

УДК 681.2.082

**В. Г. Петрук, д. т. н., проф.; І. В. Васильківський, В. А. Іщенко, асп.****СИСТЕМА ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ГАЗИФІКОВАНИХ  
ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ**

*Розглянуто проблему забруднення житлових газифікованих приміщень продуктами спалювання природного газу у побутових умовах і механізм утворення шкідливих речовин, які виділяються при цьому. Охарактеризовано сучасний стан газо-аналізаторного обладнання. Розроблено структурну схему та алгоритм роботи системи газового аналізу для газифікованих житлових приміщень.*

**Вступ**

Значної уваги сьогодні потребує проблема, з якою зустрічаються люди у газифікованих житлових приміщеннях. Справа в тому, що при використанні у побуті газового обладнання: газових плит, газових колонок та автономних опалювальних приладів (газових котлів), виділяється чимало шкідливих і небезпечних для людини речовин — продуктів горіння природного газу у побутових умовах. Велике значення має склад природного газу. Як відомо, природний газ різних родовищ містить різні пропорції вуглеводнів та інших компонентів.

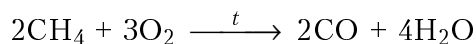
**Характеристика складу природного газу та продуктів його горіння**

Паливні гази являють собою вуглеводи, серед яких домінує метан і його гомологи — етан, пропан та інші з домішкою азоту, вуглекислоти, інертних газів, сірководню і т. д. Вміст основних компонентів у природному газі різних родовищ показано у таблиці.

**Склад природного газу для різних родовищ [1]**

Родовище	Склад в об'ємних %				
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>
Єлшанське (Росія)	93,2	0,7	0,6	0,6	3,9
Бугурусланське (Росія)	76,8	4,4	1,7	0,8	12,3
Абрамовське (Росія)	98,32	0,0	0,0	0,0	1,68
Дашавське (Львівська область)	97,8	0,5	0,2	0,1	1,4
Ставропольське (Росія)	98,0	0,4	0,15	0,03	1,42
Шебелинське (Харківська область)	92,5	2,78	0,65	0,56	3,51

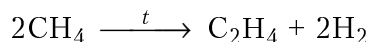
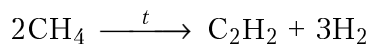
Не дивлячись на всі переваги газу як кращого виду палива, в побутових умовах при відкритому його спалюванні створюються умови для неповного спалювання газу з виділенням у повітря приміщень токсичних речовин, найбільш небезпечним серед яких є СО [2]. Його утворення іде за реакцією



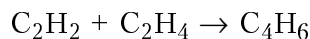
У побутових приміщеннях гранично допустима концентрація СО складає 3 мг/м<sup>3</sup>. Однак, під час горіння газу в побутових газових плитах протягом 1 год. середні значення концентрації СО у зимовий період досягають на кухнях 29,8, у житлових кімнатах 20,3 мг/м<sup>3</sup>, а влітку при відкритих вікнах відповідно 9,3, 5,4 і 4,5 мг/м<sup>3</sup>.

При спалюванні природного газу в побутових приладах виділяються також метаналь (формальдегід), оксиди Нітрогену, бензен, бенз(а)пірен, оксиди Сульфуру та ін. Постійно виявляється також сірчаний газ SO<sub>3</sub> в кількості 0,002—0,009 мг/л, до 7—13 % зростає вміст вуглекислоти, повітря забруднюється смолистими речовинами, що вміщують канцерогенні речовини [3].

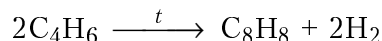
Бенз(а)пірен утворюється у кілька стадій. Спочатку відбувається дегідратація метану з утворенням етену та етіну:



Ці продукти, взаємодіючи між собою, утворюють бутадієн



Димеризація молекул бутадієну призводить до утворення стиrolу

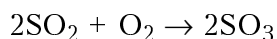
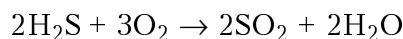


А вже із стиrolу утворюється 1,2-бензапірен



Оксиди азоту виділяються в результаті окислення азотовмісних органічних сполук, що входять до складу природного газу.

Сірководень  $\text{H}_2\text{S}$ , який у якості домішки міститься в природному газі, при взаємодії із киснем повітря дає оксид сірки (IV), який, в свою чергу, також окислюється — до оксиду сірки (VI)



Ці оксиди, взаємодіючи із водяною парою, можуть утворювати сірчану і сірчисту кислоти.

Концентрація формальдегіду під час горіння газу в повітрі приміщень досягає  $0,037 \text{ мг/м}^3$ , оксиду азоту (II) —  $0,62 \text{ мг/м}^3$ , оксиду азоту (IV) —  $0,44 \text{ мг/м}^3$ , бензену —  $0,07 \text{ мг/м}^3$ . Як видно, за більшістю показників концентрації перевищують ГДК. Крім того, вказаним речовинам властивий ефект сумачії (мають однонаправлений гострий вплив):  $\text{NO}_2$  і формальдегід,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  і формальдегід,  $\text{SO}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$  і  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  і  $\text{NO}_2$  [4].

При цьому більшість продуктів горіння природного газу у побутових умовах негативно впливають на стан здоров'я людини. Діоксиду та оксиду азоту, формальдегіду, оксиду вуглецю (II) властивий гостронаправлений механізм дії. Бензен та бензапірен є канцерогенами. Крім того, формальдегід здатний викликати алергічні захворювання.

### Сучасний стан газоаналізаторного обладнання

Слід зазначити, що відповідні служби в Україні не мають у своєму розпорядженні приладів, які могли б забезпечити належну якість і повноту вимірювань.

Відомо, що утворення токсичних продуктів згорання визначається конструкцією побутового газового обладнання, складом природного газу, що спалюється, режимними та іншими характеристиками. Отримані в процесі досліджень значення концентрацій шкідливих речовин у повітрі потрібно перераховувати на стандартні умови (сухі гази,  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ). В процесі вимірювання газового складу продуктів згорання необхідно обов'язкове визначення цілого ряду додаткових параметрів і характеристик.

В даний час є великий вибір газоаналізаторів, які базуються на різних фізико-хімічних принципах. Вибір конкретних газоаналізаторних систем є досить складною і неоднозначною задачею. Основним критерієм, на основі якого визначається тип газоаналізаторної системи, може бути запропонована група технічних характеристик, що характеризує принципові технічні можливості системи, а саме: метод вимірювання, відносні похибки вимірювання, максимально припустима температура газів в точці взяття проби, наявність серійного (інтегрованого або виносного) блоку пробної підготовки газів, перелік додаткового обладнання, що входить у базовий комплект, і наявність сертифіката про включення вимірювальної системи до державного реєстру засобів вимірювання.

Аналізуючи сучасний ринок обладнання для контролю складу повітря, можна виділити два принципово різних види газоаналізаторних систем — пробовідбірні системи і безпро-

бовідбірні. Пробовідбірні системи мають пристрої для відбору, підготовки і транспортування проби до газоаналізатора. Ці пристрої можуть бути зв'язані з вимірювальною системою в єдиний газоаналізаторний комп'ютеризований комплекс, виконаний за блочно-модульним принципом, або у вигляді окремих блоків. У пробовідбірних системах широко використовуються електрохімічний, хемілюмінесцентний, хроматографічний і фотоколориметричний методи інструментального аналізу газів.

У безпровідбірних системах відсутні пристрої відбору проби, її підготовки і транспортування. Ці системи виконуються у вигляді зондів чи у вигляді оптичних передавача і приймача, які встановлюються один проти одного безпосередньо в газозоді або приміщенні. Безпровідбірні системи дорожчі і базуються в основному на методах ІЧ- і УФ-спектрофотометрії.

### Характеристика системи газового аналізу

Більшість методів визначення речовин у повітрі мають недоліки, одні є недостатньо точними, інші — досить дорогими. Те ж саме можна сказати і про існуючі прилади та системи. Крім того, вони не дозволяють виміряти концентрацію усіх головних продуктів горіння природного газу.

Для вирішення задачі визначення параметрів забруднення повітря газифікованих приміщень лабораторією спектрофотометричних досліджень кафедри ХЕБ ВНТУ запропонована безпровідбірна (проточна) оптико-електронна система, в якій застосовується спектрофотометричний метод, що базується на властивості речовин поглинати променисту енергію в характерних ділянках спектрального діапазону. За допомогою спектрального аналізу визначається як спектральний діапазон, так і інтенсивність поглинання випромінювання молекулами аналізованих газів. При цьому склад молекул газу можна визначити за її спектром поглинання, а її концентрацію — за інтенсивністю випромінювання.

Схема запропонованої газоаналізаторної системи показана на рис. 1.

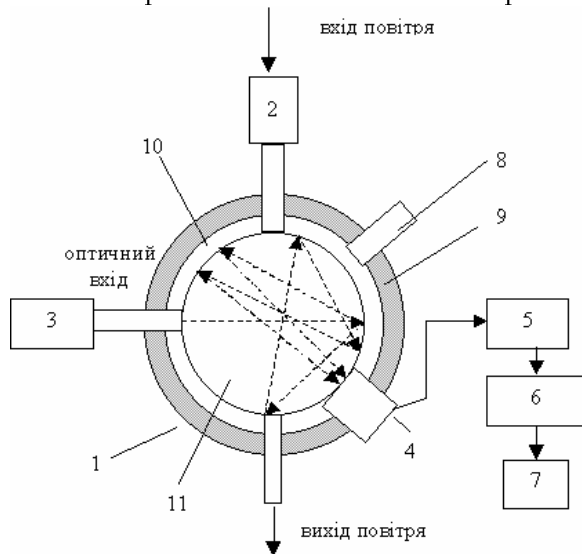


Рис. 1. Структурна схема оптико-електронної системи для визначення екологічних параметрів мікроклімату:

- 1 — оптичний інтегральний резонатор, 2 — насос для прокачування аналізованого повітря, 3 — монохроматор, 4 — світлофільтр із давачем, 5 — мікроконтролер, 6 — комп'ютер, 7 — експертна система, 8 — система термостабілізації, 9 — термоізолюючий кожух, 10 — термостатуюча порожнина, 11 — порожнина інтегрування опромінюючого пучка (контрольно-вимірювальна порожнина)

Запропонована установка працює таким чином. За командою, яка задається програмою з ПК, мікроконтролер включає насос, який протягом 1 хвилини проводить прокачування зовнішнього повітря через порожнину сфери, після чого включається монохроматор і подає в об'єм інтегральної сфери світловий потік певної довжини хвилі. Після цього вмикається давач, в якості якого використовується відповідний фотоелектричний сенсор, спектральна характеристика якого відповідає довжині хвилі світлового потоку монохроматора. Мірою концентрації вимірюваного газу є зміна інтенсивності випромінювання в ньому відносно інтенсивності випромінювання в чистому повітрі. Світловий потік, який провзаємодіє з повітрям всередині сфери, попадає на давач, що перетворює цей потік у фотострум і підсилює його, після чого він попадає на вхід АЦП контролера. АЦП дану аналогову величину фотостриму перетворює у цифровий код, який потім передається у пам'ять ПК. Далі

вимірювальна цифрова інформація обробляється відповідним програмним забезпеченням в ПК. Після обробки інформації результати вимірювань у вигляді графіків і таблиць заносяться до бази даних експертної системи [5]. В діапазоні хвиль, який нас цікавить, поглинання газами зумовлено, головним чином, коливально-обертальними смугами, най-

інтенсивніші з яких розташовані в інфрачервоній області спектра. На рис. 2 показані лінії поглинання деяких газів [6].

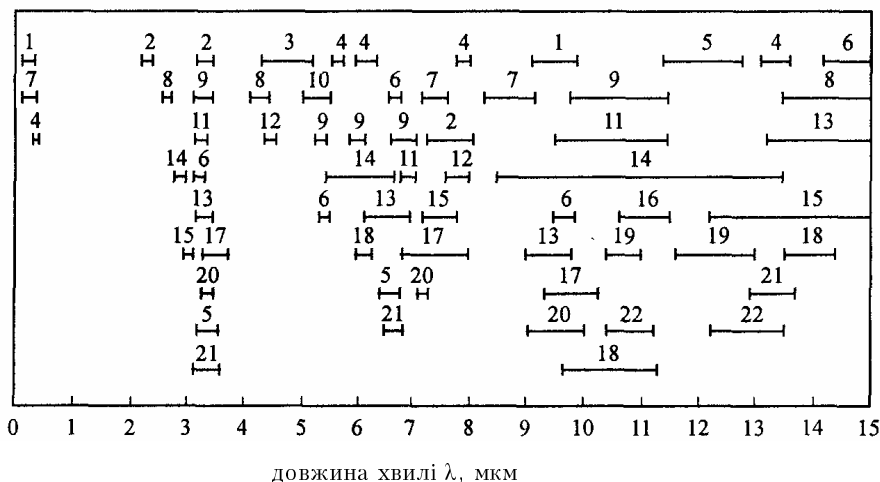


Рис. 2. Смуги поглинання деяких газів у спектральному діапазоні 0,25...15 мкм:

- 1 – O<sub>3</sub>; 2 – CH<sub>4</sub>; 3 – CO; 4 – NO<sub>2</sub>; 5 – C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 6 – C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>; 7 – SO<sub>2</sub>; 8 – CO<sub>2</sub>; 9 – C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>; 10 – NO;  
 11 – C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>; 12 – N<sub>2</sub>O; 13 – C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>; 14 – NH<sub>3</sub>; 15 – C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; 16 – C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>; 17 – CH<sub>3</sub>OH; 18 – C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl;  
 19 – C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>; 20 – C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH; 21 – C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; 22 – C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>

Таким чином, для досліджуваних газів найхарактерніші лінії поглинання знаходяться у таких діапазонах: NO<sub>2</sub> – 5,5...6,5 мкм і 8,0...8,2 мкм; NO – 5,0...5,5 мкм; C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> – 3,2...3,6 мкм і 6,5...6,8 мкм; SO<sub>2</sub> – 7,3...7,8 мкм і 8,3...9,0 мкм.

Оскільки основні лінії поглинання газів, концентрацію яких планується вимірювати, знаходяться в ближній і середній інфрачервоній області (3...9 мкм), то, у нашому випадку, доцільно у якості первинного оптичного перетворювача використати фоторезистор (ФР), який виготовлений з германію і ртуті та використовується при температурі 28 К, яка забезпечується відповідною його конструкцією.

Для задання довжини хвилі монохроматора і роботи насоса для прокачування аналізованого повітря використовується кінематична схема із двох електродвигунів (рис. 3).

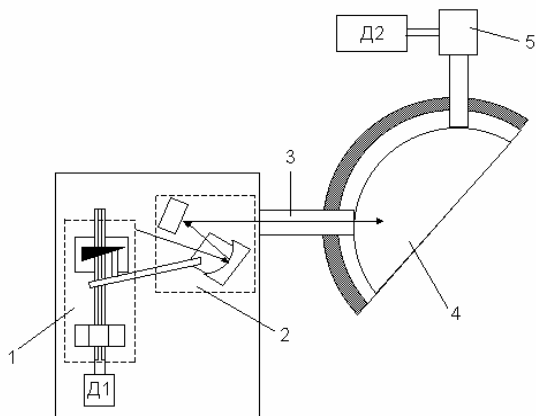


Рис. 3. Кінематична схема управління оптико-електронною системою для визначення екологічних параметрів мікроклімату газифікованих житлових приміщень:

- Д1, Д2 – крокові двигуни; 1 – черв'ячний механізм задання необхідної довжини хвилі λ; 2 – частина оптичної схеми; 3 – світловод; 4 – інтегральний резонатор; 5 – насос

Д1 на час, пропорційний заданому кроку зміни довжини хвилі, і двигун Д2 для прокачування повітря протягом часу, заданого користувачем.

Після цього здійснюється вимірювання температури всередині сфери. Якщо виміряна температура більша за встановлену температуру стабілізації, то вмикається система охолодження; якщо ж температура менша за температуру стабілізації – вмикається система

підігріву. Таким чином, постійно проводиться вимірювання температури. Після досягнення температури стабілізації включається монохроматор і в інтегровальну сферу подається хвиля заданої довжини. Вимірювальна інформація знімається із ФР і передається до ПК. Після цього перевіряється умова, чи проведені вимірювання в усіх необхідних точках (на всіх необхідних довжинах хвиль).

Інформація обробляється і представляється у зручному для оператора вигляді за допомогою математичних пакетів програм із заданою точністю.

Після проведення всіх вимірювань монохроматор і система в цілому виключаються і вимірювання завершується.

### Висновки

Для визначення екологічних характеристик повітряного середовища у житлових приміщеннях запропоновано автоматизовану систему газового аналізу, яка дозволяє визначати концентрацію продуктів горіння природного газу в побутових умовах. Це має важливе значення для дослідження екологічних, технологічних та експлуатаційних характеристик використовуваного побутового газового обладнання, проектування екологічно безпечних систем опалення, вентиляції і життєзабезпечення при плануванні сучасного житлового будівництва та проведення екологічного нормування речовин забрудників і їх похідних у повітрі житлових приміщень, а також при розробці ефективних науково-обґрунтованих заходів для зменшення впливу негативних факторів середовища на організм людини.

Робота виконана за сприяння Державного фонду фундаментальних досліджень Міністерства освіти та науки України.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Краткая химическая энциклопедия. Т. 1/гл. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1961. — 1263 с.
2. Даценко І. І. Гігієна і екологія людини: Навчальний посібник. — Львів: Афіша, 2000. — 248 с.
3. Быков Г. А., Мхитарян Н. М. Экология микроклимата газифицированных помещений // Экотехнология и ресурсосбережение. — 2001. — № 2. — С. 42—47.
4. Кривоногов Б. М. Повышение эффективности сжигания газа и охрана окружающей среды. — Л.: Недра, 1986. — 280 с.
5. Петрук В. Г., Іщенко В. А., Васильківський І. В. Система газового аналізу для визначення параметрів забруднення житлових приміщень // Тези доповідей VII Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрантів і аспірантів «Екологічні проблеми регіонів України». — Одеса: ОДЕУ, 2005. — С. 3—4.
6. Куклев Ю. И. Физическая экология: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 2003. — 357 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом VIII Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2005, 24—27.10.2005 р)

Надійшла до редакції 10.11.05  
Рекомендована до друку 22.11.05

**Петрук Василь Григорович** — завідувач кафедри, **Васильківський Ігор Володимирович** — старший викладач, **Іщенко Віталій Анатолійович** — аспірант.

Кафедра хімії та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет