroytelstvo y rekonstruktsiya). — 2013. — № 4 (48). — С/Р. 57—59.
8. ДСТУ EN 14604:2009. Системи пожежної сигналізації. Сигналізатори диму пожежні [Текст] / Чинний від 2011-07-01. — К.: Держспоживстандарт України (ISO EN 14604: 2009. Fire alarm systems. Signaling fire smoke. Effective as of 2011-07-01. — Kiev, USSR: State Committee of Ukraine), 2009. — VII, 50 с/р.
9. ДСТУ EN 45544-1:2009. Повітря робочої зони. Сигналізатори та аналізатори токсичних газів і парів електричні. Частина 1. Загальні вимоги та методи випробування [Текст] / Чинний від 2011-07-01. — К.: Держспоживстандарт України (ISO EN 45544-1: 2009. The air of the working area. Signaling and analyzers of toxic gases and vapors Electric. Part 1: General requirements and test methods [Text] / Effective as of 2011-07-01. — Kiev, USSR: State Committee of Ukraine), 2009. — VII, 76 с/р.
10. Приміський В.П. Полум'яно-іонізаційний метод та газоаналізатор вимірювання вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобіля [Текст] / В.П. Приміський, Л.Т. Мошковська, Є. Краж // Стандартизація, сертифікація, якість (Prymiskiy V.P. Polumyano ionization method and analyzer measurement of hydrocarbons in the exhaust gases of the car. USSR: Certification and quality). — 2011. — № 3. — С/Р. 48—52.
11. 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 (Ivasenko V.M. Modern tool control (gas analyzers and gas analysis systems) flue gas vehicles . USSR: Visnyk National Technical University «ХПІ». Ser.: Novi rishennia v suchasnykh tehnolohiiakh). — 2012. — № 68. — С/Р. 135—141.
12. Рыжков В.Ф. Портативный пламенно-ионизационный газоанализатор [Текст] / В.Ф. Рыжков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (Ryzhkov V.F. Portable flame ionization gazoanalizator. USSR: Technology and design of electronic equipment). — 2004. — № 1. — С/Р. 27—29.
13. Пат. України № 49063 G01N 2762. Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор для поста екологічного контролю автомобілів [Текст] / В.П. Приміський, В.О. Румбешта // Бюл. винаходів (Primiskiy V.P. Flame ionization analyzer for office environmental control car. USSR: Pat. Ukraine № 49 063 G01N 2762) — 2002, — № 9.
14. Приміський В.П. Заявка на винахід a201410822 G01 N 27/62 G. Полум'яно — іонізаційний газоаналізатор випаровувань палива / В.П. Приміський, А.В. Жужа, В.М. Івасенко: заявл. (Primiskiy V.P., Zhuzha A.V., Ivasenko V.M. Ardent — ionization analyzer fuel fumes. USSR: An application for an invention a201410822 G01 N 27/62 G). 08.10.2014.
15. Пат. України №51533 G01N 27/62. Швидкодіючий полум'яно-іонізаційний газоаналізатор [Текст] / В.П. Приміський, А.В. Жужа, В.О. Румбешта // Бюл. винаходів (Primiskiy V.P. Instantaneous flame ionization analyzer. USSR: Pat. Ukraine №51533 G01N 27/62) — 2014, — № 13. 

Отримано / received: 26.03.2015.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В.Р. Козубовським (Україна).  
Prof. V.R. Kozubovskyy, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.