

НАУКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 543.27.08

АВТОМАТИЧНИЙ СТАЦІОНАРНИЙ ПОСТ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ЗАБРУДНЕННЯМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ “АТМОСФЕРА-10”

Грабар В.Я., Мазира, Л.Д., Міхеєва І.Л., Орлов М.О., ЗАТ “Всеукраїнський НДІ аналітичного приладобудування” (ЗАТ “Украналіт”), м. Київ, Україна

Проаналізовано стан і проблеми екологічного моніторингу довкілля України. Розглянуто особливості побудови та функціонування автоматизованого посту спостережень за забрудненням атмосферного повітря

Вступ

В Україні мережа спостережень за забрудненням навколишньої природного середовища працює на базі центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО). Оцінка стану атмосферного повітря здійснюється в 53 містах різних областей України на 162 стаціонарних постах спостережень за забрудненням (ПСЗ) і на двох станціях трансграничного моніторингу. В атмосферному повітрі визначається вміст більш як 30 забруднювачів, зокрема оксидів азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, пилу, формальдегіду, важких металів і бенз-а-пирену [1]. У діючих ПСЗ збір і обробка інформації не автоматизовані. Виміри, засновані на лабораторно-хімічних методах аналізу проб і використовуються, не стільки для прийняття оперативних управлінських рішень, скільки для статистичного аналізу. Так, відбір проб атмосферного повітря здійснюється в робочі дні чотири рази на добу: о 1, 7, 13 і 19 годинах. Хімічний аналіз відібраних проб здійснюється в лабораторіях ЦГО відповідно до керівного документу щодо контролю забруднення атмосфери РД 52.04.186-89.

У м. Києві сьогодні працює 16 стаціонарних ПСЗ, які розташовані у різних районах міста.

У 2005 році за замовленням управління екології при Київській міській Державній адміністрації (КМДА) ЗАТ “Украналіт” розробив новий автоматичний стаціонарний пост спостереження за станом атмосферного повітря “АТМОСФЕРА-10”, що являє собою вимірювально-інформаційну систему (ВІС), призначену для автоматичного безупинного спостереження (моніторингу) за станом приземної атмосфери міст і великих промислових центрів. Пост призначений для використання в автоматизованих системах екологічного моніторингу атмосфери (АСЕМА) у складі Державної системи моніторингу довкілля і системи моніторингу довкілля м. Києва [2].

Структурна побудова АСЕМА

АСЕМА складається з двох (або більше) територіально рознесених модулів, сполучених між собою міською телефонною лінією зв'язку.

Перший модуль являє собою ВІС із приймально-передавальною апаратурою,

яка розміщена у пості “АТМОСФЕРА-10”. Таких модулів може бути декілька.

Другий модуль містить у собі центральний ПК із модемом, які розміщуються в центрі оперативного моніторингу (ЦОМ) при КМДА.

Блок-схема АСЕМА представлена на рис.1. Газоаналізатори 645ХЛ10, 667ФФ05, 621ЭХ07, мають вбудований мікропроцесорний пристрій і енергонезалежну пам'ять, що дозволяють обробляти і зберігати у пам'яті результати вимірів за певний період.

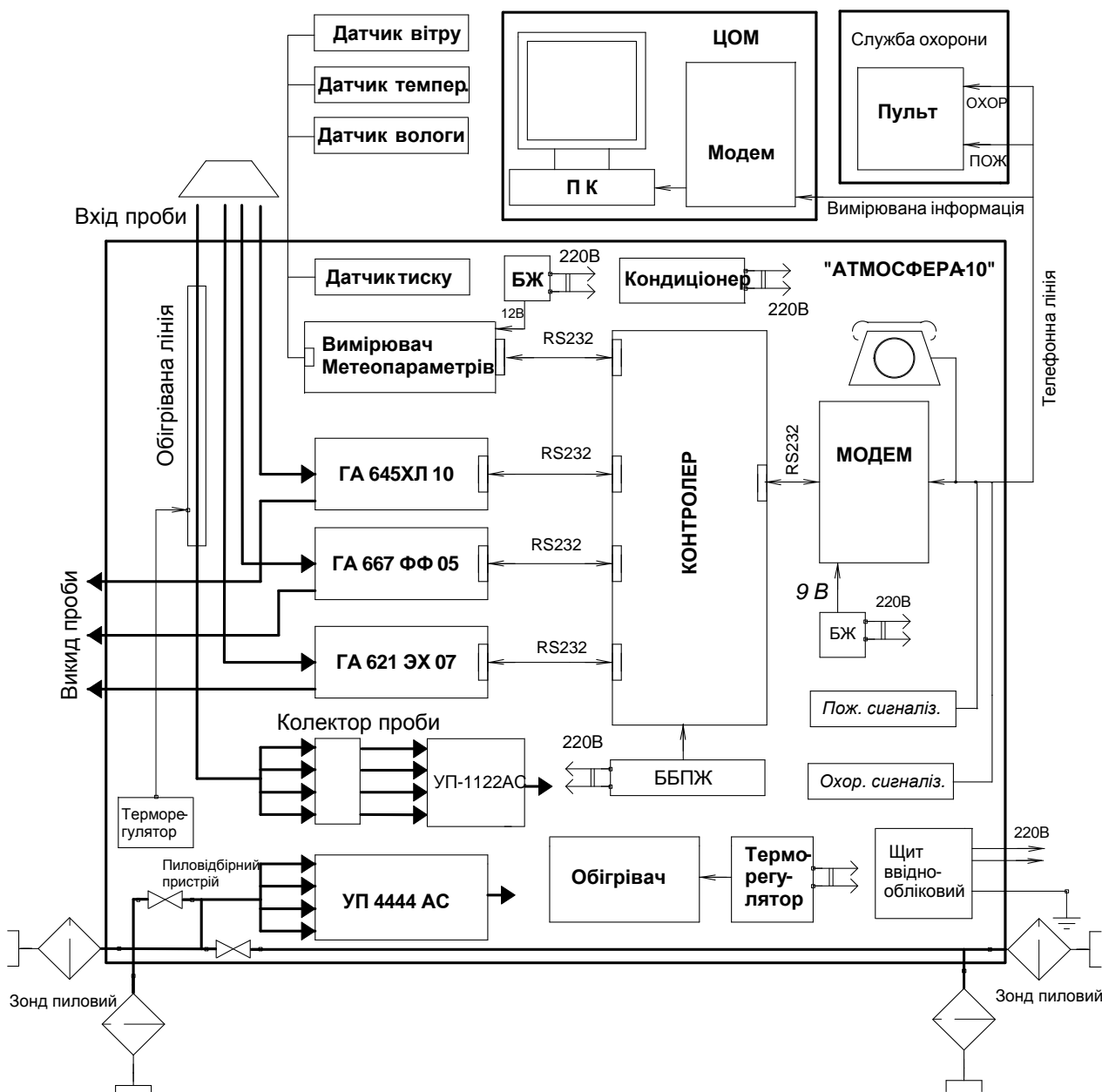


Рисунок 1 – Блок-схема АСЕМА

Основу **першого модулю** (посту “АТМОСФЕРА-10”) становлять сучасні автоматичні газоаналізатори (ГА) розробки ЗАТ “Украаналіт”, на загальнопоширені забруднюючі речовини: оксиди азоту (NO, NO₂), діоксид сірки (SO₂), оксид вуглецю (CO) та вимірювач метеопараметрів: температури, відносної вологості навко-

лишнього повітря, атмосферного тиску, швидкості і напрямку вітру [3].

Типи приладів та методи вимірювання, на яких побудовані ці прилади, наведені в табл. 1.

Таблиця 1– Типи приладів, які входять до складу посту “АТМОСФЕРА -10”

Тип приладу	Вимірюваний параметр	Метод виміру
ГА 645ХЛ 10	Концентрація NO, NO ₂	Хемілюмінесцентний
ГА 667ФФ 05	Концентрація SO ₂	Флуоресцентний
ГА 621ЭХ 07	Концентрація CO	Електрохімічний
Вимірювач метеопараметрів повітря “Атмосфера-1М”	Температура повітря	Напівпровідниковий елемент з потенціальним виходом
	Відносна вологість	Ємкісний елемент з полімеру з потенціальним виходом
	Атмосферний тиск	Мембрана з кремнію з тензоелектричним мостом
	Швидкість вітру	Диференційний тензодатчик з напівпровідниковим датчиком температури
	Напрямок вітру	

Газоаналізатори розміщені у павільйоні на полицях стійки для приладів.

Вимірювач метеопараметрів повітря “Атмосфера-1М” складається з трьох блоків: індикаторний блок із вбудованим датчиком тиску, розміщеним всередині павільйону, блок датчика швидкості та напрямку вітру ИСНВ-1 і блок датчика температури та вологості повітря ИТВ-1, які розташовані на щоглі даху павільйону.

Датчик ИСНВ-1 забезпечує розрахунок наступних параметрів: середньої швидкості вітру за 2 та 10 хвилини; максимальної швидкості вітру за 2 та 10 хвилин; середнього напрямку вітру за 2 та 10 хвилин.

Центральний мікропроцесор блока ИСНВ-1 забезпечує нормування й термокомпенсацію сигналів, автокорекцію нульового сигналу, розрахунок швидкості і напрямку вітру за відповідними сигналами, видачу цифрової інформації в інтерфейс у стандарті RS485. Обчислювач вимірювача «Атмосфера-1М», здійснює корекцію показань датчика ИСНВ-1 за фактичною щільністю повітря (з урахуванням тиску, температури й вологості повітря). Блок датчика ИТВ-1 забезпечує безперервне вимірювання температури й вологості повітря з розрахунком мінімальної та максимальної температури за останню годину.

Вимірювач метеопараметрів перетворює аналогові електричні сигнали з чутливих елементів тиску, температури й вологості повітря в цифрові коди, забезпечує їх нормування і термокомпенсацію. Система підігріву запобігає обмерзанню поверхні датчиків у зимовий час.

Передача інформації від ГА 645ХЛ 10, 667ФФ 05, 621ЭХ 07 та вимірювача метеопараметрів здійснюється через інтерфейси RS232 до контролера, який обробляє, формує щодобову контрольну-вимірювальну інформацію й зберігає її в

енергонезалежній пам'яті за період не менш ніж 5 років. Контролер забезпечує передачу через модем по телефонній мережі результатів вимірів концентрацій NO, NO₂, SO₂ та метеопараметрів на центральний ПК по запиті з нього. Контролер має резервні канали, що дозволяють розширити перелік забруднюючих речовин, які можуть вимірюватись в автоматичному режимі за допомогою інших ГА (наприклад, сума вуглеводнів, озон та інші).

Як контролер застосовано системний блок ПК із вбудованим помножувачем COM- портів та спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ) розробки ЗАТ "Украналіт". ПЗ забезпечує опитування щохвилини кожного ГА та вимірювача метеопараметрів, формування 20-ти хвилинних усереднених значень, з яких складається добовий файл (72 значення по кожному вимірюваному компоненту) у текстовому форматі (txt). Файли архівуються за датою і розміщуються у відповідних папках (місяць, рік) у пам'яті контролера. Сформовані файли містять також службову інформацію про технічний стан ГА та модемної лінії зв'язку, яка використовується сервісними службами для дистанційної оцінки технічного стану ВІС.

Основні технічні характеристики посту наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Основні технічні характеристики посту "АТМОСФЕРА-10"

Вимірюваний параметр	Діапазон вимірів	Межі допустимої основної абсолютної похибки, Δ_d
Діоксид азоту (NO ₂), мг/м ³	0,000...10,000	±(0,005+ 0,15Сх)
Оксид азоту (NO), мг/м ³	0,000...10,000	±(0,005+ 0,15Сх)
Оксид вуглецю (CO), мг/м ³	0,00...50,00	±(0,2+ 0,15Сх)
Діоксид сірки (SO ₂), мг/м ³	0,000 ... 1,000	±(0,005+ 0,15Сх)
Температура, °С	Мінус 40 ...+50	± 0,8
Відносна вологість, % відн.	30...98	± 10
Атмосферний тиск, гПа	650... 1080	± 1,0
Швидкість вітру (v), м/с	1,5...50	± 0,5 при v ≤ 5 м/с ± 10 % при v > 5 м/с
Напрямок вітру, град	0... 359	± 10
де Сх - номінальне значення масової концентрації вимірюваного компонента в аналізованій суміші на вході в газоаналізатор, мг/м ³		

Оснoву **другого модуля** (ЦОМ) становить модем та центральний ПК зі спеціалізованим ПЗ, яке розроблене фахівцями ЗАТ "Украналіт" для користувачів ПК з урахуванням вимог РД 52.04.186-89 щодо форми представлення статистичних характеристик забруднення атмосфери (ЗА).

ПЗ дозволяє здійснювати оператору (користувачу) керування обміном інформацією між постом "АТМОСФЕРА-10" і ПК. Черговий оператор центрального ПК за допомогою певних команд із клавіатури встановлює модемний зв'язок з контролером та надає по телефонній лінії зв'язку вимірювальну

інформацію в ПК, на підставі якої формується архів у вигляді тих самих, що і в контролері, текстових файлів. Оператор має можливість виводити з архіву на монітор ПК інформацію про обмірювані концентрації забруднювачів атмосфери та значення метеопараметрів у графічній та цифровій формі. Оператор також має можливість спостерігати на моніторі в графічному чи цифровому вигляді поточні значення концентрацій газових забруднювачів та значення метеопараметрів у масштабі реального часу. При роботі з архівом в режимі розрахунків ПЗ забезпечує можливість одержати середньодобові, середньомісячні, середньорічні, максимальні показники ЗА по кожному компоненту та метеопараметрах, а також розрахунки коефіцієнтів перевищень над гранично допустимими концентраціями (ГДК) за обраний термін спостережень. Результати розрахунків у вигляді графіків чи таблиць можуть бути представлені на моніторі ПК або роздруковані на принтері.

Конструктивно пост розміщений в контейнері “ЕНЕРГО-МС.2”. В контейнері передбачене основне приміщення площею близько 6 м², де розміщується контрольно-вимірювальне обладнання і тамбур площею до 2,5 м², де розташовується обладнання інженерного забезпечення (електрощити, щити охоронно-пожежної сигналізації тощо).

Нормальний температурний режим приміщень контейнеру забезпечується подвійною комплексною конструкцією стін, в яку включений ефективний утеплювач із базальтового волокна або мінеральної вати. Матеріали, які застосовані, забезпечують посту тривалий термін служби при мінімальних затратах, в тому числі енергетичних, невибагливість до обслуговування.

Приміщення павільйону забезпечено вентиляцією та охолодженням влітку за допомогою кондиціонера, контрольованим автоматичним обігрівом у холодний період року та охоронно – пожежною сигналізацією.

Як приймально-контрольний пристрій (ПКП) використовується прилад приймально-контрольний охоронно-пожежний МАКС-4-DLK-640, з кодовою клавіатурою. Передбачається блокування периметру приміщення, яке здійснюється шляхом обладнання дверей магніто-контактними сповіщувачами та включення в зону ПКП з програмуванням за типом < з затримкою >.

Для організації пожежної сигналізації використовуються дві зони ПКП з програмуванням за типом < 24 години >, в які включаються сповіщувачі СПД-1/12 та СПТ-70. Передача сигналів < **пожежа** > та < **тривога** > здійснюється до апаратури централізованого нагляду виділеними каналами зв'язку в запрограмованому форматі.

Павільйон обладнаний пристроєм забору аналізованого повітря, який являє собою пробозабірний колектор, що виступає на 800-1200 мм над дахом павільйону, усередині якого розміщені трубопроводи, виконані з фторопластових трубок, протилежні кінці яких приєднані до газоаналізаторів. Проаналізована проба виводиться назовні посту по трубкам, які приєднані до штуцерів газових виходів кожного ГА.

Забірна частина пробозабірника розташована на даху павільйону і захищена дефлектором, який запобігає проникненню атмосферних опадів усередину тру-

бок пробозабірника і павільйону. Пост оснащений двома установками пневматичними, які забезпечують ручний відбір проб повітря для визначення за стандартними методикам масових концентрацій пилю, бенз-а-пирену, свинцю, формальдегіду.

В холодний період року проба повітря, що підводиться до установки пневматичної УП-1122АС, за допомогою котрої здійснюється відбір проби для визначення вмісту бенз(а)пирену, свинцю, формальдегіду в повітрі, підігрівається до температури 20-22°C у пробозабірнику, який обладнаний гнучкою підігрівною лінією з автоматичним термостатом. Установка пневматична УП-4444АС забезпечує проходження проби через зонди пилові, в яких установлені фільтри АФА для визначення гравіметричним методом вмісту пилю в аналізованому повітрі. Зонди пилові можуть установлюватись в чотирьох положеннях в залежності від напрямку вітру. Для цього в павільйоні зроблені люки з заглушками.

Пост може бути дооснащений іншими автоматичними приладами. Розглядається можливість установки в постах “АТМОСФЕРА-10” автоматичних пилосмірів, газоаналізаторів озону, вуглеводнів. При розташуванні посту поблизу підприємств, які можуть бути джерелами специфічних екологічно небезпечних викидів (аміак, хлор, сірководень, тощо) є можливість комплектувати пости газоаналізаторами на необхідні компоненти. Контролер та ПЗ посту і ПЗ користувача ПК мають гнучку конфігурацію, яка дозволяє досить швидко адаптувати їх під необхідну комплектацію контрольно-вимірювального обладнання.

Висновки

Розроблений пост “АТМОСФЕРА-10” пройшов лабораторні випробування. Буде встановлений на Харківському масиві м. Києва для експлуатаційних випробувань і подальшої експлуатації в мережі спостереження за забрудненням атмосферного повітря, що потребує подальших досліджень. Другий пост “АТМОСФЕРА-10” заплановано встановити у житловому масиві Троещина м. Києва до кінця 2006 року. В даний час пости проходять експлуатаційні іспити і налагодження спеціалізованого ПЗ.

За рішенням управління екології при КМДА планується провести модернізацію існуючих в м. Києві старих ПСЗ. Вже у 2006 році в чотирьох ПЗС будуть встановлені автоматичні газоаналітичні комплекси, які будуть включені в АСЕМА м. Києва.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2000 р. // Міністерство екології та природних ресурсів України; Відп. за вип. О. Величко; Уклад. В. Романчук. – К., 2001. – 184 с.
2. Міхеєва І.Л., Орлов М.О., Трокоз. В.А. Система моніторингу довкілля м. Києва // Вісник НТУУ КПІ, с. Приладобудування. – 2004. – №28. – С.37– 46.
3. Міхеєва І.Л., Куринний В.К., Таякин В.Ю., Мазыра Л.Д. Автоматические газоанализаторы загрязнения атмосферного воздуха// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003. – №1. – С. 28–31.

Грабарь В.Я., Мазыра Л.Д., Михеева И.Л., Орлов М.А. Автоматический стационарный пост наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха "АТМОСФЕРА-10" Проанализированы состояние и проблемы экологического мониторинга окружающей среды Украины. Рассмотрены особенности построения и функционирования автоматизированного поста наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха.	Grabar V., Mazyra L, Mikheyeva I., Orlof M. Automatic stationary station of air quality monitoring "ATMOSPHERE-10". The state and problems of the ecological monitoring of environment of Ukraine is analyzed. The features of construction and functioning of the automated station of atmospheric air contamination monitoring are considered.
--	---

Надійшла до редакції
28 лютого 2006 року

УДК 543.271.3

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ГАЗОАНАЛІТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Безрук З.Д., Порєв В.А., Приміський В.П., Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

В статті розглянуті особливості інструментального вимірювання випаровувань паливно-мастильних матеріалів в автомобілях за допомогою високочутливого газоаналізатора. Розглянуто створення вимірювального комплексу з твердополімерним генератором водороду

Вступ. Постановка задачі

Різка збільшення кількості автомобілів призводить до зростаючого техногенного навантаження на довкілля відпрацьованими газами автотранспорту. Ступінь токсичності компонентів відпрацьованого пального не однаковий: одну з найбільш загроз становлять ароматичні вуглеводні — C_nH_m , котрі справляють різноманітний фізіологічний вплив на організм людини і характеризуються мінімальними значеннями гранично допустимих концентрацій в повітрі. Серед них найбільш небезпечними є бензол і бенз-а-пірен, які мають канцерогенну дію і перетворюються в організмі людини в стійкий високотоксичний фенол. Забруднення атмосфери автомобільним транспортом виникає не тільки відпрацьованими газами, а й за рахунок випаровування вуглеводнів з паливного баку, систем подачі пального — карбюратора й картерних газів. Негерметичність елементів паливної системи автомобіля також додає долю випаровувань. Середньорічний викид одного автомобіля з бензиновим двигуном 600-700 кг оксиду вуглецю (СО), 30-40 кг оксидів азоту (NO_x) і більше 200 кг вуглеводнів. В загальній кількості вуглеводнів доля картерних газів становить 25%, доля випаровувань з баку і карбюратора становить 20%, а 50% припадає на гази, що викидаються з вихлопної труби автомобіля. У бензині також є поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), найбільш небезпечним є бенз-а-пірен (БП) — ($C_{20}H_{12}$), який має дуже значні канцерогенні та мутагенні властивості.

Аналіз повітря в дев'яти великих містах України (Київ, Харків, Одеса, Львів, Дніпропетровськ, Донецьк, Запоріжжя, Маріуполь, Кривий Ріг) показав, що

склад вуглеводнів в повітрі (в приземному шарі) значно ближчий до складу бензину, ніж у відпрацьованих газів, що засвідчує значну долю випаровувань в забрудненні атмосфери вуглеводами. Як видно з табл. 1, токсичність БП суттєво перевищує токсичність інших компонентів відпрацьованих газів. Якщо прийняти токсичність оксиду вуглецю за одиницю, то відносна токсичність інших компонентів складає:

Таблиця 1 - Відносна токсичність компонентів відпрацьованих газів

Назва компоненту	Відносна токсичність
Оксид вуглецю	1
Оксид азоту	41
Діоксид азоту	75
Сажа	100
Бенз - а – пірен	2 • 106

Складові випаровувань пального діють на організм людини не тільки безпосередньо, а і через продукти харчування. Проведені дослідження показали, що саме випаровування бензину з систем автомобіля — одна із пекучих і актуальних проблем автомобілебудування. Тому контроль рівня випаровувань за допомогою чутливого автоматизованого вимірювального комплексу і є однією з актуальних проблем.

Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор

Метод вимірювання випаровувань вуглеводнів відомий як міжнародний норматив — Sealed Housing for Evaporative Determination (SHED). SHED - тест визначає кількість випаровувань в газоізолюючій камері [1, 2]. Ця камера складається з матеріалів, які не виділяють і не поглинають вуглеводнів, наприклад, з високоякісної сталі. Концентрація випаровувань вуглеводнів з автомобіля встановленого в камері, вимірюється за допомогою приладу, змонтованого в камері і побудованого на полум'яно-іонізаційному методі газового аналізу (FID- метод) [3]. За допомогою FID- методу можна створити прилад для виміру концентрацій випаровувань на рівні 0,00001 %.

Принцип виміру за цим методом полягає у тому, що аналізований газ направляється у водневе полум'я. При температурі 2000°C відбувається дисоціація молекул вуглеводнів на СН-групи, їх окислення з утворенням вільних електронів та позитивних іонів СНО*. Якщо до зони водневого горіння прикласти електричне поле, виникає іонізаційний струм, пропорційний кількості СН-груп в молекулі вуглеводню. Полум'яно-іонізаційний перетворювач має більш рівномірну чутливість до різних видів вуглеводних сполук, тому на цей час він прийнятий як стандартний для виміру сумарної кількості вуглеводнів. Вимірювальна кількість вуглеводнів за методом FID є у 1,8 - 2,5 разів більшою, ніж за інфрачервоним (NDIR) методом. До недоліків методу FID можна віднести відносну складність конструкції первинного перетворювача та необхідність створення трьох газових потоків: аналізованого газу, водневого палива і повітря для

горіння, а також коливання вихідного сигналу перетворювача при змінах вмісту кисню в газі, що аналізується [4].

Для реалізації полум'яно-іонізаційного метода був створений полум'яно-іонізаційний перетворювач (детектор) ПП, який виглядає як металева камера (рис.1), в якій розташовано пальник, закріплений на ізоляторі [5,6].

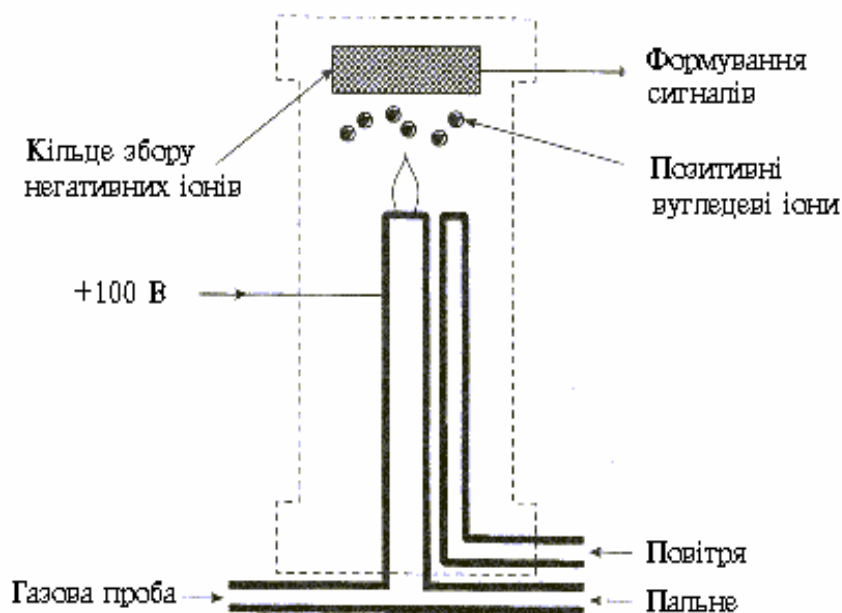
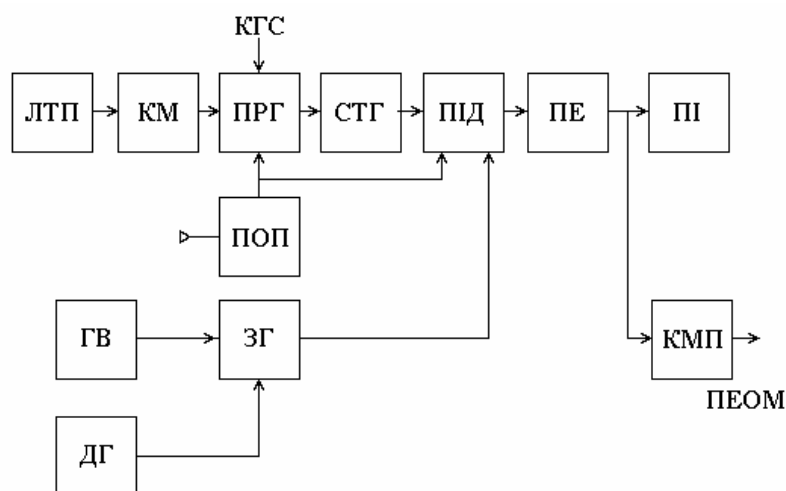


Рисунок 1 – Схема полум'яно-іонізаційного перетворювача

На рис.2 наведена структурна схема типового полум'яно-іонізаційного газоаналізатора [4, 5, 6].



ЛТП – лінія транспортування проби; КМ – компресор; ПРГ – пристрій розподілу газів; СТГ – стабілізатор тиску газів; ПІД – полум'яно-іонізаційний детектор; ПО – пристрій очищення повітря; ГВ – генератор водню; ДГ – джерело гелію; ПЕ – підсилювач; ПІ – пристрій індикації; КМП – контрольер мікропроцесора

Рисунок 2 – Структурна схема полум'яно – іонізаційного газоаналізатора

На пальник подається аналізована проба, паливним газом є водень. В камеру подається повітря для горіння. Для накопичення іонів і вимірювання іонізаційного струму над полум'ям пальника розташовано колектор, а до металевого сопла пальника подається напруга 50÷300 В. Для запалення водню є спіраль, яка нагрівається до червоного кольору електричним струмом. Полум'яно-іонізаційний детектор має високу чутливість і мале значення постійної часу 1^{-3} с.

Вольтамперна характеристика ППП дуже подібна до характеристики будь-якого показуючого приладу і робочою зоною є область насичення, це та область, де струм іонізації не залежить від напруги, а залежить тільки від концентрації органічних молекул. Чутливість ППП залежить від режиму газових потоків, які формують полум'я. Полум'я повинно бути стабільним, ламінарним, дифузійним. Важливим параметром є діаметр сопла пальника, який здебільше обирають в межах 0,3-0,8 мм. Експериментально встановлено (рис. 3), що найбільш оптимальний режим з урахуванням високої чутливості й стабільності роботи ППП, встановлюється при витратах водню від 20 до 30 $\text{см}^3/\text{хв}$ (іонізаційний струм знаходиться на площині вершини). Витрачання повітря для горіння треба вибирати більш, ніж $250 \text{ см}^3/\text{хв}$.

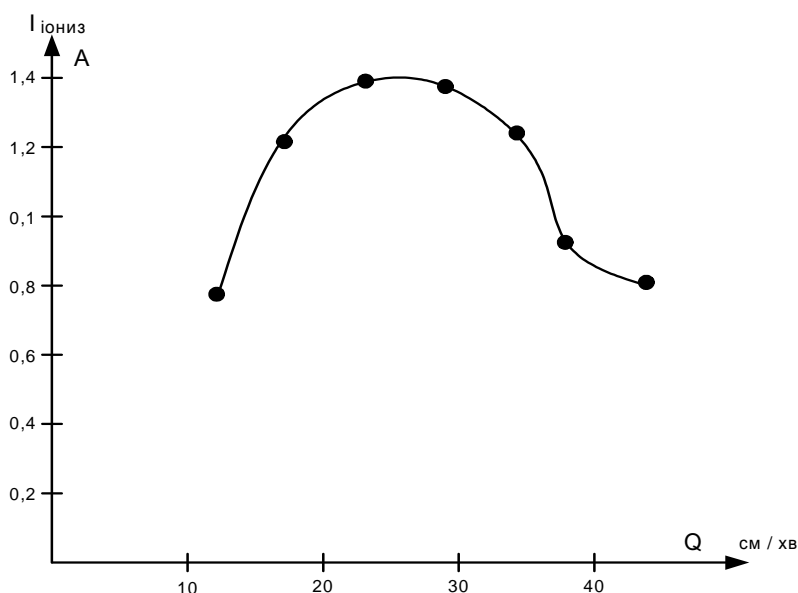


Рисунок 3 – Залежність струму ППП від витрат водню

Відомо, що для зменшення впливу нестабільної кількості концентрації кисню в аналізованому газі на характеристики ППП, треба як паливо використовувати суміш водню з гелієм (азотом) у співвідношенні 40 : 60. Однак, з погляду одержання приблизно однакової чутливості до всіх вуглеводнів, треба використовувати чистий водень. Одночасне задоволення обох суперечливих вимог в рамках ППП неможливо і зазвичай приймають рішення на користь живлення сумішшю водню з гелієм. Ця суперечлива задача вирішується таким чином: при живленні 100% воднем, а це дає рівномірну чутливість до всіх вуглеводнів і залежність від змінної кількості кисню в пробі. Похибку вихідного сигналу ППП, яка виникає, можливо зменшити до мінімуму шляхом введення узгоджувальних

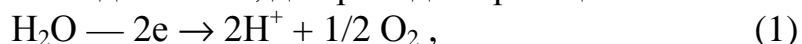
коефіцієнтів у алгоритм обробки й представлення вимірювальної інформації. Такий алгоритм роботи газоаналізатора дозволить підвищити метрологічні характеристики приладу, зменшити габарити й вагу [7, 8].

Твердополімерний генератор водню

Важливою особливістю роботи вимірювального комплексу є використання в якості джерела водню (H_2), вмонтованого в полум'яно-іонізаційний газоаналізатор генератора водню, який побудований на методі електролізу води з застосуванням твердополімерного електроліту.

Генератор водню, побудований на принципі електрохімічного розкладу води з застосуванням твердополімерного електроліту (іонообмінної полімерної мембрани) [9]. Електролізери з твердим полімерним електролітом відрізняються від традиційних воднево-лугових, низькими електровитратами (до 3,8 - 4,2 квт.год на 1 м^3 водню), високою частотою генерування водню до 99,999%. Особливістю електролізерів з ТПЕ є те, що в них між електродами (колекторами) як електроліти використовується мембрана товщиною всього 0,1-0,2 мм з перфорованого полімерного іонообмінного матеріалу, на сторонах якого нанесені високодисперсні електрокаталізатори (ЕК) катодного й анодного процесів. Електрокаталізатори контактують з тонкими колекторами струму, виготовленими з пористого титану. Така цільноупакована конструкція є одне ціле і має назву мембранно-електродного блока (МЕБ), який і є основним елементом електролізного вічка [10].

Як початковий реагент в електролізерах з ТПЕ використовується деіонізована вода, котра подається в анодну камеру електролізера. Далі вода проходить через пори колектора струму і попадає на ЕК, де проходить реакція:



де e – заряд електрона.

Іони водню H^+ переносяться через ТПЕ на катодний ЕК під впливом електричного поля міжелектродного потенціалу, але іони водню гідратовані та переміщуються до катоду разом з молекулою води у вигляді іону гідроксонія H_3OH^+ . На катодному ЕК протікає реакція



Утворений водень через пори колектора струму виходить в катодну камеру електролізера. Таким чином кисень утворюється на одній стороні мембрани, а водень — на другій. Схематично процес, який протікає на межі системи: мембрана-електрод, приведено на рис. 4.

У зв'язку з необхідністю вимірювання дуже малих концентрацій парів бензину FID-прилад повинен реагувати на концентрації C_nH_m на рівні 0,5 – 1,0 ppm (0,00005 – 0,0001) %. Тому постійне корегування нуля шкалами FID-приладу вкрай важливе. Для вирішення цього питання у FID приладі буде вмонтований генератор нуля шкали приладу.

Застосування генератора H_2 , в єдиній конструкції з FID-приладом, забезпечить автономність функціонування FID-приладу, підвищить його метрологічні характеристики і зменшить вартість експлуатації.

Висока механічна стійкість та низька газопроникність ТПЕ разом з каталіти-

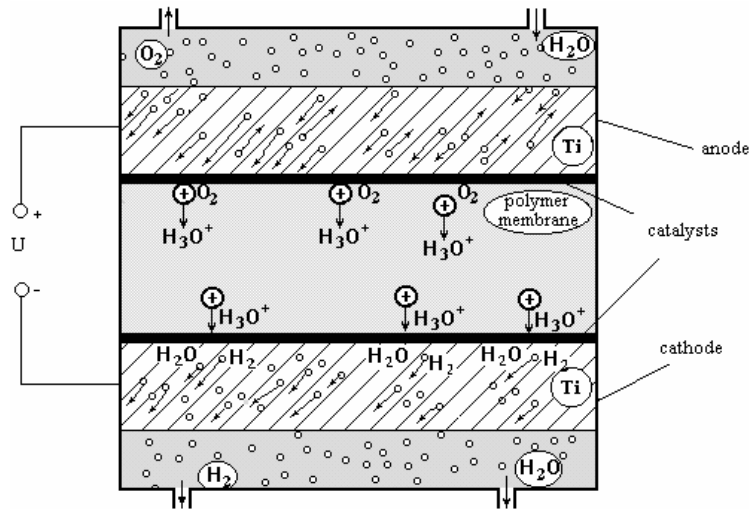


Рисунок 4 – Мембранно-електродний блок генерування водню

чними якостями електродів забезпечує повне подавлення взаємної дифузії отриманих газоподібних продуктів (H_2 і O_2), безпеку роботи електролізера. Слід нагадати, що в водно-лужових електролізерах розподільча діафрагма між катодною й анодною камерами виконана із матеріалу, який має високу газопроникність, що і є джерелом підвищеної вибухонебезпечності цих електролізерів. Загалом можна відмітити наступні основні переваги електролізерів ТПЕ:

- малу відстань між електродами 0,1-0,2 мм;
- низький опір електроліту $\approx 10-20$ Ом/см;
- високу енергетичну ефективність, що дозволяє вести процес при щільностях струму 1-2 А/см² (в водно-лужових - 0,2-0,3 А/см²);
- питомі затрати становлять 4,3-4,5 кВт год. на виробництво 1 м³ водню (в водно-лужових — 5-6 кВт год. на 1 м³ водню);
- можливість одержати водень на виході під тиском 0-4 кгс/м² безпосередньо, без додаткових енергетичних затрат;
- відносно малі габарити і маса в перерахуванні на об'єм генерованого H_2 .

В генераторі нуля оточуюче повітря з домішками парів бензину прокачується через металевий стакан наповнений паладієвим каталізатором. Стакан нагрівається до t^0 від 250 до 300⁰С (за рахунок електрообігріву). Пари бензину з повітря знищуються на каталізаторі та на виході отримуємо “чисте” нульове повітря без домішок парів вуглеводнів. Це “чисте” повітря використовується для періодичної перевірки нуля шкалами FID-приладу, що дає змогу знизити похибку вимірювань, підвищити точність виміру концентрації парів вуглеводнів, дозволить проводити виміри концентрацій парів на рівні 0,5 – 1,0 ppm.

Висновки

Запропонований вимірювальний комплекс, що об'єднує полум'яно-іонізаційний газоаналізатор, генератор водню, генератор чистого повітря (нульового газу) дозволяє створювати високочутливі вимірювальні комплекси для контролю концентрації випаровувань паливно-мастильних матеріалів в автомобілях на рівні 0,0001 – 0,0004%. Перспективним є дослідження та застосування

комплексу при виробництві та сертифікації автомобілів на відповідність міжнародним екологічним стандартам Євро-3 и Евро-4.

Література

1. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. – 376с.
2. Павлова Е.И. Экология транспорта. – М: Транспорт, 2000. – 248с.
3. Барыкина В.А., Ларченко В.И., Медяновский Ю.Н., Франко Р.Т. Современные приборы контроля атмосферных загрязнений углеводородами. – М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1977. – 60с.
4. Примиский В.Ф. Автоматический газоанализатор углеводородов 334 КПИ03 // Приборы и системы управления. – М.: 1991. - № 8. – С. 29–30.
5. А.с. СССР № 1075141. Пламенно-ионизационный газоанализатор. Примиский В.Ф., Рыжков В.Ф., Шаталов М.Г. Павловская Л.В. Оpubл. 1984, Бюл. № 7.
6. Патент России № 2146048. Пламенно-ионизационный газоанализатор. Примиский В.Ф. Оpubл. 2000, Бюл. № 4.
7. Патент України № 27682. Пристрій для калібровки полум'яно-іонізаційного газоаналізатора. Приміський В.П., Ровенський А.Я., Цукатова Л.А. Оpubл. 2000, Бюл. № 4.
8. Патент України № 49063. Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор для поста екологічного контролю автомобілів. Приміський В.П., Румбешта В.О. Оpubл.2002, Бюл. № 9.
9. Патент України 62544А. Автоматична система виробництва чистого водню. Шаталов М.Г., Косоновіч Ф.Ю., Приміський В.П., Цуканова Л.А. Оpubл.2003, Бюл. №12.
10. Патент України 62545А. Пристрій для одержання водню. Шаталов М.Г., Косоновіч Ф.Ю., Приміський В.П., Цуканова Л.А. Оpubл. 2003, Бюл. № 12.

Безрук З.Д., Порев В.А., Примиский В.П. **Измерительный газоаналитический комплекс топливно-смазочных материалов**

В статье рассмотрены особенности инструментального измерения испарений топливно-смазочных материалов в автомобилях с помощью высокочувствительного газоанализатора. Обосновано создание измерительного комплекса с твердополимерным генератором водорода

Bezruk Z.D., Porev V.A., Primisky V.P. **The measuring gas analyses complex of the oil and fuel materials**

In the article are described peculiarities of instrumental measuring of oil and fuel vapor in automobiles, with the help of high sensitive gas analyzer. Proved the creation of measuring complex with solid polymeric hydrogen generator

Надійшла до редакції
22 грудня 2005 року

УДК 543.27.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

Максименко Ю.Н., ЗАО «Всеукраинский НИИ аналитического приборостроения»
(ЗАО «Укрналит»), г. Киев, Украина

В работе приведен расчет абсолютной и относительной погрешностей измерения для реальной многокомпонентной газовой среды. Оценены допустимые значения изменения напряжений с фотоприемника многокомпонентного газоанализатора МАРС-5, при которых погрешность прибора не превышает определенного, заранее заданного, значения

Введение

Разработанные и выпускаемые сегодня на Украине многокомпонентные ин-

Абсолютное изменение концентрации газа C_1 при изменении напряжения U_1 на ΔU :

$$\Delta C_1 = \frac{1}{k_{11}} \cdot \ln \frac{U_1 + \Delta U}{U_1} \quad (9)$$

Как видно из (9) абсолютное изменение концентрации газа не зависит от U_0 . Относительное изменение концентрации газа C_1 , при изменении напряжения U_1 на ΔU , получается путем почленного деления уравнения (9) на (8):

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = \frac{\ln \frac{U_1 + \Delta U}{U_1}}{\ln \frac{\gamma_1 U_{10}}{U_1} - \frac{k_{16}}{k_{66}} \cdot \ln \frac{\gamma_6 U_{60}}{U_6}} \quad (10)$$

Оценка допустимых изменений напряжений с фотоприемника

Для одного из приборов МАРС-5 определитель системы имеет вид:

$$\det C = \begin{vmatrix} 4,67 \cdot 10^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,94 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 6,39 \cdot 10^{-1} & 0 & 0 & 0 & 2,45 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 4,74 \cdot 10^{-1} & 0 & 5,24 \cdot 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9,78 \cdot 10^{-2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,65 \cdot 10^{-2} & 6,65 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,04 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,89 \cdot 10^{-1} \end{vmatrix}$$

Строка напряжений U_0 для кюветы, заполненной азотом:

$$U_0 = (0,879; 0,489; 0,851; 1,062; 0,509; 0,520; 1,178).$$

Строка напряжений U_1 для кюветы, заполненной окисью азота с концентрацией $C_1 = 1,06 \text{ г/м}^3$:

$$U_1 = (0,686; 0,489; 0,851; 1,062; 0,509; 0,520; 1,178).$$

Оценим величину допустимого ΔU , при котором относительная погрешность измерения NO будет не более определенной величины, например 10 %, т.е. по формуле (10) имеем:

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = 0,1 \geq 3,662 \cdot \ln \frac{0,686 + \Delta U}{0,686}$$

Отсюда $\Delta U \leq 0,019 \text{ В}$.

Таким образом, изменение напряжения на канале NO на 19 мВ может привести к дополнительной погрешности всего $\pm 5 \%$. Однако такой вывод естественно локальный, т.е. принадлежит конкретному многокомпонентному газоанализатору МАРС-5 для определенного канала измерения (NO) и определенного участка измерения (2/3 измерительной шкалы).

Рассмотрим тот же прибор, но для другого газа, например SO_2 . Строка напряжений U_4 для кюветы, заполненной SO_2 с концентрацией $C_4 = 2,72 \text{ г/м}^3$ имеет вид:

$$U_4 = (0,879; 0,489; 0,851; 0,912; 0,509; 0,520; 1,178).$$

Частный определитель для SO_2 имеет следующий вид:

$$\det C_4 = \begin{vmatrix} 4,67 \cdot 10^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,94 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 6,39 \cdot 10^{-1} & 0 & 0 & 0 & 2,45 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 4,74 \cdot 10^{-1} & 0 & 5,24 \cdot 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,57 \cdot 10^{-2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,65 \cdot 10^{-2} & 6,65 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,04 \cdot 10^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,89 \cdot 10^{-1} \end{vmatrix}$$

Относительная погрешность измерения концентрации SO_2 при изменении напряжения U_4 на ΔU будет:

$$\frac{\Delta C_4}{C_4} = \frac{\ln \frac{U_4 + \Delta U}{U_4}}{\ln \frac{\gamma_4 U_{40}}{U_4}} \quad (11)$$

Подставив реальные вышеприведенные значения получаем в формуле (11) для SO_2 изменение значения напряжения с фотоприемника $\Delta U \leq 14$ мВ, при которой дополнительная погрешность измерения SO_2 от изменения напряжения с фотоприемника не превышает $\pm 5\%$.

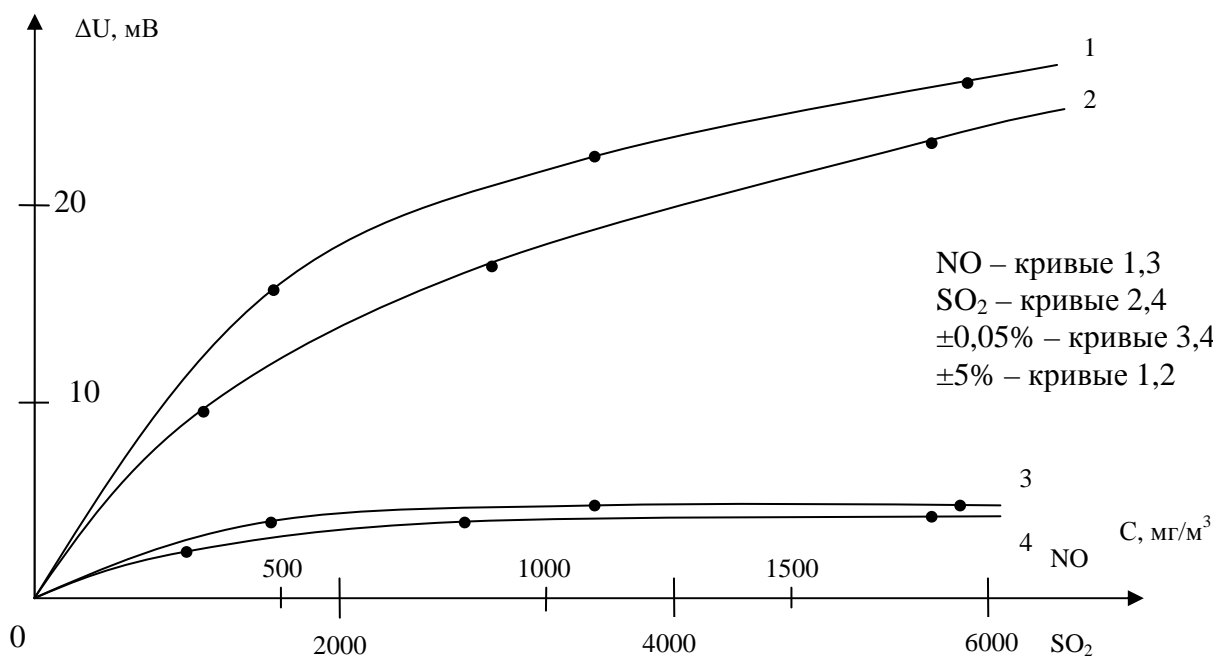


Рисунок 1 – Зависимости напряжений с фотоприемника

На рис.1 приведены зависимости допустимых изменений напряжений с фотоприемника ΔU от значения концентрации измеряемых газов C для различных газов и различных значений относительной погрешности.

Видно, что при измерении больших концентраций значение допустимого

изменения напряжения увеличивается. Нижнее значение допустимого напряжения зависит от типа газа и определяется его диагональным коэффициентом поглощения.

При малых концентрациях (< 20 % верхнего предела измерений) диапазон допустимых отклонений напряжений с фотоприемника резко уменьшается, что соответствует увеличению погрешности измерений при этих концентрациях. Можно оценить, что при концентрациях меньших 10 % верхнего предела измерений погрешность измерений за счет изменений напряжений с фотоприемника будет равна и даже больше $\pm 10\%$.

Выводы

Для многокомпонентных газоанализаторов 305ФА01 характерна нестабильность напряжения с анализируемых каналов не более 10-20 мВ, а для газоанализатора МАРС-5 эта величина составляет 5-10 мВ. Таким образом, нестабильности сигналов с любого анализируемого канала (можно привести примеры и для других каналов измерения) влияют на погрешность измерения многокомпонентных газоанализаторов не более чем на $\pm 1\%$ и даже менее для некоторых приборов, что является предметом дальнейших исследований.

Литература

1. Дашковский А.А., Колотуша С.С., Коробейник А.В., Максименко Ю.Н. Инфракрасные абсорбционные газоанализаторы. // Приборы, средства автоматизации и системы управления. ТС-4 "Аналитические приборы и приборы для научных исследований". - М.: Информприбор, 1990. - Вып.1. - 64 с.
2. Максименко Ю.Н. Многокомпонентные газоанализаторы серии "МАРС" для контроля вредных выбросов промышленных предприятий. // Геоэкологічні дослідження: стан і перспективи: Зб. наук. праць Міжнародної науково-практичної конференції, Івано-Франківськ, 23-25 травня 1995. – К. 1995. – Част. 1. - С.139-140.
3. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика. - М.: Гос. издат. физ.-мат. лит., 1961.

Максименко Ю.М. Дослідження похибки багатоконпонентних інфрачервоних газоаналізаторів

В роботі наведений розрахунок абсолютної та відносної похибок вимірювання для реального багатоконпонентного газового середовища. Проведена оцінка допустимих значень зміни напруги від фотоприймача багатоконпонентного газоаналізатора МАРС-5, при яких похибка приладу не перевищує певного, наперед заданого, значення.

Maksimenko Y.N. Errors research in multi-component infra-red gas analyzers

In the work is given a calculation of absolute and relative errors of measurements for real multicomponent gas environment. Estimated acceptable values of changing voltages from photo receiver of multicomponent gas analyzer MARS-5, by which the error of the device don't go over appropriate limit, which was given before.

*Надійшла до редакції
28 лютого 2006 року*

УДК 681.121

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

¹⁾Крук І.С., ²⁾Крук О.І., ¹⁾ГПУ “Львівгазвидобування”; ²⁾РВУ “Львівавтогаз”,
м. Львів, Україна

Отримані нові формули для визначення абсолютної вологості природного газу, розроблена методика розрахунку вологомісткості

Вступ. Постановка проблеми

Сьогодні споживача природного газу цікавить і кількість газу, і його якість, тобто енергетична цінність, яка характеризується нижчою теплотою згорання. На якість і кількість спожитого газу суттєво впливає вміст парів води та парів інших рідин, що містяться у природному газі.

Значення вологовмісту, що залежить від вмісту парів води у природному газі, можна оцінити і визначенням густини $\rho_{ПВ}$ парів води, і вимірюванням температури точки роси, котру легко перерахувати у відносну вологість [1-4]. Метою роботи є розроблення методики визначення абсолютної вологості парів води у природному газі.

Вологовміст f_V може виражатись мільйонною об'ємною часткою наявних у газі парів води в ppmV, або мільйонною масовою часткою f_m у ppm, тобто

$$f_V = \frac{P_{ПВ}}{P} 10^6; \quad (1)$$

$$f_m = \rho_{С ПВ} f_V, \quad (2)$$

де $P_{ПВ}$ – абсолютний парціальний тиск парів води, наявних у газі при вимірній температурі T газу; P – загальний абсолютний тиск газу; $\rho_{С ПВ}$ – густина парів води в стандартних умовах вимірювання при температурі T_C і тиску P_C .

Для абсолютного тиску $P_C = 101,325$ кПа значення густини $\rho_{С ПВ}$ парів води буде дорівнювати (за даними додатку 21 РД 50-213-80): при $T_C = 273,15$ К, $\rho_{СПВ} = 0,8041$ кг/м³; при $T_C = 293,15$ К, $\rho_{СПВ} = 0,7496$ кг/м³.

Постановка задачі

При визначенні абсолютної вологості парів води у природному газі використовуємо той факт, що вологий газ розглядається як механічна суміш сухого газу та наявних у газі парів води, для якої загальний абсолютний тиск газу дорівнюватиме

$$P = P_{СГ} + P_{ПВ}, \quad (3)$$

де $P_{СГ}$ – абсолютний тиск сухого природного газу.

Якщо вміст парів води у газі є незначним і відповідає ненасиченому стану парів води у газі, то можемо прийняти, що пари води та сухий газ підпорядковані законам ідеального газу, а відповідно записати такі вирази

$$P_{СГ} = \rho_{СГ} R_{СГ} T; \quad (4)$$

$$P_{ПВ} = \rho_{ПВ} R_{ПВ} T, \quad (5)$$

де крім відомих: $R_{СГ}$ і $R_{ПВ}$ – газові сталі відповідно сухого газу та парів води.

Визначення густини парів води у природному газі

Для визначення густини парів води у природному газі використаємо рівняння (4) і (5), а також дані з [1]. Після нескладних перетворень і з урахуванням густини сухого газу ρ_{CG} , яка визначається за виразом [1]

$$\rho_{CG} = \rho_C \frac{T_C}{T} \frac{P_{CG}}{P_C} \frac{1}{K_{CG}}, \quad (6)$$

дістанемо загальну формулу для розрахунку густини наявних у газі парів води

$$\rho_{ПВ} = \rho_C \frac{T_C}{T} \frac{P - P_{CG}}{P_C} \frac{R_{CG}}{R_{ПВ}} \frac{1}{K_{CG}}; \quad (7)$$

або

$$\rho_{ПВ} = \rho_C \frac{T_C}{T} \frac{R_{CG}}{R_{ПВ}} \frac{1}{K_{CG}} \left(\frac{P}{P_C} - \frac{P_{CG}}{P_C} \right), \quad (8)$$

де ρ_C – густина сухого газу в стандартних умовах вимірювання; K_{CG} – коефіцієнт стискуваності сухого газу.

При сумісному розв'язку формул (5) і (6), дістанемо

$$\rho_{ПВ} = \left(\frac{P}{T R_{ПВ}} - \frac{P_C}{R_{ПВ}} \frac{\rho_{CG}}{\rho_C} \frac{K_{CG}}{T_C} \right). \quad (9)$$

На підставі теоретичних досліджень були отримані нові формули (7) – (9) для визначення вологовмісту в газі через розрахунок густини наявних у газі парів води.

Далі розглянемо методику визначення вологості природного газу.

Коефіцієнт стискуваності сухого газу K_{CG} визначають за відомими методиками, які представлені в [1- 4]. Проте треба пам'ятати, що вихідними даними для розрахунку K_{CG} є: повний або спрощений в залежності від прийнятої методики розрахунку K_{CG} компонентний склад сухого природного газу, який визначають хроматографічним способом, виражений мольними або об'ємними долями в стандартних умовах вимірювання, густина ρ_C сухого газу в стандартних умовах вимірювання, значення котрої визначають пікнометричним методом або розрахунковим при відомому компонентному складі сухого природного газу, абсолютна температура газу T , що вимірюється термометром опору і абсолютний тиск сухого газу P_{CG} , який розраховують за виміряним абсолютним тиском газу P і тиском парів води згідно з виразом (3).

Густину сухого газу ρ_{CG} визначають за виразом (6) із врахуванням таких параметрів як: абсолютного тиску сухої частини вологого газу P_{CG} , виміряної температури T газу, розрахованого значення коефіцієнта K_{CG} та стандартних значень величин абсолютного тиску P_C і температури T_C . Газові сталі сухого газу та наявних у газі парів води відповідно R_{CG} і $R_{ПВ}$ визначають за таблицями [1, 2].

Газову сталу R_{CG} сухого природного газу визначають за виразами

$$R_{CG} = \sum_{i=1}^n X_i R_i \quad (10)$$

або

$$R_{CF} = \frac{R_{\mu}}{\sum_{i=1}^n X_i M_i}, \quad (11)$$

де R_i – газові сталі i -того компоненту сухого природного газу; R_{μ} – універсальна газова стала, значення якої дорівнює 8314,51 Дж/кмоль·К; M_i – молярні маси й того компоненту сухого природного газу, значення котрих наведені в [2]; X_i – мольні долі i -го компоненту сухого природного газу.

Для оцінки точності при визначенні газової сталої R_{CF} сухого природного газу згідно з (10) і (11) використаємо формулу відносної похибки у вигляді

$$\delta_{R_{CF}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i R_i - \frac{R_{\mu}}{\sum_{i=1}^n X_i M_i}}{\frac{R_{\mu}}{\sum_{i=1}^n X_i M_i}} 100\%. \quad (12)$$

Аналіз виразу (12) показав, що існує різниця між розрахованими значеннями R_{CF} згідно з (10) і (11), яка складає 0,3 %, причому більші значення газової сталої R_{CF} сухого природного газу дістаємо при використанні формули (10).

При визначення газових сталих i -го компоненту сухого природного газу необхідно використовувати таку формулу

$$R_i = \frac{R_{\mu}}{M_i}. \quad (13)$$

Газова стала наявних у газі парів води $R_{ПВ}$, розрахована згідно з (13), дорівнюватиме 461,52 Дж/кмоль·К.

Значення абсолютного парціального тиску $P_{ПВ}$ наявних у газі парів води при виміряній температурі T газу можна визначити, прийнявши у першому наближенні стан парів води у газі як насичений. Тоді наближене значення $P_{ПВ}$ можна розрахувати за аналітичними залежностями [5] при відносній вологості газу, значення якої дорівнює $\varphi = 1$, а $P_{ПВ} = P_{НПВ}$.

За формулами (7) – (9) розраховуємо значення густини $\rho_{ПВ}$.

Для виміряної температури газу T визначаємо густину насичених парів води в газі $\rho_{НПВ}$, а відтак розраховуємо відносну вологість φ згідно з виразом

$$\varphi = \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_{НПВ}} \quad (14)$$

Перспективою подальших досліджень є розроблення алгоритмів і програм розрахунку вмісту парів води у газі, які можуть бути впроваджені в нормативний документ із вимірювання витрати та визначення кількості природного газу, що сьогодні розробляється на базі ISO 5167 - 2003 замість діючих Правил РД 50-213-80 [1].

Висновки

1. Отримано нові формули (7) – (9) для визначення вмісту парів води через розрахунок густини наявних у природному газі парів води.
2. Розроблено методику розрахунку абсолютної вологості природного газу, яка є перспективним напрямом досліджень у цій галузі.
3. При визначенні газової сталої доцільно використовувати вираз (11) замість (10), позаяк точнішим є розрахунок молярної маси природного газу за його компонентним складом, ніж визначати окремі газові сталі, а потім їх підсумувати, використовуючи компонентний склад газу.

Література

1. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. - М.: Изд-во стандартов, 1982. – 319 с.
2. ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. Издание официальное. Межгосудар. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. -Минск, 1996. - 52 с.
3. ГОСТ 30319.1-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки. Издание официальное. Межгосудар. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. -Минск, 1996. - 15 с.
4. ISO 6976. International Standard. Natural gas calculation of calorific value, density and relative density, 1983.
5. Лесовой Л. В., Крук И. С. Аналитические зависимости для определения давления и плотности насыщенного водяного пара. Вестник Львов. политехн. ин-та, № 184. Теплоэнергетические и электромеханические системы. - Львов: Высшая школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1984. - С. 75-76.

Крук И.С., Крук О.С. Методика визначення вологості природного газу Получены новые формулы для определения абсолютной влажности природного газа, разработана методика расчета влагосодержания	Kruk I., Kruk O. Methodic of determination the moisture of natural gas News equations for determination the absolute moisture of natural gas are obtained.
---	--

Надійшла до редакції
28 лютого 2006 року