

УДК 543.271.08:644

# ПРИЛАДИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ВЕНТИЛЯЦІЇ В БУДИНКУ

## Gas analysis devices for controlling the ventilation system in the house

**В. Козубовський**, доктор технічних наук,  
професор кафедри технології машинобудування,  
e-mail: kozubvr@gmail.com

**І. Алякшев**, інженер,  
e-mail: ivanals83@gmail.com

Ужгородський національний університет

**V. Kozubovskyy**, Doctor of Technical Sciences,  
Professor of Technology Engineering Department,  
e-mail: kozubvr@gmail.com

**I. Aljakshev**, engineer,  
e-mail: ivanals83@gmail.com

Uzhhorod National University

Сьогодні в сучасних будинках з метою енергозаощадження використовують герметичні двері, вікна. Це зумовлює необхідність примусової вентиляції приміщень. Використовують, в основному, механічну систему вентиляції, керовану датчиками газу. Останні контролюють допустиму концентрацію певних газових компонентів у приміщенні й вмикають (вимикають) за необхідності систему вентиляції. Залежно від типу приміщення використовують точковий контроль, пропорційний контроль або контроль швидкості зростання концентрації. Авторами розроблено газоаналізатори кисню, CO<sub>2</sub>, CO для контролю концентрації цих газів у приміщеннях і керування примусовою їх вентиляцією. Використовувалися електрохімічні датчики цих газів, як недорогі, селективні й такі, що не споживають електроенергії. Прилади, розроблені на їх основі, мають незначну вагу, габарити і можуть працювати в автономному режимі з живленням від батарейки.

Now in modern houses for the purpose of energy saving use the airtight doors and windows. This causes the need for forced ventilation of the spaces. Usually use a mechanical ventilation system controlled by gas sensors. Gas sensors control the permissible concentration of certain gas components in the living room and on/off, if necessary, a ventilation system. Depending on the type of living spaces used point control, proportional control, or control of the rate of growth of concentration. We have developed gas analyzers of oxygen, CO<sub>2</sub>, CO to control the concentration of these gases in the living rooms and control the forced ventilation. Electrochemical sensors of these gases were used as inexpensive, selective and non-consuming electricity. The devices developed on their basis have insignificant weight, dimensions and can work in the autonomous mode with the power from the battery.

**Ключові слова:** газоаналізатори, допустима концентрація, вентиляція, сенсори.  
**Keywords:** gas analyzers, permissible concentration, ventilation, sensors.

Останнім часом у сучасних будинках часто використовують механічну систему вентиляції й прилади, які контролюють ефективність її роботи. Дійсно, якщо встановлювати в будинку енергозаощаджувальні конструкції (вікна, двері тощо), то будинок стає майже повністю герметичним. Звичайно, повністю перекрити циркуляцію повітря не можна, адже це призведе не тільки до зниження продуктивності праці, а й до небезпеки розвитку різних захворювань (дихальних шляхів, алергії, головного болю). Щоби запобігти цим явищам необхідно весь час поставляти в будинок свіже повітря і видаляти відпрацьоване. Все це можна виконати шляхом керування системою вентиляції залежно від кількості людей, які перебувають у приміщенні, — тобто від концентрації двооксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) в повітрі. Цей газ, як результат нормального метаболізму живих організмів, є всюди. Зазвичай повітря, яке видихає людина, містить (2—3) % CO<sub>2</sub>. Концентрація ж CO<sub>2</sub> в атмосфері складає (300—400) ppm (‰). Натомість у внутрішньому повітрі будинків концентрація цього газу становить вже (500—2000) ‰, залежно від кількості людей, які там перебувають, та кількості припливного повітря, що постачається вентиляційною системою.

Відчуття «несвіжого повітря» і пов'язаний з цим дискомфорт, пригнблений стан і зниження продуктивності праці з'являються разом зі зростанням концентрації CO<sub>2</sub>



В. Козубовський



І. Алякшев

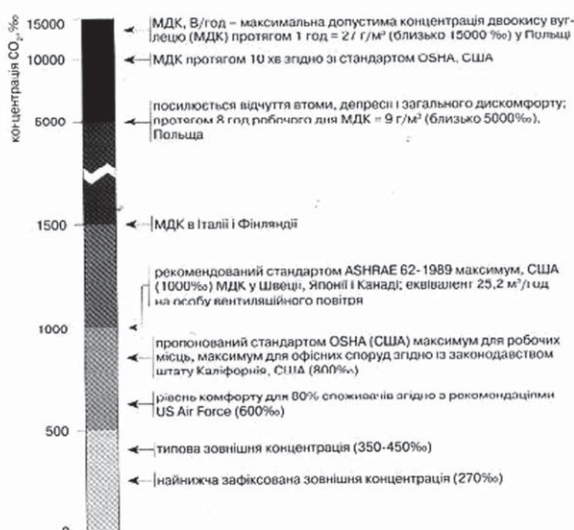


Рис. 1. Норми концентрації CO<sub>2</sub> для приміщень, в яких перебувають люди

Fig. 1. Permissible concentrations of CO<sub>2</sub> for rooms where people are

понад 1000 ppm. Концентрація CO<sub>2</sub> на рівні (800—1500) ppm у внутрішньому повітрі відповідає припливу свіжого повітря на одну людину на рівні (20—30) м<sup>3</sup>/год і відповідає міжнародним стандартам. На рис. 1 наведені допустимі норми CO<sub>2</sub> відповідно до стандартів.

Особливого значення набуває якість внутрішнього повітря у приміщеннях, де одночасно перебуває багато людей, які виконують відповідальну й інтенсивну розумову працю. Різницю в якості повітря між приміщеннями з природною і механічною вентиляцією наведено на рис. 2, 3.

Керування продуктивністю вентиляційних систем, що здійснюється на основі вимірювання рівня CO<sub>2</sub>, гарантує постійне забезпечення актуальної потреби у свіжому повітрі за мінімального споживання енергії вентиляційною системою. Дійсно, у приміщеннях протягом дня перебуває різна кількість людей, тому і потреба в припливі свіжого повітря також різна. Завдяки системі контролю, що базується на вимірюванні CO<sub>2</sub>, виникає можливість оптимізувати інтенсивність вентиляції залежно від кількості людей, які в них перебувають. У цьому випадку економія енергії складає до 50 %.

Керування вентиляційною системою, відповідно до актуальних потреб, передбачає кілька видів контролю концентрації CO<sub>2</sub>, що застосовуються залежно від типу будинків.

**Точковий контроль.** Забезпечується замиканням або розмиканням реле газоаналізатора, що контролює концентрацію CO<sub>2</sub> в приміщенні. Рівень контрольованої концентрації встановлюється в межах

(500—1000) ppm. Відповідно, вмикається і вимикається вентиляція. Цей тип контролю застосовується для приміщень, де перебуває багато людей.

**Пропорційний контроль.** За нього система реагує на зміну концентрації CO<sub>2</sub> з певним випередженням. У цьому випадку газосигналізатор видає сигнал, пропорційний до концентрації газу. Цей сигнал використовується для управління швидкістю обертання вентилятора. За збільшення концентрації швидкість збільшується — збільшується приплив свіжого повітря. Цей тип вентиляції забезпечує швидку адаптацію до зміни кількості осіб у приміщенні.

**Контроль на основі швидкості зростання концентрації CO<sub>2</sub> (PID).** Для сучасних будинків звичайний точковий або пропорційний контроль може бути недостатнім. У таких випадках оптимальним буде PID (Proportional-Integral-Derivative control) — пропорційно-інтегральний-диференціальний контроль, який реагує на різницю між актуальною і допустимою концентрацією CO<sub>2</sub>, на тривалість відповідності

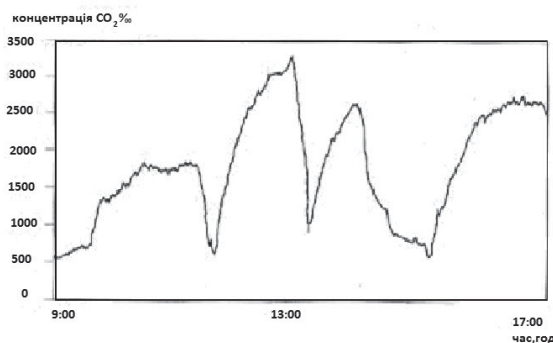


Рис. 2. Зміни концентрації CO<sub>2</sub> у конференц-залі під час засідання. Кількість учасників 35—50 осіб. Природна вентиляція шляхом відкривання вікон під час перерв

Fig. 2. Change in CO<sub>2</sub> concentration in the conference room during the meeting. Number of participants 35—50 people. Natural ventilation by opening windows during breaks

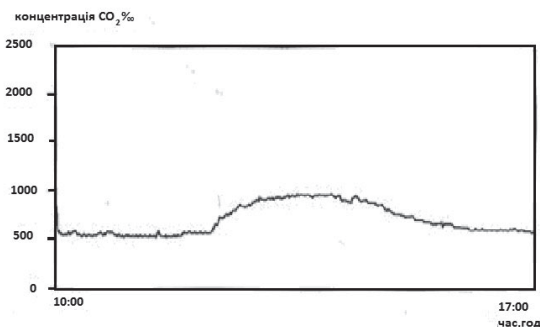


Рис. 3. Зміни концентрації CO<sub>2</sub> у конференц-залі під час засідання 50 осіб. Система механічної вентиляції

Fig. 3. Change in CO<sub>2</sub> concentration in the conference room during a meeting of 50 people. Mechanical ventilation system

актуального значення допустимому рівню та на швидкість наближення чи віддалення вимірюваного значення від допустимого. Наприклад, зранку вентиляційна система з *PID*-контролем, зреагувавши на зміну кількості людей у приміщенні, протягом кількох хвилин пристосовує продуктивність вентиляції не лише до актуальної ситуації, але й до часових змін. Як і за пропорційного контролю, контролер типу *PID* може працювати, використовуючи лінійний вихід газоаналізатора  $\text{CO}_2$ . Алгоритм типу *PID* зараз застосовується у більшості сучасних будинкових систем контролю з великою кількістю приміщень із незначним, але дуже неоднорідним у часі скупченням людей, яке важко попередньо визначити. Правильне використання *PID* забезпечує швидку адаптацію продуктивності системи вентиляції до змінної концентрації людей.

*Вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$  та інших газів, як правило, присутніх в житлових приміщеннях.* Звичайно, для керування примусовою вентиляцією необхідні газосигналізатори. Стосовно недисперсійних інфрачервоних (*NDIR*) газосигналізаторів  $\text{CO}_2$  згадувалося в [1]. Однак оптичні прилади, як правило, дуже дорогі, й через цю причину масово не можуть застосовуватися для керування вентиляцією в житлових будинках. Окрім  $\text{CO}_2$ , в житлових приміщеннях є й інші гази, пов'язані з життєдіяльністю людини. Це, по-перше, кисень. Роль кисню у життєдіяльності людини важко переоцінити. Концентрація кисню в приміщеннях не має бути суттєво нижчою від нормального значення — 20,9 % об. Концентрацію кисню 15 % об. треба розглядати як шкідливу, а концентрація кисню 10 % об. становить загрозу життю людини.

Окрім кисню ( $\text{O}_2$ ) і  $\text{CO}_2$ , в житлових приміщеннях, де є система газового опалення, газові колонки, плити, а також котли на твердому (рідкому) паливі, присутній оксид вуглецю (чадний газ,  $\text{CO}$ ). Оксид вуглецю — газ без кольору та запаху. Він є найбільш поширеною отрутою, що вдихається людиною і позбавляє тканини тіла кисню. Давно відомо, що оксид вуглецю призводить до смерті за вдихання повітря з великою концентрацією  $\text{CO}$  ( $\text{CO} > 750$  ppm). Отруйна дія  $\text{CO}$  базується на його здатності утворювати з гемоглобіном стійку сполуку. Спорідненість  $\text{CO}$  до гемоглобіну у 200 разів більша ніж у кисню. Тому 0,1 % об.  $\text{CO}$  зв'язує таку ж кількість гемоглобіну, що і кисень. Отже  $\text{CO}$  є дуже сильною отрутою.

Як видно, розглянуті вище газові компоненти є пріоритетними в процесі контролю якості повітря в житловому приміщенні.

На сьогодні є відносно дешеві напівпровідникові сенсори  $\text{CO}$  й електрохімічні сенсори  $\text{CO}_2$  та  $\text{O}_2$ ,

на базі яких можуть бути створені побутові газосигналізатори для керування вентиляцією житлових приміщень. Тому нами і розроблено газосигналізатори на основі цих електрохімічних сенсорів. Електрохімічні сенсори не є дуже дорогими, хоча забезпечують відносно високу селективність, чутливість газового аналізу. Звичайно, в деяких випадках для керування системою примусової вентиляції зовсім не обов'язково проводити аналіз одночасно всіх цих газових компонентів. Наприклад, у залі засідань, де немає газових опалювальних приладів, достатньо мати газосигналізатор  $\text{CO}_2$ . Тому нами розроблено цілий ряд приладів ГСБ-02 на різні гази і у різних їх комбінаціях.

Сучасні електрохімічні газові сенсори — це електрохімічні комірки, на індикаторних електродах яких протікають реакції відновлення або окислення аналізованого газу за певного, характерного для конкретного газу потенціалу. Мірою концентрації аналізованого газу є сила струму, яка протікає між індикаторним та допоміжними електродами. У сенсорах електроди розділено неорганічними або органічними електролітами, які згущують аеросилом або іншою речовиною. Як індикаторні електроди використовують дорогоцінні метали, звичайно, платину як універсальний каталізатор. Сенсори відрізняються між собою складом електролітів та потенціалами, за яких діють індикаторні електроди.

У приладі для аналізу оксиду, діоксиду вуглецю та кисню у повітрі, що видихається людиною використовуються електрохімічні сенсори Фірми *Hanwei Electronics Co.* (Китай) різних типів [3]. Так, для аналізу кисню використовується двоелектродний сенсор  $\text{ME3-O}_2$  на основі багатокомпонентного електролітичного розчину кислоти. Сенсор складається із гальванічної батареї зі свинцевим анодом, золотим плівковим катодом з нанесеною на нього тefлоновою мембраною та електролітом. Значення струму, що протікає через електроліт, пропорційне концентрації кисню в аналізованій газовій суміші. Між анодом та катодом включено термістор для температурної компенсації та резистор, з якого знімається напруга, пропорційна концентрації аналізованого газу. Сенсор має значний термін служби, високу точність та невелику інерційність (рис. 4).

Для вимірювання концентрації вуглекислого газу використовується електрохімічний сенсор на основі твердого електроліту *MG811*. Сенсор складається з твердого електроліту, який міститься між двома електродами, і носіями заряду в ньому є катіони натрію ( $\text{Na}^+$ ), а також підігрівного елемента у виді платинової підкладки. Катод (електрод

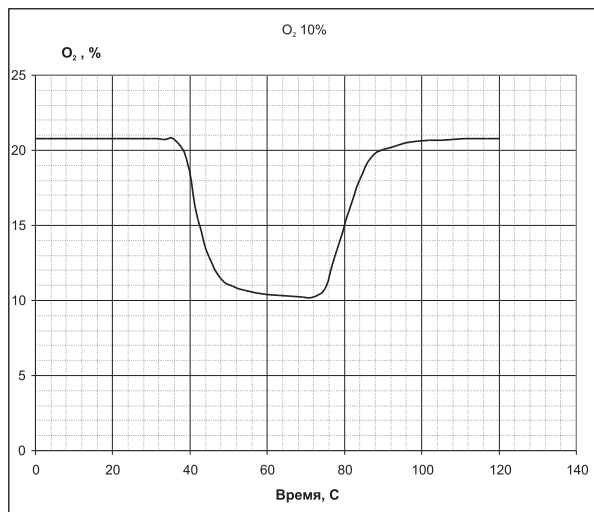


Рис. 4. Реакція газоаналізатора на 10 % концентрацію кисню  
 Fig. 4. Reaction of the gas analyzer by 10 % concentration of oxygen

порівняння) виготовлено з карбонату літію та золота, анод (вимірювальний електрод) — із золота. У сенсорі є внутрішній термістор для компенсації температурної залежності.

Для підтримання оптимальної температури сенсора на підігрівний елемент подається напруга. Вихідний сигнал сенсора перетворюється за допомогою операційного підсилювача з високим входним опором (більше 100 ГОм) і малим струмом зміщення ( $\geq 1$ пкА). Сенсор має хорошу залежність від концентрації в діапазоні (350 — 30000) ppm, хоча він достатньо інерційний — час відгуку 2 хв. (рис. 5).

Для аналізу чадного газу використовувався двоелектродний електрохімічний сенсор МЕЗ-СО, який відрізняється зручною конструкцією, високою лі-

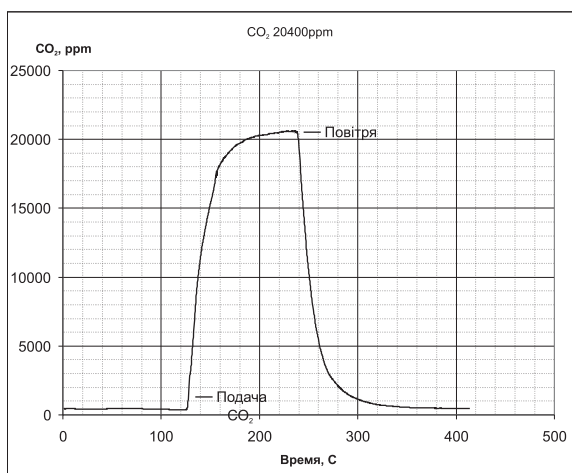


Рис. 5. Реакція газоаналізатора на 2 % концентрацію вуглекислого газу  
 Fig. 5. Gas analyzer reaction at 2 % concentration of carbon dioxide

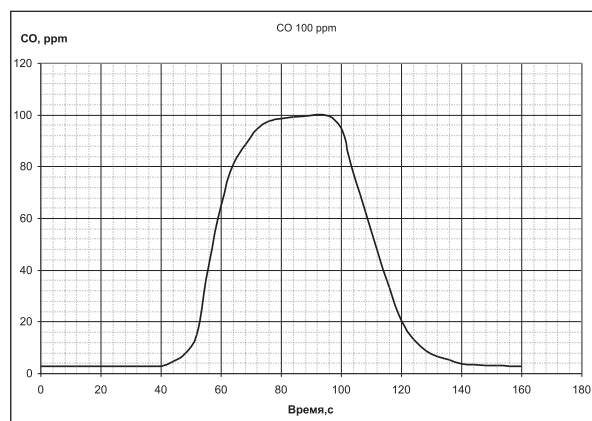
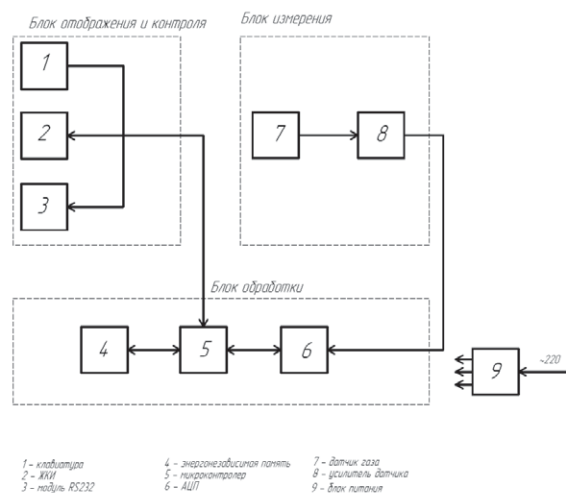


Рис. 6. Реакція аналізатора на подавання 100 ppm чадного газу  
 Fig. 6. The analyzer's response to the supply of 100 ppm of carbon monoxide



1 - клавиатура  
 2 - ЖКИ  
 3 - модуль RS232  
 4 - энергонезависимая память  
 5 - микроконтроллер  
 6 - АЦП  
 7 - датчик газа  
 8 - усилитель датчика  
 9 - блок питания

Рис. 7. Блок схема однокомпонентного газоаналізатора  
 Fig. 7. Block circuit of one-component gas analyzer

нійністю, стабільністю та незначною інерційністю (рис. 6).

Газоаналізатор розміщено у стандартному корпусі. Блок-схему приладу наведено на рис.7. Прилад складається із блока вимірювань, що включає датчик і підсилювач: блока опрацювання інформації, який включає аналоговий комутатор, АЦП і контролер, що опрацьовує інформацію; блока уведення-виведення, який складається з індикатора й модуля зв'язку із ПК за допомогою інтерфейса RS232.

Живлення приладу здійснюється від мережі або від вмонтованого акумулятора. В однокомпонентних приладах аналізоване повітря надходить на сенсор тільки внаслідок дифузії, алгоритм опрацювання сигналу фіксований, і замість цифрового індикатора можуть встановлюватися сигнальні світлодіоди та може бути присутня звукова сигналізація пе-



Рис. 8. Зовнішній вид однокомпонентного газоаналізатора

Fig. 8. Appearance of a single-component gas analyzer

ревищення допустимої концентрації. Вага приладу з вмонтованими акумуляторами — до 1 кг.


Однокомпонентні прилади достатньо зручні для використання у побуті. Причому у приміщеннях,

де немає опалювальних пристроїв, значення концентрації  $\text{CO}_2$  може бути визначено за зменшенням концентрації  $\text{O}_2$ . Справа в тому, що електрохімічні сенсори  $\text{O}_2$  менш інерційні, більш дешеві й мають кращі експлуатаційні параметри.

Зовнішній вид однокомпонентного газоаналізатора наведено на рис. 8.

Отже, можна зробити висновок, що примусова вентиляція в сучасних будинках є вкрай необхідною і забезпечує безпеку життєдіяльності її мешканців. Для енергозощадження використовують керувану механічну вентиляцію за допомогою датчиків кисню,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ . Нині як датчики цих газів, в основному, використовують електрохімічні датчики, які є самі по собі джерелами струму, практично не споживають електроенергії, є селективними і відносно дешевими. Для контролю  $\text{CO}_2$  може бути також використано *NDIR* датчик, який наразі випускається у виді модуля, але він більш дорогий, вимагає більш складного схемного підключення і на сьогодні широко не використовується в системах керування механічною вентиляцією.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Словінські П. Керування системою вентиляції в сучасних будівлях // Ринок інсталяцій (Slovinsky P. Control of the ventilation system in modern buildings // Market of installations). — 2007. — № 5. — С/Р. 11 — 13.
2. Барон В.Г. Взаємовплив рекуператорів тепла витяжного повітря і вентиляційних каналів у сучасних будинках // Ринок інсталяцій (Baron V.G. Mutual influence of heat recuperators of exhaust air and ventilation ducts in modern buildings // Market of installations). — 2008. — № 1. — С/Р. 13—15.
3. <http://www.hwsensor.com> 

Отримано / received: 28.02.2018.

Стаття рекомендована до публікації д.ф.-м.н. А.А. Боровиком (Україна).  
A.A. Borovyk, D. Sc. (Phys-Mat.), Ukraine, recommended this article to be published. 