

ЛЕКЦІЯ 10

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 відносну 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.

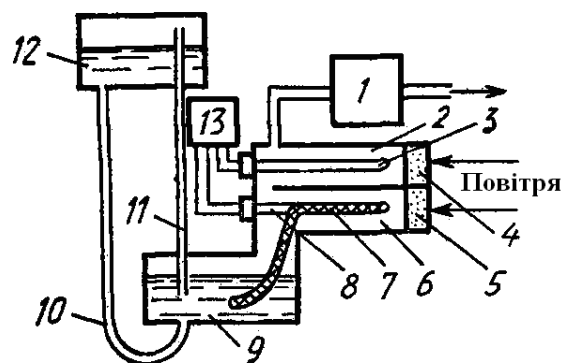


Рисунок 3.34 – Схема випарного аналізатора

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 випливає 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 гігromетри. 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.

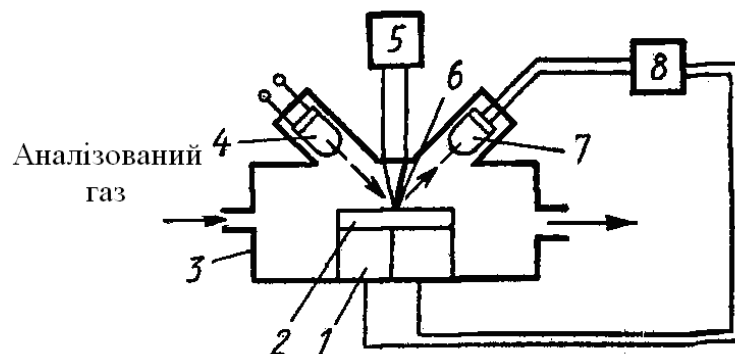


Рисунок 3.35 – Схема конденсаційного аналізатора

Цю температуру прийнято називати **температурою точки роси** (або інею), а аналізатори, що базуються на вимірюванні цієї температури, – **гігromетрами 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 росою. 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 $+40^{\circ}\text{C}$ 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].

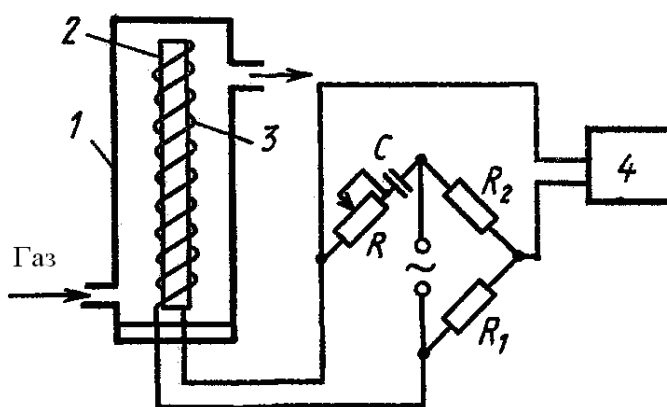


Рисунок 3.36 – Схема діелькометричного аналізатора

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 дієлькометричних гігрометрів з рівноважним електричним мостом.

Для вимірювання концентрацій складових газів використовується ефект випромінювання практично всього спектра електромагнітних коливань, починаючи з радіохвиль і закінчуючи γ -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.

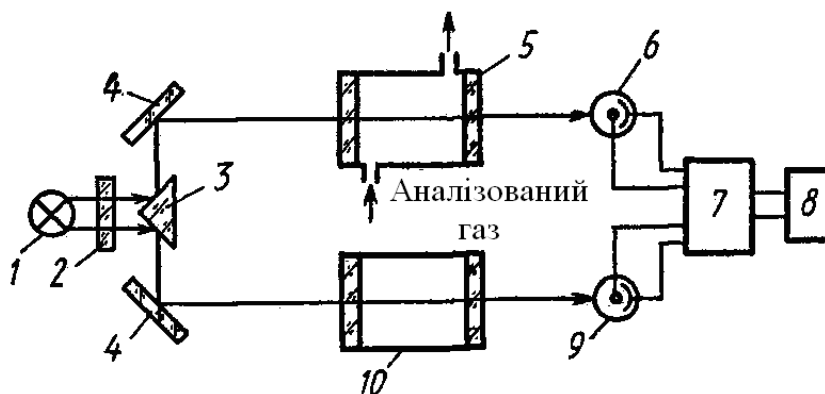


Рисунок 3.37 – Схема колориметричного аналізатора

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 пиломіри

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 (α - або β -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.

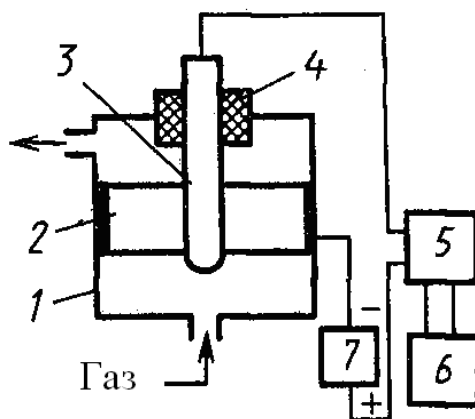


Рисунок 3.38 – Схема іонізаційного газоаналізатора

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.

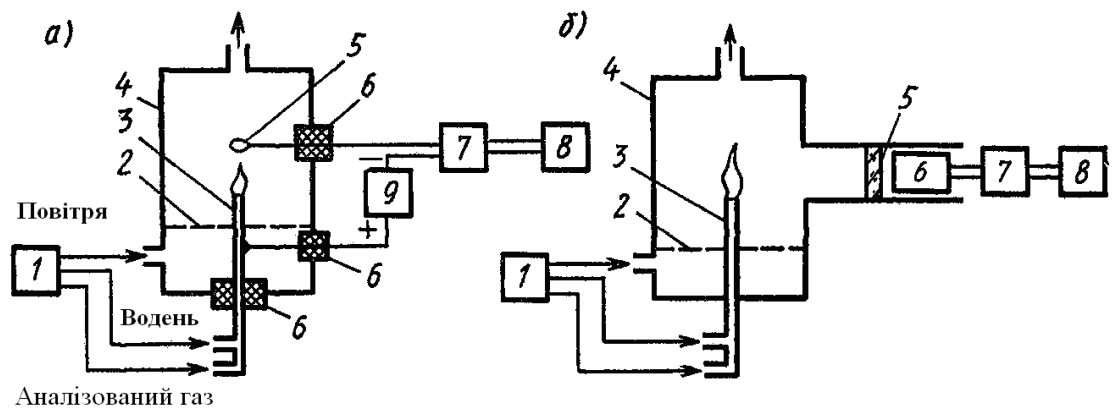


Рисунок 3.39 – Схеми полум'яних газоаналізаторів

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 аналізувану 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.

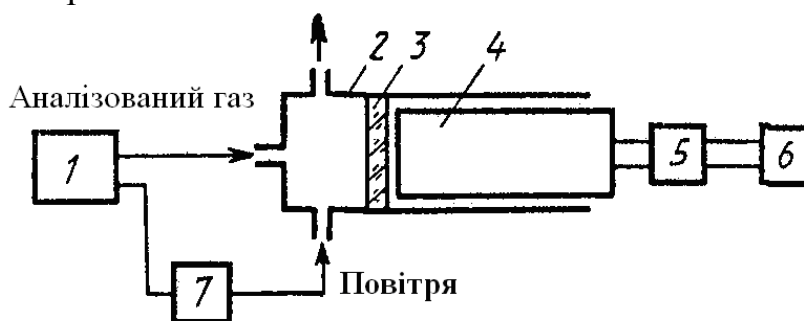


Рисунок 3.40 - Схема хемілюмінесцентного газоаналізатора

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/м³. 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 пилу (основна похибка), впливом зовнішніх величин (додаткова похибка) та ін. Для градування пиломірів використовують «еталони» пилу. У якості «еталонів» використовують монодисперсні сферичні частинки (штучні, природні), наприклад пилок з розмірами частинок 12, 20, 50 і 90 мкм.

Періодичну повірку 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.