

## МЕТОДИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗОПОДІБНИХ

### Аналіз складу газів

Можна виділити такі основні напрями газового аналізу[3,4]:

- визначення теплоти згорання газоподібного палива за відомим складом горючих компонентів газової суміші;

- контроль якості згорання палива за складом продуктів згорання. При повному згоранні палива в продуктах згорання на виході з теплових агрегатів повинні бути тільки негорючі компоненти, такі, як  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  і  $\text{O}_2$ . Для правильного ведення процесу горіння палива необхідно підтримувати певне співвідношення між кількостями палива і повітря, які подаються у топковий простір агрегату. При недостатній кількості повітря в продуктах згорання з'являються такі горючі компоненти, як  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  та інші. Надлишкова кількість повітря забезпечує повне згорання палива, але вимагає додаткових витрат на нагрівання надлишкового об'єму повітря, що є баластом, який виносить із агрегату невикористане фізичне тепло. Необхідне співвідношення повітря-паливо може бути встановлене на основі газового аналізу;

- контроль складу технологічних газів, до яких відносять такі гази, як кисень, азот, аргон, водень, ендогаз, екзогаз та інші. Вони застосовуються для прискорення процесу виплавляння сталі і чавуну (кисень), при рафінуванні рідкого металу в робочому просторі агрегату або у ковші (аргон, азот), для захисту сталевих виробів від окислювання при нагріванні (ендогаз, аргон) і для інших технологічних процесів. Технологічні гази повинні мати певний склад (або чистоту), що визначає якість технологічних операцій;

- контроль складу повітряної атмосфери для визначення концентрації шкідливих для навколишнього середовища газоподібних речовин, таких, як оксиди ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_2$  і ін.), феноли, бензол, аміак, горючі вибухонебезпечні гази ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  та ін.).

Прилади, призначені для кількісного визначення складу газу, називаються газоаналізаторами. Залежно від призначення вони поділяються на переносні і автоматичні (стаціонарні).

Переносні газоаналізатори застосовуються в лабораторних умовах при виконанні дослідницьких робіт, при проведенні енергетичного аудиту технологічних систем, при випробуваннях і налагодженні різних промислових теплотехнічних установок (плавильних, нагрівальних і термічних печей, парових і водогрійних котлів, сушильних установок та ін.).

Автоматичні (стаціонарні) газоаналізатори призначені для безперервного автоматичного вимірювання вмісту одного або декількох компонентів у газовій суміші. На підставі безперервного контролю газового середовища в робочому просторі промислового агрегату може здійснюватися автоматизоване керування технологічним процесом.

Газоаналізатори залежно від способу визначення концентрації окремих компонентів газової суміші поділяють на такі:

- хімічні (хімічні властивості газових молекул);
- теплові (фізичні властивості газу);

- магнітні (магнітні властивості газу);
- хроматографічні (адсорбційні властивості газових молекул);
- оптичні (здатність поглинати електромагнітні хвилі);
- спектрометричні (спектральні властивості газу);
- ємнісні (діелектрична проникність середовища);
- випарні (ефект випаровування, кипіння і конденсації рідини);
- іонізаційні (іонізаційні властивості аналізованої речовини).

Газоаналізатори звичайно градууються у відсотках за об'ємом. Такий спосіб градування шкали газоаналізаторів зручний, тому що процентна складова окремих компонентів у загальному об'ємі залишається незмінною при змінюванні тиску і температури газової суміші.

**Установлення стаціонарних газоаналізаторів.** При установленні газоаналізатора велике значення має правильний вибір місця для відбору проби димових газів, що повинна найбільш повно характеризувати середній їх склад.

Відбір проби виконується газовідбірним пристроєм (рис.3.30), що складається зі сталеві газовідбірної трубки 1 діаметром 15-20 мм, привареної під кутом 20-25° (для стоку конденсату) до фланця 2, щільно приєднаному із прокладкою до патрубку газоходу. На верхньому кінці трубки за допомогою фланців 3 і 4 закріплений пористий керамічний фільтр 5 разом зі сталевим захисним козирком 6. Протилежний кінець трубки приєднується накидною гайкою до лінії, що підводить газ до газоаналізатора.

Керамічний фільтр служить для первинного очищення газу, який відбирається для аналізу, від механічних домішок (золи і сажі), склад яких може досягати 20 г/м<sup>3</sup>. Від швидкого забруднення фільтр охороняє захисний козирок, установлений назустріч потоку газу [3,4].

Кінцівку газоовідбірної трубки з керамічним фільтром розміщують по можливості в середині потоку в місцях, де немає завихрень і застійних зон. Неприпустимо поміщати трубку поблизу місць можливого підсмоктування повітря (люків, заслінок, нещільностей обмуровування).

Газовідбірна трубка встановлюється вдалині від місцевих збурювань потоку, які утворюють різні опори (поворотом газоходу, заслінкою, шиберами і т.п.). Найбільш сприятливим є її установлення на прямих вертикальних ділянках газоходу зі спадним потоком, а також у вузьких місцях тракту, де відбувається краще перемішування газу. При установленні газовідбірної трубки на горизонтальних ділянках кінець її розміщують ближче до верхньої частини газоходу, де швидкість руху нагрітого газу вища.

Температура газу в місці відбору проби повинна бути в межах 200-600°C. При температурі нижче 200 °C можливе забруднення поверхні керамічного фільтра незгорілими продуктами, що конденсуються на ній (смолами). При температурі вище 600°C виникає небезпека руйнування газовідбірної трубки і відновлення CO<sub>2</sub> у CO і O<sub>2</sub>.

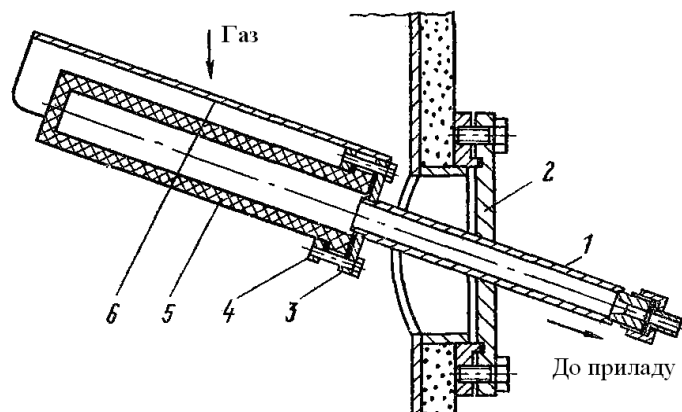


Рисунок 3.30 – Схема установлення газовідбірного пристрою

Для зменшення запізнювання показань первинний перетворювач газоаналізатора необхідно встановлювати якнайбільше ближче до місця відбору проби. Температура газу при надходженні в прилад не повинна перевищувати 35°C.

Газоаналізатор встановлюється в місцях, що не зазнають вібрації, і розміщений удалині від нагрітих поверхонь. Температура навколишнього повітря, що допускається, 5-50°C і відносна вологість до 95%. Періодично газовідбірна трубка з керамічним фільтром продувається стисненим повітрям тиском 0,05 МПа.

### 3.6.1 Хімічні газоаналізатори

У хімічних газоаналізаторах визначення концентрації окремих компонентів газової суміші виконується методом поглинання цих компонентів хімічними реагентами. За зменшенням початкового мірного об'єму газу визначають склад даного компонента в газовій суміші.

Для багатьох компонентів газу розроблені селективні хімічні реагенти, які поглинають (реагують) тільки аналізований компонент. Непоглинений залишок аналізованого газу надходить у газовимірювальний пристрій, де визначається зменшення об'єму, що відповідає поглиненому компоненту. Цей метод застосовується як у переносних газоаналізаторах ручної дії, так званих приладах Орса, так і в автоматичних.

Найбільшого поширення дістали переносні газоаналізатори для визначення якості спалювання палива під час пусконаладжувальних робіт теплових агрегатів, які використовують тверде, рідке або газоподібне паливо. При цьому аналізуються три компоненти: CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> і CO. Такі газоаналізатори застосовуються також для контролю і градування автоматичних газоаналізаторів на ці самі компоненти [3,4].

Схема пристрою газоаналізатора для аналізу одного компонента з газової суміші наведена на рис.3.31.

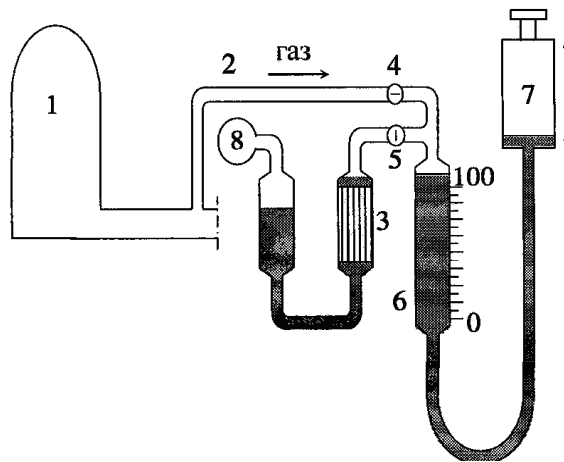


Рисунок 3.31 – Схема хімічного газоаналізатора

Аналізований газ із об'єкта 1 надходить у газоаналізатор по газовому тракту 2 при відкритому вентилі 4 і закритому вентилі 5. Мірна кількість газу (50 або 100 мл) надходить у вимірювальну бюретку 6 за рахунок розрядження, створюваного опусканням зрівняльної посудини 6. Дистильована вода з посудини 6 перетікає в посудину 7, а аналізований газ цілком заповнює вимірювальну бюретку 6, після чого кран 4 закривається, а кран 5 відкривається. Піднімаючи зрівняльну посудину 7, витісняють аналізований об'єм газу в посудину поглинання 3, заповнену селективним хімічним реактивом, що поглинає тільки один компонент із аналізованої газової суміші. Для збільшення поверхні контакту між аналізованим газом і реактивом поглинальна посудина заповнена скляними трубками. Якщо прокачати аналізований газ кілька разів через реактив, можна домогтися повного поглинання даного компонента. Залишковий об'єм газу повертають у вимірювальну бюретку, що має градування в об'ємних відсотках від 0 до 100%. Рівень рідини у вимірювальній бюретці покаже на склад аналізованого компонента в газовій суміші. За необхідності визначити концентрацію інших компонентів, які знаходяться в газовій суміші, використовують кілька поглинальних посудин, заповнених відповідними реактивами, які вибірково поглинають аналізовані компоненти.

Недоліками методу є: неможливість вимірювання малих концентрацій, тому що ціна поділки вимірювальної бюретки становить 0,1 мл; періодичність дії становить 20-30 аналізів на годину; необхідність частої заміни реактивів; неможливість використання в системах автоматичного регулювання.

### 3.6.2 Теплові газоаналізатори

У теплових газоаналізаторах для визначення концентрації певного компонента в газовій суміші використовуються його теплові властивості, такі, як теплопровідність (*термокондуктометричні*), тепловий ефект реакції каталітичного окислювання (*термохімічні*) та ін. [3,4].

**Термокондуктометричні газоаналізатори** дістали найбільшого поширення, робота їх заснована на різкій розбіжності коефіцієнта теплопровідності одного з компонентів у порівнянні з іншими компонентами

аналізованої газової суміші. Так, наприклад, теплопровідність таких газів, як  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CH_4$ ,  $He$ ,  $Ar$  значно відрізняється від теплопровідності повітря, і якщо в повітряному середовищі є один із цих компонентів, то зміна величини теплопровідності газової суміші буде визначатися зміною складу даного аналізованого компонента.

Аналіз багатокомпонентної газової суміші за її теплопровідністю можна робити за умови, що всі компоненти газової суміші, крім тих, що визначаються, мають приблизно однакову теплопровідність. Якщо в газовій суміші є компоненти, які можуть впливати на теплопровідність суміші і концентрацію яких визначати не потрібно, то ці компоненти з газової суміші повинні бути вилучені перед початком аналізу. Так, наприклад, при вимірюванні концентрації  $CO_2$  у димових газах необхідно видалити такі компоненти, як  $H_2$  і  $SO_2$ , які знаходяться в невеликій кількості, але впливають на загальну теплопровідність.

У теплових газоаналізаторах для визначення концентрації окремих компонентів використовуються мостові схеми, у яких плечима мосту є платинові спіралі, нагріті до температури  $100\text{ }^\circ\text{C}$  і поміщені в газові камери. Газоаналізатор складається із чотирьох газових камер, дві з яких  $R_1$  і  $R_3$  є робочими, через які безупинно прокачується аналізований газ (рис.3.32). Дві інші герметичні газові камери  $R_4$  і  $R_2$  є порівняльними, у яких перебуває газ постійного складу. Так, наприклад, у газоаналізаторах, призначених для визначення  $CO_2$  у газовій суміші, порівняльним газом є повітря.

При прокачуванні через протилежні газові камери  $R_1$  і  $R_3$  аналізованого газу, який містить, наприклад,  $CO_2$  і концентрацію якого треба визначити, змінюється теплопровідність газового простору, розміщеного між платиновим проводом і стінкою камери. Зі збільшенням концентрації  $CO_2$  у газовій суміші зменшується теплопровідність газу, погіршується теплообмін, що приводить до збільшення температури платинового проводу в камерах  $R_1$  і  $R_3$ . Виниклий розбаланс мосту за величиною напруги між точками «а» і «б» пропорційний величині певної складової в аналізованому газі.

Границі основної похибки, яка допускається, термокондуктометричних газоаналізаторів для визначення  $CO_2$  у газовій суміші не перевищують 2-2,5% діапазону вимірювання. Зміна показань газоаналізаторів при змінюванні температури навколишнього повітря від  $20$  до  $50^\circ\text{C}$  не перевищує  $+2-2,5\%$

Термокондуктометричний принцип вимірювання (вимірювання за теплопровідністю) застосовується для визначення (крім  $CO_2$ ) таких компонентів, як  $H_2$ ,  $SO_2$ ,  $Ar$ ,  $O_2$ ,  $NH_3$  у топкових газах і в газах при виробництві аміаку, хлору, аргону, сірчаної кислоти, а також для визначення концентрації водню в системі водневого охолодження турбогенераторів на теплових електростанціях. Недоліками таких типів газоаналізаторів є великий час установлення показань (інерційність), що досягає 120 секунд, і підвищена похибка (до 5%).

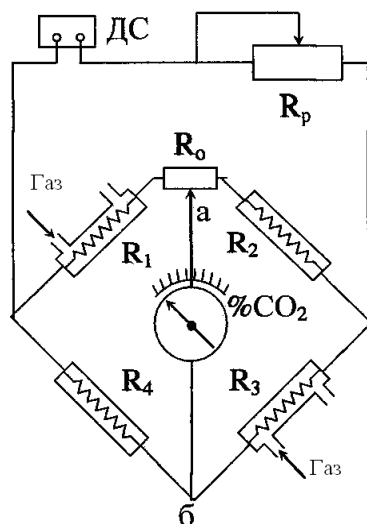


Рисунок 3.32 – Схема термокондуктометричного газоаналізатора

**Термохімічний аналізатор** працює за принципом використання теплового ефекту хімічної реакції, що має перебіг між обумовленим компонентом аналізованої суміші і допоміжним реагентом. Сигналом виміральної інформації в термохімічних аналізаторах є температура, значення якої залежить від теплового ефекту хімічної реакції. Термохімічний принцип аналізу використовується для створення аналізаторів газів і рідин. Для створення термохімічних газоаналізаторів використовуються хімічні реакції окислювання на каталітично активній поверхні, у полум'ї та у газових потоках. Для термохімічних газоаналізаторів рідин застосовуються реакції розбавлення (розведення), нейтралізації і змішування, а також реакції з використанням специфічних реагентів [3,4].

На рис.3.33 подана схема термохімічного газоаналізатора, у роботі якого використовується тепловий ефект реакції окислювання горючих газів на каталітично активній поверхні. У термохімічному аналізаторі (рис.3.33) аналізований газ повітряним ежектором (струминним насосом) 3 прокачується через кран 10 і камеру 1. У камері розміщені вибухозапобіжні сітки 2 і 7, вимірвальний 4 і порівняльний 5 чутливі елементи. Останній закритий ковпачком 6 і служить для усунення впливу зміни навколишньої температури на сигнал газоаналізатора. Як чутливі елементи в цих газоаналізаторах використовуються платинові проводки з активованою поверхнею.

Чутливі елементи в термохімічних газоаналізаторах нагріваються струмом електричного мосту 8 до температури 200-500°C. При згоранні на поверхні вимірального чутливого елемента горючого компонента, який потрібно визначити, температура елемента збільшується, що викликає збільшення електричного опору платинового проводка, а це, у свою чергу, спричиняє розбаланс електричного мосту, вимірюваний вторинним приладом 9.

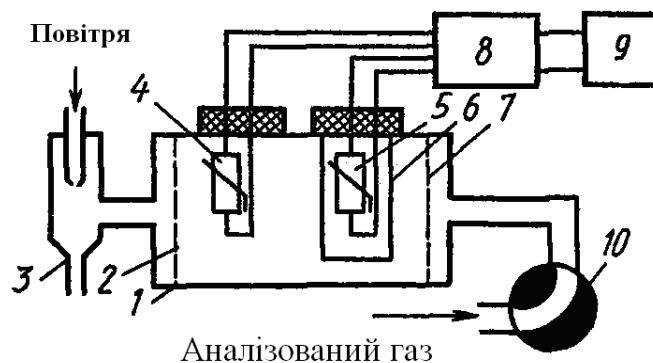


Рисунок 3.33 – Схема термохімічного газоаналізатора

Газоаналізатор, показаний на рис.8.3, у цей час є одним з найпоширеніших у промисловості засобів аналітичної техніки з тієї причини, що він використовується як сигналізатор вибухонебезпечних концентрацій газів і пари у повітрі. Значення, які сигналізуються, 5-50% від нижньої межі вибуху для горючих газів, пари і 5-20% – для сумішей повітря-водень, час реакції 30 С.

### 3.6.3 Магнітні та дифузні газоаналізатори

В основу роботи магнітних газоаналізаторів покладені різні явища, пов'язані із взаємодією обумовленого компонента аналізованої (у загальному випадку багатокомпонентної) газової суміші з магнітним полем.

Гази, які втягуються в магнітне поле, називають **парамагнітними**, а ті гази, які виштовхуються з магнітного поля – **діамагнітними**. Кількісно магнітні властивості газів визначаються величиною, так званою магнітною сприйнятливістю. Магнітна сприйнятливість парамагнітних газів є позитивною величиною, діамагнітних газів – негативною. Вона має властивість адитивності. Переважна більшість газів і пари є діамагнітними.

Магнітні газоаналізатори використовуються для визначення тільки концентрації кисню в газовій суміші, тому що кисень на відміну від інших газів має сильні магнітні властивості, який є **парамагнітною речовиною**. Якщо відносну магнітну сприйнятливість кисню взяти за одиницю, то ця величина для всіх інших газів на два порядки менша, ніж у кисні. Тобто всі гази, крім кисню, є практично немагнітними речовинами. Таким чином, магнітні властивості газової суміші залежать від концентрації кисню в газі, а такі гази, як  $NO$  і  $NO_2$ , які проявляють магнітні властивості, практично не впливають на магнетизм газової суміші через їх малі концентрації.

Існує кілька методів вимірювання магнітної сприйнятливості газової суміші, що містить кисень. Найбільшого поширення дістав метод, що називається **терромагнітною конвекцією**. У магнітному газоаналізаторі аналізований газ під дією магнітного поля втягується в спеціальну вимірювальну камеру, у якій знаходиться чутливий елемент, що нагрівається електричним струмом. Газ, зіштовхуючись із чутливим елементом, нагрівається, і кисень втрачає свої магнітні властивості. Внаслідок цього

нагрітий газ виштовхується з камери, розміщеної в магнітному полі, холодним газом, і таким чином виникає безперервний потік газу через вимірювальну камеру.

Принцип дії **дифузійних газоаналізаторів** базується на процесі переносу речовини (компонента суміші) під дією градієнта його концентрації. Цей перенос може відбуватися при зіткненні речовин одна з одною (дифузія) або крізь тверду речовину (трансфузія, або проникнення). Процес переносу речовини пов'язаний з хаотичним тепловим рухом молекул, що відбувається у напрямку зменшення концентрації речовини і якій веде до його рівномірного розподілу за займаним об'ємом. Проникнення через тверде тіло визначається наявністю розривів у їх кристалічних решітках, нерегулярних щілин і пор у макроструктурі твердої речовини або розчиненням газів і пари у твердій речовині. Найбільш швидко процес переносу речовини під дією градієнта концентрації відбувається в газах, що багато в чому визначає використання цього явища для автоматичного контролю концентрації газів.

Інтенсивність взаємного проникнення двох дотичних газів визначається коефіцієнтом їх взаємної дифузії, що залежить від молекулярних мас цих газів і полярності їх молекул. Коефіцієнт взаємної дифузії збільшується з підвищенням температури і зменшується з підвищенням тиску.

При взаємній дифузії двох газових об'ємів незалежна дифузія компонентів багатоконпонентної суміші спостерігається тільки при її попередньому 3 – 4-кратному розведенні.

Дифузійні газоаналізатори характеризуються на порядок більшою селективністю при вимірюванні концентрації необхідного компонента, ніж термохімічні, за рахунок істотно меншого впливу на їх показання змін концентрацій невизначуваних компонентів багатоконпонентних газових сумішей.

#### **3.6.4 Сорбційні, випарні і конденсаційні газоаналізатори**

В основу роботи сорбційних газоаналізаторів покладені різні ефекти, що супроводжують процес сорбції (сорбція – поглинання твердим тілом або рідиною речовини з навколишнього середовища). Це явище давно використовується в аналітичному контролі (наприклад волосяні вимірювачі вологи повітря, у яких сигнал вимірювальної інформації формується за рахунок зміни довжини волосся зі зміною вологості повітря). У сорбційних газоаналізаторах використовуються *механічні, теплові, оптичні та електричні ефекти*, що супроводжують процес адсорбції газів і пари.

**Дилатометричний газоаналізатор** призначений для вимірювання концентрації водню. У камері, через яку прокачується аналізований газ, розміщена тонкостінна трубка, виготовлена з паладію. Водень, який знаходиться в аналізованому газі, розчиняється в паладії. При цьому довжина трубки за рахунок ефекту набрякання зі зростанням концентрації водню збільшується, тому що верхній кінець трубки, закріплений на корпусі, то її нижній кінець вільно переміщається. За допомогою ємнісного, індуктивного



або пневматичного перетворювача переміщень вимірюються переміщення пластини 3, закріпленої на нижньому кінці трубки. Ці переміщення пов'язані з концентрацією водню в багатокомпонентних газових сумішах.

Відомі сорбційні дилатометричні газоаналізатори призначені для вимірювання концентрації пропану, бутану, діоксиду вуглецю або інших технічних газів, у яких замість паладієвої трубки використовується стрижень, виготовлений з адсорбенту (активоване вугілля, алюмогель, силікагель).

Інтенсивно розвивається напрямок автоматичного газового аналізу. Це такі методи і засоби, що базуються на використанні електричних явищ, які супроводжують процес сорбції. В основу роботи *сорбційних електрокондуктометричних* (кондуктометричних) газоаналізаторів покладено вимірювання провідності адсорбентів, виготовлених у вигляді гранул, пластин або плівок. Провідність істотно змінюється при сорбції газів або пари, як правило, матеріали, з яких виготовляють зазначені елементи, є напівпровідниками. При проходженні через камеру газоаналізатора аналізованого газу обраний компонент поглинається плівкою сорбенту і змінює її електричний опір.

На зазначеному принципі працюють **хроматографічні газоаналізатори**. Газова хроматографія є досить перспективним фізико-хімічним методом поділу газових сумішей на складові їх компонентів.

Хроматографічні газоаналізатори, побудовані на цьому принципі, служать для визначення складу у димових газах горючих компонентів ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  та ін.), що характеризують хімічну неповноту палива, також і *негорючих компонентів* ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  та ін.). Дія цих приладів базується на адсорбційному способі поділу проби газової суміші при пропущенні її разом з потоком допоміжного газу (газу-носія) через шар пористої речовини (адсорбенту) і подальшому почерговому вимірюванні вмісту кожного компонента, що виділився, електричним методом.

За принципом дії **випарні і конденсаційні** газоаналізатори відносять до теплових засобів вимірювання, тому що в їх роботі використовуються теплові ефекти випаровування, кипіння і конденсації рідини.

Одним з найдавніших і поширених газоаналізаторів є *психрометричний*, або *психрометр*. Дія його базується на вимірюванні змін температури рідини при її випарюванні в аналізований газ, який містить компонент пари цієї рідини. Психрометри можуть використовуватися для вимірювання концентрації пари будь-яких рідин у газах, однак найбільш широко вони застосовуються для вимірювання концентрації пари води, тобто як гігрометри.

Концентрацію пари рідини в газах прийнято характеризувати *абсолютною* або *відотною* вологістю [3,4].

**Абсолютна вологість** визначається як маса пари рідини в одиниці об'єму сухого або вологого газу за нормальних умов.

**Відносна вологість**, або ступінь насичення газу парами рідини, визначається як відношення маси пари в одиниці об'єму до максимально можливої маси пари в одиниці об'єму при тій самій температурі, вираженої в %:

$$\varphi = \frac{A}{A_n} \cdot 100, \quad (3.27)$$

де  $A$  – значення абсолютної вологості газу при даній температурі;  
 $A_n$  – максимально можливе значення абсолютної вологості при даній температурі, що відповідає насиченню.

На практиці відносна вологість із достатньою точністю визначають із виразу

$$\varphi = \frac{P}{P_n} \cdot 100, \quad (3.28)$$

де  $P$  – парціальний тиск пари рідини в газовій суміші при даній температурі і нормальному тиску;

$P_n$  – тиск насиченої пари рідини за тих самих умов.

**Психрометричний (випарний) аналізатор**, схема якого показана на рис.3.34, призначений для вимірювання відносної вологості повітря.

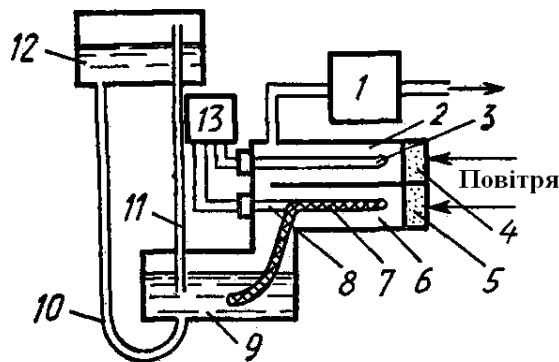


Рисунок 3.34 – Схема випарного аналізатора

Повітря за допомогою вентилятора 1 зі швидкістю 3-4 м/с прокачується через фільтри 4 і 5 камер 2 і 6, у яких розміщені платинові терморезистори 3 і 8. Терморезистор 3 служить для вимірювання температури повітря, його називають сухим термометром. Термометр 8, який обгорнуто у бавовняну тканину 7, кінець її занурений у ванночку 9, заповнену дистильованою водою. Цей терморезистор називають мокрим термометром. При випарюванні води з поверхні терморезистора 8 в потоці повітря температура його зменшується, причому тим більше, чим менше його вологість. Опір терморезисторів 3 і 8 вимірюється спеціальним вторинним приладом 13. Для підтримання у ванночці певного рівня води служить бачок 12 із трубками 10 і 11. У міру випарювання води із терморезистора 8 її рівень у ванночці 9 знижується, відкривається нижній кінець трубки 11, через нього в бачок надходить повітря, і з бачка у ванночку 9 стікає вода. Коли вода перекриває нижній отвір трубки 11 у газовому просторі бачка поступово (у міру витікання з нього води) утворюється розрядження. Вода з бачка впливає до того часу, доти це розрядження стане достатнім для зрівноважування гідростатичного тиску,

обумовленого різницею рівнів води в бачку і ванночці. Діапазон вимірювання психрометра 20-100% відносної вологості, класи точності 4-6; час реакції 3-5 хв.

**Конденсаційний газоаналізатор** (рис.3.35). У цей час такі газоаналізатори використовуються в основному як гігрометри. В основу їх роботи покладено вимірювання температури, при якій аналізований газ досягає при незмінному тиску стану насичення. З нього випадає конденсат (роса) рідини, концентрація пари якої в газі вимірюється.

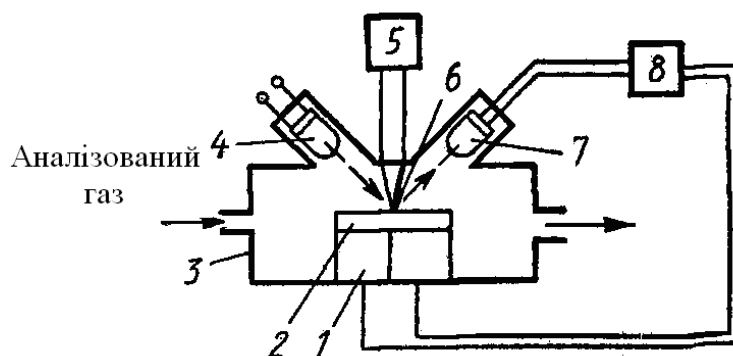


Рисунок 3.35 – Схема конденсаційного аналізатора

Цю температуру прийнято називати **температурою точки роси** (або інєю), а аналізатори, що базуються на вимірюванні цієї температури, – **гігрометрами точки роси**. Аналізований газ із постійною об'ємною витратою прокачується через камеру 3, у якій розміщений напівпровідниковий термоелемент (термопара) 1, який є холодильником. До холодного спаю цієї термопари припаяне металеве дзеркальце 2. До гарячого спаю термопари подається напруга постійного струму від автоматичного регулятора 8. При проходженні через напівпровідникову термопару постійного струму її холодний спай, а з ним і дзеркальце 2 охолоджуються. Охолодження відбувається до того часу, доти на поверхні дзеркальця не утвориться конденсат (іній). При цьому світловий потік, що надходить від лампи 4 до фотоприймача 7, зменшується за рахунок розсіювання на поверхні дзеркальця, покритого росю. Це викликає зменшення вхідного сигналу регулятора і вимикання або зменшення напруги живлення термопари 1. За рахунок теплоти, внесеної в камеру 3 потоком аналізованого газу, дзеркальце і холодний спай поступово нагріваються. При цьому конденсат з поверхні дзеркальця випаровується, і світловий потік, що надходить до фотоприймача, відновлюється до початкового значення. Регулятор 8 вмикає або збільшує напругу живлення термопари, і холодний спай її починає знову охолоджувати. Таким чином, температура дзеркальця автоматично підтримується такою, що дорівнює температурі точки роси. Ця температура перетвориться в уніфікований сигнал за допомогою термоелектричного чутливого елемента 6 і перетворювача 5. Гігрометри точки роси звичайно мають діапазон вимірювання від -80 до +40°C при тиску аналізованого газу 0,05-10 МПа. Абсолютна похибка вимірювання  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Відомі конструкції конденсаційних газоаналізаторів, що забезпечують вимірювання температури точки роси по воді, вуглеводням і т.п.

### 3.6.5 Діелькометричні та оптичні аналізатори

Принцип дії **діелькометричних аналізаторів** полягає у вимірюванні діелектричної проникності середовища, що заповнює електричний конденсатор.

Ці аналізатори застосовуються для аналізу складу бінарних або псевдобінарних сумішей газів і рідин. На рис.3.36 показана схема діелькометричного гігрометра, у якому вимірювання діелектричної проникності використовується разом з явищем сорбції пари води з аналізованого газу [3,4].

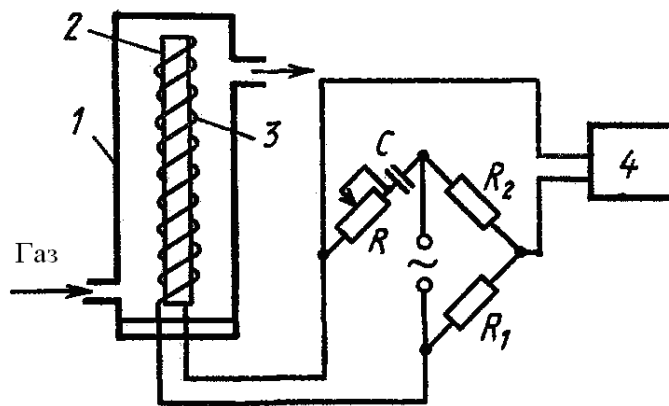


Рисунок 3.36 – Схема діелькометричного аналізатора

У цьому гігрометрі аналізований газ прокачується з постійною об'ємною витратою через камеру 1, у якій розміщений алюмінієвий стрижень 2, на поверхні якого зроблена нарізь і нанесено оксид алюмінію. У нарізь покладено нікелевий дріт 3. Стрижень 2 і дріт 3 утворюють конденсатор, ємність якого збільшується при сорбції пари води оксидом алюмінію. Остання викликає збільшення ємності конденсатора, що вимірюється нерівноважним електричним мостом змінного струму і вторинним приладом (вольтметром) 4. Є схеми діелькометричних гігрометрів з рівноважним електричним мостом.

Для вимірювання концентрацій складових газів використовується ефект випромінювання практично всього спектра електромагнітних коливань, починаючи з радіохвиль і закінчуючи  $\gamma$ -випромінюваннями. Найбільш широкого застосування набули випромінювання інфрачервоних, видимих і ультрафіолетових ділянок спектра. Аналізатори, що працюють із випромінюваннями цих ділянок спектра, називають **фотометричними**. В аналізаторах використовуються явища поглинання, відбиття і розсіювання електромагнітного випромінювання аналізованою речовиною. Аналізатори, що ґрунтуються на явищі поглинання електромагнітного випромінювання, називають **абсорбційно-оптичними** і **абсорбційно-метричними**. Аналізатори рідин і газів, що базуються на явищі поглинання електромагнітного випромінювання видимої частини спектра, називаються **фотоколориметрами**.

**Колориметричний аналізатор** (рис.3.37) має одне джерело (лампа 1) і два приймачі (фотоелементи 6 і 9) випромінювання і є двопроменевим. Випромінювання, що виходить із джерела 1, пройшовши через фільтр 2, поділяється на два промені, які через дзеркала 4 надходять у вимірювальну 5 і порівняльну 10 кювети. Через вимірювальну кювету прокачується аналізована речовина, а порівняльна звичайно заповнюється зразковою речовиною (речовина з відомої або тієї, що дорівнює нулю концентрацією обумовленого компонента). Фотоелементи 6 і 9 увімкнені на вхід підсилювача 7 зустрічно, тому різниця їх сигналів, перетворена в цьому підсилювачі в уніфікований сигнал, однозначно залежить від концентрації обумовленого компонента в аналізованій речовині. Вихідний сигнал підсилювача 7 вимірюється і реєструється вторинним приладом 8.

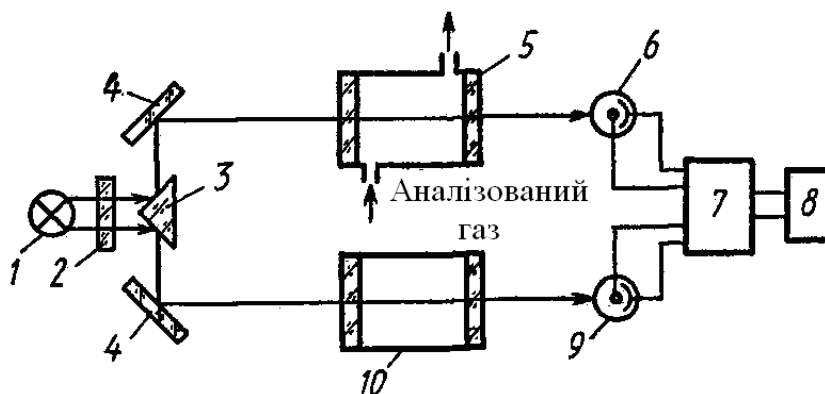


Рисунок 3.37 – Схема колориметричного аналізатора

Оптичні аналізатори, у роботі яких використовується випромінювання видимої частини спектра, залежно від схеми і конструкції мають класи точності 2-20.

### 3.6.6 Іонізаційні, полум'яно-іонізаційні, фотометричні і хемілюмінесцентні газоаналізатори та пиліметри

Принцип дії цих аналізаторів полягає в іонізації аналізованої речовини і вимірюванні іонного струму. На практиці аналітичного контролю в цей час застосовуються в основному іонізаційні газоаналізатори, що розрізняються за способом іонізації аналізованого газу (іонізація радіоактивним випромінюванням, фотоіонізація, поверхнева іонізація, іонізація в тліючому розряді і т.д.) [3,4].

На рис.3.38 наведена схема іонізаційного газоаналізатора. Аналізований газ надходить у камеру 1 (так звану іонізаційну) з постійною об'ємною витратою. Під дією джерела випромінювання 2 ( $\alpha$ - або  $\beta$ -променів) молекули аналізованої бінарної або псевдобінарної газової суміші іонізуються. Між джерелом 2 і анодом 3, який закріплено на фторопластовому ізоляторі 4, під дією електричного потенціалу стабілізованого джерела 7 проходить іонний струм. Значення цього струму вимірюється електрометричним перетворювачем 5, вихідний уніфікований сигнал якого посиляється на потенціометр 6.

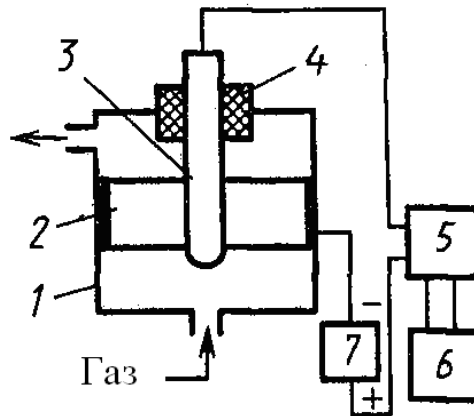


Рисунок 3.38 – Схема іонізаційного газоаналізатора

Ефективний перетин іонізації газів є тією властивістю, яка визначає можливість вимірювання концентрації обумовленого компонента відповідно до обмірюваної напруги. Напруга між джерелом і колектором 3 становить 100-300 В.

Хімічна реакція окислювання горючих речовин, що проходить в полум'ї, супроводжується рядом ефектів, які використовуються для одержання вимірювальної інформації. Ефекти іонізації і виникнення електромагнітного випромінювання застосовуються для вимірювання концентрацій певних речовин у багатокомпонентних сумішах.

**Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор** (рис.3.39 а), у ньому аналізований газ і водень, що служить для підтримки полум'я, подаються із блока підготовки газів 1 з постійними об'ємними витратами в мініатюрний пальник 3. Останній встановлено в корпусі 4 на ізоляторі 6.

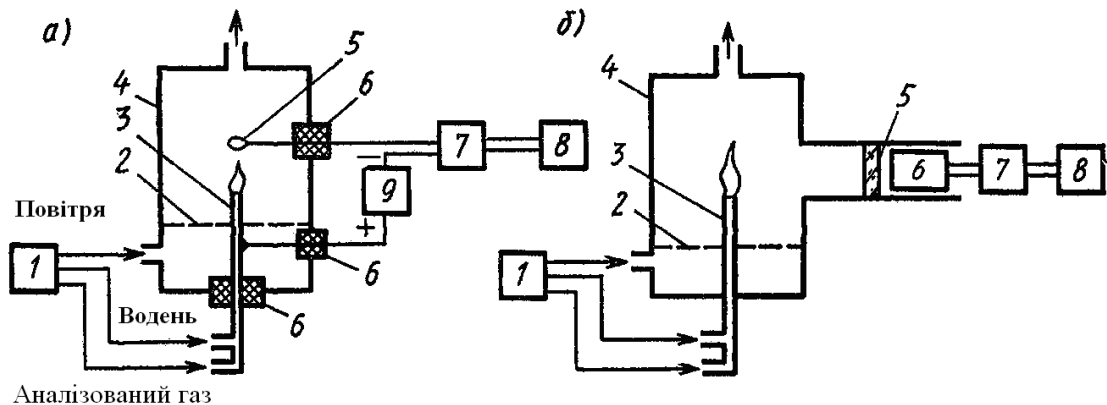


Рисунок 3.39 – Схеми полум'яних газоаналізаторів

Повітря, необхідне для горіння водню з постійною об'ємною витратою, надходить у камеру 4 через розподільник 2. Над пальником на фторопластовому ізоляторі 6 установлений колекторний електрод 5 із платини або ніхрому. Між пальником 3 і колекторним електродом 5 прикладається електричне поле від джерела 9 напругою 150-200 В/см. При згоранні чистого водню майже не утвориться іонів. Органічні речовини (гази і парі), що знаходяться в аналізованому газі, потрапляючи у водневе полум'я, згорають і обумовлюють різке збільшення іонного струму. Останній перетворюється в

уніфікований сигнал перетворювача 7 з більшим входним опором, а сигнал останнього сприймається автоматичним потенціометром 8.

**Полум'яний фотометричний газоаналізатор** (рис.3.39 б) працює на ефекті зміни інтенсивності і спектрального складу випромінювання полум'я [3,4]. Схема подачі газів у цьому аналізаторі аналогічна розглянутій (рис.3.40 а). При згорянні в полум'ї пари фосфоро-, сірково- або галогенопохідних речовин, які знаходяться в аналізованому газі, істотно змінюється інтенсивність випромінювання. Фотопотік надходить у фотомножник 6 через монохроматичний фільтр 5. Сигнал фотомножника перетворюється в уніфікований сигнал за допомогою перетворювача 7 і сприймається автоматичним потенціометром 8. Полум'яні фотометричні газоаналізатори можуть застосовуватися для аналізу рідких речовин. Із цією метою газоаналізатор виконується зі спеціальним пальником, який аналізовану рідку речовину перед згоранням розпорошує потоком газу.

Принцип дії **хемілюмінесцентних** газоаналізаторів базується на явищі люмінесценції, що супроводжує певні хімічні реакції. Таку люмінесценцію називають хемілюмінесценцією.

У **хемілюмінесцентному газоаналізаторі** (рис.3.40) аналізований газ і повітря з постійними об'ємними витратами із блока підготовки газів 1 надходять у реакційну камеру 2. Повітря попередньо проходить через озонатор 7, де під дією бар'єрного високовольтного розряду в повітрі утворюється озон. При взаємодії в камері 2 озону з певним компонентом аналізованої суміші утворюються продукти реакції в збудженому стані. При переході їх у стійкий стан відбувається випромінювання квантів люмінесценції. Електромагнітне випромінювання через вікно 3 попадає у фотомножник 4, сигнал якого перетворюється в уніфікований сигнал за допомогою перетворювачів 5.

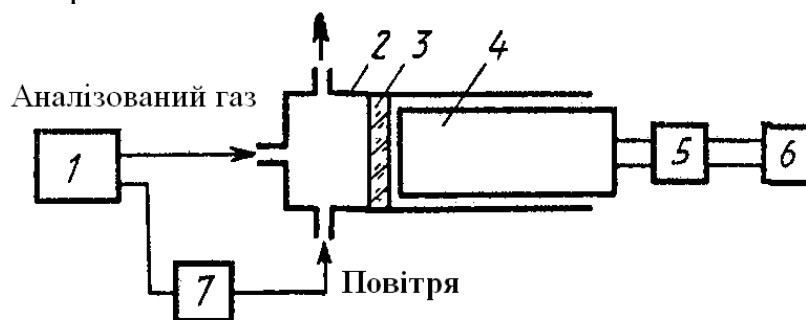


Рисунок 3.40 - Схема хемілюмінесцентного газоаналізатора

Вихідний сигнал останнього сприймається автоматичним потенціометром 6. При постійній концентрації озону в повітрі, що надходить у камеру 2, інтенсивність електромагнітного випромінювання пропорційна концентрації певного компонента в аналізованому газі. При такій подачі газів хемілюмінесцентний газоаналізатор може використовуватися для селективного вимірювання мікроконцентрацій неграничних вуглеводнів і оксидів азоту. Він може застосовуватися для селективного вимірювання мікроконцентрацій озону в повітрі. У цьому випадку повітря надходить у

реакційну камеру 2, минаючи озонатор, а замість аналізованого газу в камеру з постійною об'ємною витратою подається етилен.

Контролювання *вмісту пилу* у газоповітряній суміші та атмосферному повітрі дає змогу оцінювати ефективність роботи газоочисного устаткування, обирати необхідну ступінь очистки, вдосконалювати технічні процеси.

Методики вимірювання концентрації пилу поділяють на методики, основані на попередньому осадженні, і методики без попереднього осадження пилу (безпосередні виміри у самій суміші з повітря, газів, пилу). Істотною перевагою першої методики є здатність вимірювати масову концентрацію пилу, утвореного з різних складових. Другому методу властиві практичність та безперервність процесу вимірів, висока чутливість, але за його допомогою важко визначити дисперсний склад пилу (розміри складових часток пилу).

Для промислового контролювання пилу використовують методики, які ґрунтуються на попередньому осадженні пилу, якщо його параметри змінюються в широких межах протягом певного часу. При цьому складним процесом є отримання проби (на відбір проби впливає багато різних факторів). Методики без попереднього осадження (оптичні, електричні) дають змогу миттєво виміряти концентрацію пилу та її зміни у часі.

Середовище з пилу і газів є досить нестійким, його не можна описати одним або двома параметрами. Пил майже завжди є полідисперсним, тобто характеризується спектром розмірів частинок від  $10^{-2}$  до  $10^2$  мкм, інтервал концентрацій перебуває в межах від  $10^{-8}$  до  $10^5$  мг/м<sup>3</sup>. Фізико-хімічні властивості пилу можуть бути найрізноманітнішими і змінюватись у часі.

Для вимірювання концентрацій пилу у повітрі використовують спеціальні прилади – *пиломіри* (для вимірювання концентрації пилу в атмосферному повітрі та промислових приміщеннях і для вимірювання концентрації пилу у різноманітних газових викидах промислових підприємств). Пиломіри, які належать до першої групи, вимірюють зміни мікроконцентрації різноманітних домішок протягом певного часу і внаслідок впливу природних факторів. Друга група пиломірів призначена для вимірювання великих концентрацій з широким спектром частинок (0,05...100 мкм), при різній швидкості виходу (до 40 м/с) газоповітряної суміші та з різною температурою (до 1200°C).

У пиломірах використовують тільки фізичні методи вимірювання. Пиломіри першої групи повинні відповідати таким вимогам: безперервність вимірювань; автоматизація процесу вимірювань; похибка вимірів не повинна перевищувати  $\pm 10\%$  від ГДК; реєстрація результатів вимірів; нечутливість до параметрів навколишнього середовища; простота конструкції і т. д. Пиломіри, призначені для контролювання промислових викидів, повинні відповідати додатковим вимогам: мала інерційність; лінійність градуйованої характеристики; можливість отримання середніх значень (наявність інтегруючого блоку); наявність попереджувальної сигналізації; пристосованість до певних умов; конструктивні характеристики і т. д.

Метрологічні характеристики пиломіра переважно визначаються характеристиками первинного вимірювального перетворювача. Різницею між



дійсними і номінальними характеристиками перетворювача є похибка пиломіра, зумовлена властивостями пилю (основна похибка), впливом зовнішніх величин (додаткова похибка) та ін. Для градування пиломірів використовують «еталони» пилю. У якості «еталонів» використовують монодисперсні сферичні частинки (штучні, природні), наприклад пилок з розмірами частинок 12, 20, 50 і 90 мкм.

Періодичну перевірку пиломірів проводять із використанням повірочного блоку як стосовно окремих його частин, так і стосовно приладу загалом.

## **ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Поясніть класифікацію та принцип дії приладів для вимірювання температури.
2. Яка класифікація та принцип дії приладів для вимірювання тиску?
3. Яка класифікація та принцип дії приладів для вимірювання витрати рідин і газів?
4. Як здійснюють вимірювання рівнів накопичення рідин та сипких речовин?
5. Які існують методи і прилади для контролю якості очистки відхідних газів і стічної води?
6. Методи і засоби вимірювання запиленості газів.
7. Застосування і принцип дії газоаналізаторів.