

ОСНОВИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ
КАФЕДРА АНАЛІТИЧНОЇ ТА ТОКСИКОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ

ОСНОВИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
спеціальності ЕЗ Хімія, ОНП Хімія

Одеса
ОНУ імені І. І. Мечникова
2026

УДК 543:615
О-753

Укладачі:

Р. Є. Хома, доктор хімічних наук, професор, професор кафедри аналітичної та токсикологічної хімії;

В. В. Менчук, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії;

Т. С. Беньковська, аспірант кафедри аналітичної та токсикологічної хімії.

Рецензенти:

Т. В. Кокишарова, доктор хімічних наук, професор, професор кафедри неорганічної хімії та хімічної освіти Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

В. В. Ведута, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри органічної та фармацевтичної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету хімії та фармації
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 1 від 10 вересня 2025 р.*

О-753 **Основи** газового аналізу [Електронний ресурс] : електрон. метод. вказівки для здобувачів третього (освіт.-наук.) рівня вищ. освіти спец. ЕЗ Хімія, ОНП Хімія / уклад.: Р. Є. Хома, В. В. Менчук, Т. С. Беньковська. Одеса : ОНУ імені І. І. Мечникова, 2026. 32 с. 0,9 МБ.

Методичні вказівки складено відповідно до програми спецкурсу «Газовий аналіз». Вони містять основні положення газового аналізу: підготовка проби до аналізу, методи відбору проб, хімічне та інструментальне визначення якісного та кількісного вмісту компонентів у відібраній пробі, визначення концентрації компоненту у відібраній пробі за нормальних умов.

Призначені здобувачам факультету хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова. Можуть бути рекомендовані для здобувачів природничих факультетів при самостійній підготовці до занять з аналітичної хімії, аналітичної хімії навколишнього середовища тощо.

УДК 543:615

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ	5
1. Підготовка до відбору проби	5
2. Методи відбору проби на аналіз	12
3. Хімічне та інструментальне визначення якісного та кількісного вмісту компонентів у відібраній пробі	21
4. Визначення концентрації компонента у відібраній пробі за нормальних умов	23
<i>Перелік питань для поточного та періодичного контролю</i>	26
<i>Перелік тестових завдань</i>	27
<i>Рекомендована література</i>	30
<i>Додаток</i>	31

ВСТУП

Визначення якісного та кількісного складу газів є нині обов'язковим елементом аналітичного контролю на більшості промислових підприємств. Насамперед це стосується підприємств, технологія виробництва яких включає отримання чи переробку технологічних газів. Однак і на підприємствах, порівняно далеких від газової або хімічної технології, наприклад, при зварювальних роботах, металообробці, дробленні матеріалів виникає необхідність організованого відведення забрудненого повітря від робочих місць і його очищення перед викидом у повітряний басейн.

Контроль ефективності роботи газопилоочисних установок та дотримання нормативів гранично допустимих викидів у атмосферу неможливі без повного та об'єктивного аналізу газового середовища, що викидається.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ

Аналіз газового середовища (гомогенного або того, що включає дисперговані частинки інших фаз) у загальному випадку складається з наступних основних етапів:

- 1) підготовка до відбору проби;
- 2) відбір представницької проби;
- 3) хімічне чи інструментальне визначення якісного та кількісного змісту компонентів у пробі;
- 4) розрахунок концентрації компонента за нормальних умов.

З зазначених чотирьох етапів специфічність газовому контролю надають перші два.

1. Підготовка до відбору проби

Приведення вихідних параметрів газового середовища до значень, які повинні бути на вході в газоаналізатор, називається підготовкою до відбору проб або підготовкою газу до аналізу і полягає у зміні тиску та температури газової суміші, у очищенні її від механічних та агресивних домішок, осушуванні.

Перший етап набуває особливого значення, коли передбачається аналіз газопилоповітряного (гетерогенного) середовища. Наявність у системі великої кількості грубих пилових фракцій призводить до нерівномірного розподілу частинок пилу по перерізу газоходу та відкладення певного їх відсотку у пробовідбірних каналах і частинок, які не досягають приймача (пастки, фільтра). У цьому випадку концентрація частинок, уловлених приймачем з певного об'єму відібраного газу, та їх фракційний склад відрізнятимуться від фактичних значень у газовому потоці. Запобігти спотворенню аналітичних даних можна, виконуючи такі основні умови:

- а) носик газозабірної трубки повинен бути направлений назустріч газовому потоку співвісно з основним його напрямом;

- б) швидкість газу у вхідному отворі газозабірної трубки повинна дорівнювати швидкості газового потоку в точці відбору проби (основна умова ізокінетичності);
- в) пилоприймальний (фільтруючий) пристрій, що застосовується в пробовідбірному агрегаті, повинен забезпечувати вилучення не менше 97 % маси пилу, що міститься в пробі.

Підготовка до відбору проб технологічного газу крім *попереднього знайомства з фазовим складом запланованого для аналізу газу (за описом або за допомогою органолептичної оцінки)* включає визначення умов відбору *представницької проби газу та вибір ділянки газоходу*.

Під час підготовки до відбору газової проби слід визначити **умови відбору проби**, зокрема, уточнити такі параметри, як:

- 1) температура проби;
- 2) кількість проби;
- 3) швидкість відбору проби;
- 4) час (тривалість) відбору проби.

Температура газової проби, що відбирається, на всьому протязі її руху обмежується зазвичай нижньою межею, щоб уникнути конденсації в пробовідбірному тракті окремих компонентів газової суміші і зміни в результаті цього складу проби. Важливо при цьому уникнути конденсації чи кристалізації не тільки того компонента, який визначають, а й інших, наприклад, парів води.

У деяких випадках небажаним є також перегрів проби порівняно з основним газовим потоком. Це пояснюється зазвичай присутністю в газовому потоці рідкої або твердої фази. Крапельки або дрібні кристали при нагріванні можуть випаруватися, змінюючи, таким чином, склад газової фази. Тому при підготовці до відбору газової проби слід передбачити відділення інших фазових включень, що містяться в газі, і запобігти їх подальшому утворенню таким температурним режимом, який виходить з відповідних характеристик

компонентів газового потоку. У деяких випадках небажано також перегрівати пробу в порівнянні з основним газовим потоком.

Кількість проби (об'єм), як і при аналізі речовин в інших фазових станах, задається, виходячи з двох факторів: концентрації компонента, що аналізується в газовій суміші, і чутливості наявної методики аналізу. Доцільний об'єм проби, що відбирається, зазвичай визначають попереднім аналізом. При відборі середньої проби сумарна кількість її може бути значно більшою; далі за допомогою відомих прийомів для аналізу використовується частина проби.

Швидкість відбору проби визначається способом, який використовується для відбору. При цьому мають значення багато факторів, наприклад, фізико-хімічні властивості газу та поглинача (при способі відбору газової проби в селективний поглинач), можливості приладів, що контролюють швидкість та сумарний об'єм проби.

Час відбору проби залежить від її кількості та швидкості відбору. При цьому ресурс загального і чистого часу відбору може значно відрізнятись, наприклад, при складанні середнього аналізу газу по разовим пробам, що періодично відбираються на дискретно аналізуючий прилад.

Особливе значення для отримання достовірних результатів має правильний **вибір ділянки та перерізу газоходу** для вимірювання.

При виборі місця для вимірювання слід керуватися наступними правилами.

1. Вимірювання проводять в усталеному потоці газу (із характеристиками, що стабілізувалися). Тобто перетин повинен розташовуватись на прямолінійних, бажано вертикальних ділянках, що мають рівну площу на всьому протязі. Довжина ділянок (L) повинна становити 8–10 умовних діаметрів газоходу, причому переріз для вимірювання необхідно розташовувати в третій чверті довжини ділянки по ходу газів: ділянка повинна мати довжину не менше ніж $M2 = 5-6$ діаметрів газоходу до місця виміру та $M1 = 3-4$ після місця виміру (рис. 1).

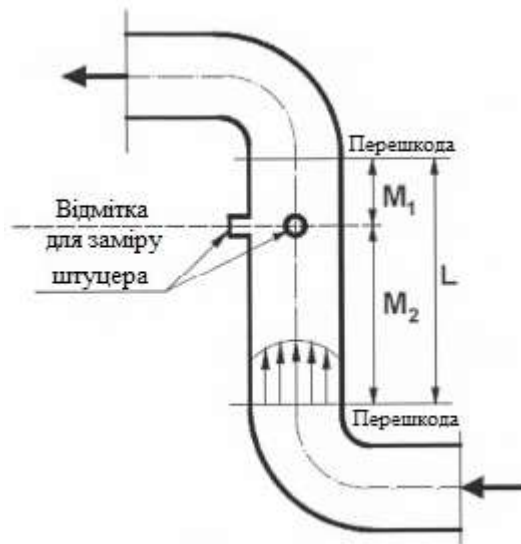


Рис. 1. Вибір ділянки газоходу для вимірювання

2. Не слід вибирати місце виміру поблизу і особливо після засувок, дроселів, дифузорів, колін і вентиляторів, оскільки створювані в цих місцях вихори впливають на точність виміру.

3. На ділянках не повинні мати місця відкладення пилю.

Газоходи круглого перерізу умовно розбивають на ряд концентричних кілець з рівнозначними площами (рис. 2). Вимірювання проводять у чотирьох точках по двох взаємно перпендикулярних діаметрах у центрі відрізків, обмежених концентричними колами.

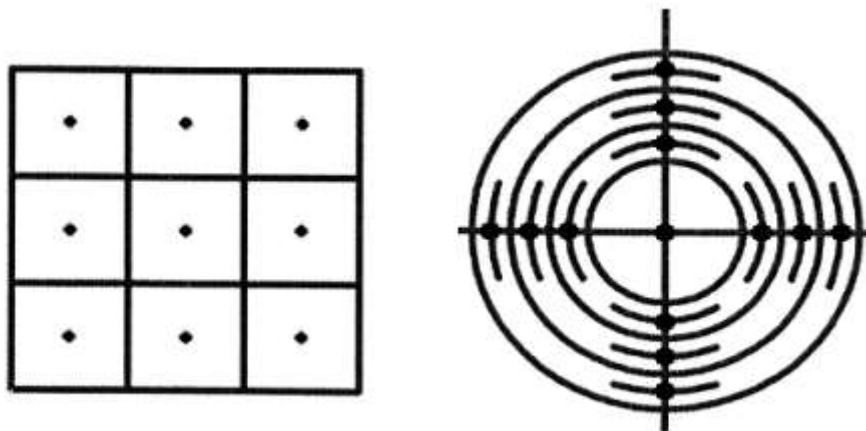


Рис. 2. Розбивка газоходів на ділянки рівнозначної площі

Газоходи квадратного (прямокутного) перерізу розбивають на ряд рівнозначних квадратів (прямокутників), подібних формою перерізу газоходу, і виміри виконують у центрі кожного квадрата (прямокутника). Мінімальна кількість точок – три у кожному напрямку.

Вважається, що досить надійні результати можуть бути отримані, якщо сторони квадрата (прямокутника) не перевищуватимуть 150–200 мм, а газоходи круглого перерізу в залежності від діаметра будуть розбиті на таке число кілець:

Діаметр газоходу, мм	200	200–400	400–600	600–800	800–1000	> 1000
Число кілець, шт.	3	4	5	6	8	10

Однак, якщо вимоги, що пред'являються до вибору перерізу для вимірів витримати не вдалося, кількість кілець повинна бути збільшена.

Перед відбором проб у намічених точках вимірюють лінійну швидкість потоку за допомогою пневмометричної трубки або трубки Піто.

Однією з умов правильного відбору газу є дотримання правила ізокінетичного відбору проби. Для цього визначають можливу витратну (об'ємну) швидкість відбору з урахуванням продуктивності аспіраційного (газовідсмоктуючого) приладу. Далі пробовідбірна трубка оснащується вхідним знімним наконечником (рис. 3) з таким внутрішнім діаметром, щоб при встановленій витраті аерозолу, що відсмоктується, лінійна швидкість його в перерізі наконечника дорівнювала лінійній швидкості потоку в досліджуваній точці.

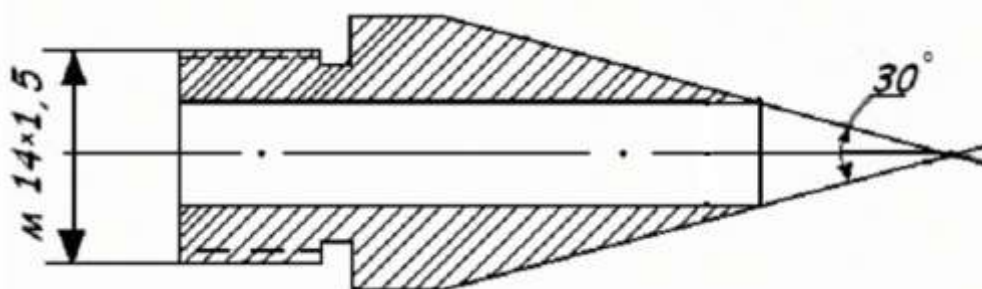


Рис. 3. Змінний наконечник пробовідбірної трубки

Можливі помилки, що виникають при недотриманні правила ізокінетичності при відборі запиленого газу представлені на рис. 4. Слід зазначити, що помилки вимірювання збільшуються зі збільшенням запиленості газу, що відбирається.

При дотриманні рівності швидкостей (рис. 4а) запиленість газу визначається правильно і пилові частинки, що містяться в об'ємі, мають той же гранулометричний склад, що і в відібраній пробі.

При підвищенні швидкості відбору газового потоку (рис. 4б) більші частинки пилу пройдуть повз вхідний переріз забірної трубки. В результаті в відібраній пробі буде визначено занижену запиленість.

При відборі проби зі зниженою швидкістю (рис. 4в) відбудеться зворотне явище і більші частинки пилу за інерцією пройдуть у забірну трубку. В результаті запиленість проби, що відбирається, буде завищена. Відхилення вхідного отвору забірної трубки від положення перпендикулярного напрямку газового потоку призводить до заниження запиленості (рис. 4г).

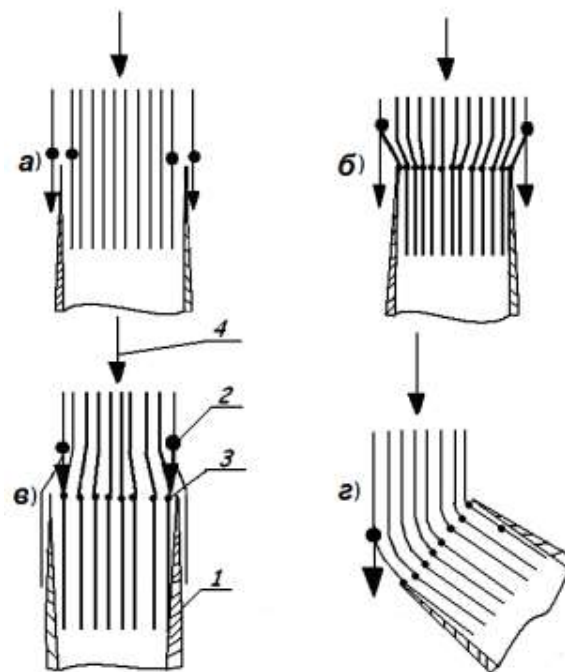


Рис. 4. Можливі помилки, що виникають у разі недотримання правила ізокінетичності при відборі запиленого газу:

1 – наконечник забірної трубки; 2 – великий пил; 3 – дрібні частки;
4 – напрямок газового потоку;

а) правильна швидкість відбору; б) підвищена швидкість відбору;
в) знижена швидкість відбору; г) правильна швидкість відбору, але вхідний отвір забірної трубки знаходиться під кутом до газового потоку

Вибір правильного розташування на газопроводі точки відбору проби газу і правильне обладнання точки відбору має особливе значення, коли відбирають пробу газу, що містить зважені частинки. Відбір проби з гомогенної газової фази не висуває особливих вимог до вибору місця розташування точки відбору по ходу газопроводу – відбір можна проводити як на вертикальному, так і горизонтальному перерізі газопроводу. Точка відбору проби може бути обладнана, як показано на рис. 5.

Для відбору проб газу з газопроводу (1) на глибину 0,3 його діаметра вставляють металеву трубку (2), стійку в заданому середовищі діаметром 8-10 мм. Трубку ущільнюють в отворі газопроводу за допомогою, наприклад фланців (3) і гумової пробки (4). На виході з газопроводу трубку постачають триходовим краном (5) з двома штуцерами (6, 7), з яких один служить для продування та чищення трубки, а інший – для подачі газу в посудину-приймач проби, з'єднання з яким зазвичай здійснюється за допомогою гумового шлангу.

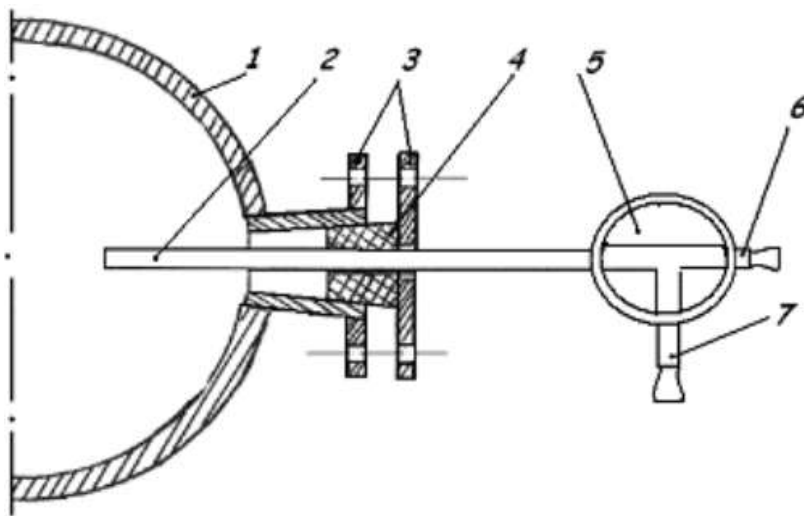


Рис. 5. Схема обладнання точки відбору проби газу:
1 – газопровід; 2 – металеві трубка; 3 – фланці; 4 – гумова пробка;
5 – триходовий кран; 6, 7 – штуцери

При відкритті відповідних кранів газ надходить у посудину під власним тиском або засмоктується за допомогою повітрорудки. Оскільки комунікація має певний внутрішній об'єм, слід застосовувати трубки з мінімально

можливим діаметром і перед відбором проби здійснювати промивання комунікацій не менш, ніж шестикратним об'ємом газу.

При відборі проби на горизонтальній ділянці, якщо очікується нерівномірне перемішування по перерізу, необхідно відбирати верхню, центральну та нижню проби.

Центральна проба відбирається у центрі газоходу горизонтальним відведенням (рис. 6а). Верхня проба відбирається у верхній частині газоходу (рис. 6б). Часто це використовується, коли газ однорідний, проте виникає загроза захопити конденсат. Нижня проба відбирається у нижній частині з відривом 1/10 частини діаметра від дна газоходу (рис. 6в).

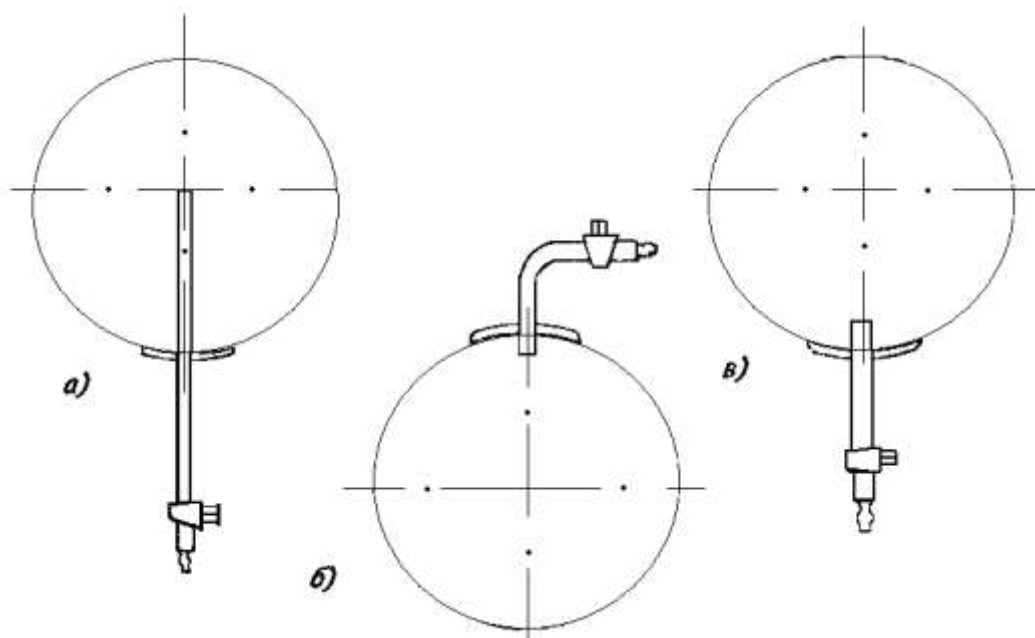


Рис. 6. Відбір проб на горизонтальній ділянці газопроводу:
а – центральний; б – верхній; в – нижній

2. Методи відбору проби на аналіз

Вибір методу відбору проб визначається природою аналізованих сполук та наявністю супутніх домішок. Для обґрунтованого вибору способу відбору проб необхідно мати чітке уявлення про можливі форми знаходження токсичних домішок у повітрі та газовій суміші. Правильне встановлення

агрегатного стану шкідливої сполуки сприяє правильному вибору фільтрів та сорбентів та зменшенню похибки визначення, пов'язаної з пробовідбором.

Традиційно розрізняють два методи відбору газових проб: метод наповнення та сорбційний (аспіраційний) метод.

Метод наповнення полягає у заповненні судин різної ємності досліджуваною газовою сумішшю. Метод використовується переважно в тих випадках, коли для аналізу потрібні малі ($0,1-3,0 \text{ дм}^3$) кількості проби, наприклад, у разі високої концентрації домішки, що аналізується, а також високої чутливості використовуваного методу аналізу.

Для відбору газової проби використовують спеціальні судини – газові піпетки (рис. 7).

Найчастіше газові піпетки ємністю $0,1-0,5 \text{ дм}^3$ виготовляють із скла, рідше – металеві ємністю до 2 дм^3 . Вони є звичайними широкими трубками, звуженими на кінцях, на які надягають гумові трубки, що закриваються гвинтовими засувками (рис. 7а), або двома скляними кранами (рис. 7б), змащеними вакуумним мастилом. Металева газова піпетка, виготовлена із міді чи срібла, призначена для збирання інертних газів.

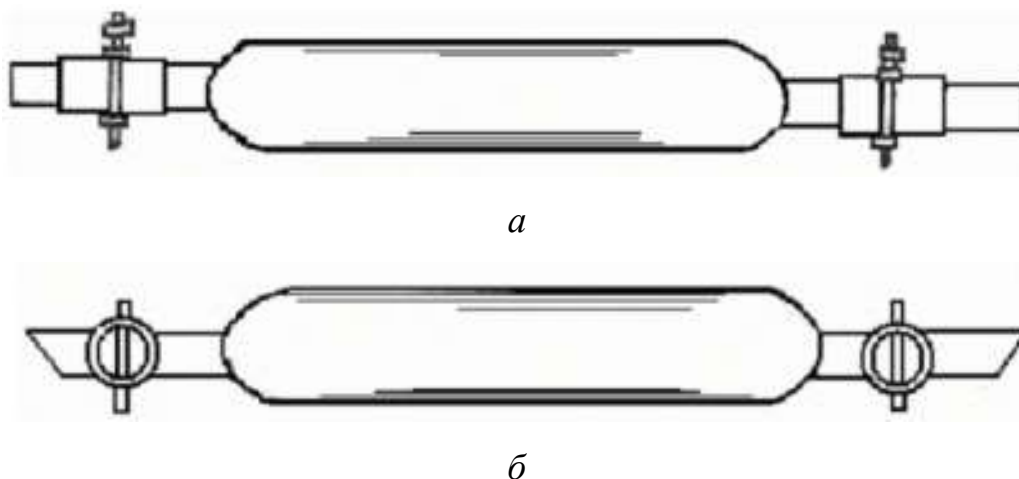


Рис. 7. Газові піпетки:
а) із затискачами; б) із впаяними кранами

Заповнення газової піпетки здійснюють одним із таких способів.

Спосіб обміну. При надмірному тиску в газопроводі до пробовідбірної трубки приєднують за допомогою гумової трубки суху піпетку і продувають шести-десятикратним по відношенню до піпетки об'ємом газу. При цьому досягається повна заміна повітря, що знаходилося в піпетці, газом, що підлягає дослідженню. Потім закривають крани та піпетку від'єднують від пробовідбірної трубки. Пробу набрано.

Якщо газ знаходиться під тиском, близьким до атмосферного або нижче, пробу засмоктують в піпетку за допомогою аспіратора, груші, водоструминного насоса або інших пристроїв.

Описаний спосіб придатний при необмеженій кількості досліджуваного газу, коли його можна тривалий час пропускати або просмоктувати через піпетку.

Якщо ж кількість газу обмежена або пробу треба взяти швидко, використовують спосіб газорідинного витіснення або вакуумний спосіб.

Спосіб газорідинного витіснення, названий іноді способом виливання, полягає в тому, що газову піпетку перед відбором проби наповнюють рідиною, що володіє малою розчинною здатністю по відношенню до компонентів газової суміші, наприклад, насиченим водним розчином NaCl, MgCl₂, CaCl₂, в окремих випадках використовують 10 % розчин сірчаної кислоти. Один кінець піпетки приєднують шлангом до пробовідбірної трубки, а другий піднімають вгору (якщо газ має надлишковий тиск) і крани відкривають до повного витіснення рідини газом. У разі малого власного тиску газу другий кінець піпетки опускають вниз, і рідина, що витікає під власним тиском, створює вакуум в піпетці, куди і засмоктується проба досліджуваного газу. Спосіб може мати різноманітне оформлення. Зокрема, він дозволяє при підключенні комплекту піпеток до газового і рідинного колектора (рис. 8) здійснювати одночасно відбір декількох паралельних або послідовних проб газу.

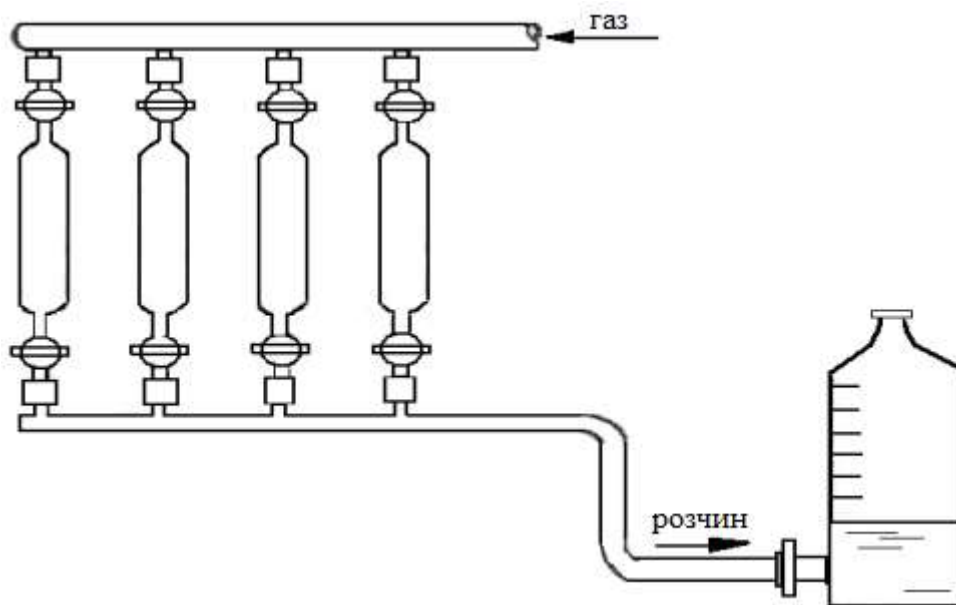


Рис. 8. Колекторне під'єднання газових піпеток для відбору проб методом газорідинного витіснення

Вакуумний метод. У піпетці, що призначена для відбору проби газу, створюється розрядження за допомогою вакуум-насоса. Після приєднання до пробовідбірної трубки у піпетки відкривають кран на з'єднувальній трубці. В силу різниці тисків досліджуваний газ заповнює піпетку. В даний час через необхідність та труднощі забезпечення ретельної герметизації комунікацій метод практично не використовується.

Схема відбору пилогазоповітряної суміші з газоходу з використанням газових піпеток представлена на рис. 9. Елементами її є фільтруючий патрон, пробовідбірна трубка, газова піпетка, термометр, патрон із силікагелем для захисту аспіратора від вологи та агресивних газів, електроаспіратор. Для відбору проб у газоході попередньо просвердлюють отвір діаметром 2–30 мм і приварюють до газоходу із зовнішнього боку штуцер заввишки 3–40 мм із внутрішнім діаметром 15–25 мм. При цьому пробовідбірну трубку вставляють у газохід через штуцер із гумовою або азбестовою пробкою. Встановлюють задану швидкість відбору газу та продувають систему газом, що аналізується, за допомогою електроаспіратора. Для відбору представницької проби

вимірюються температура і тиск (розрідження) за допомогою манометра як у самому газоході, так і після відбору проби.

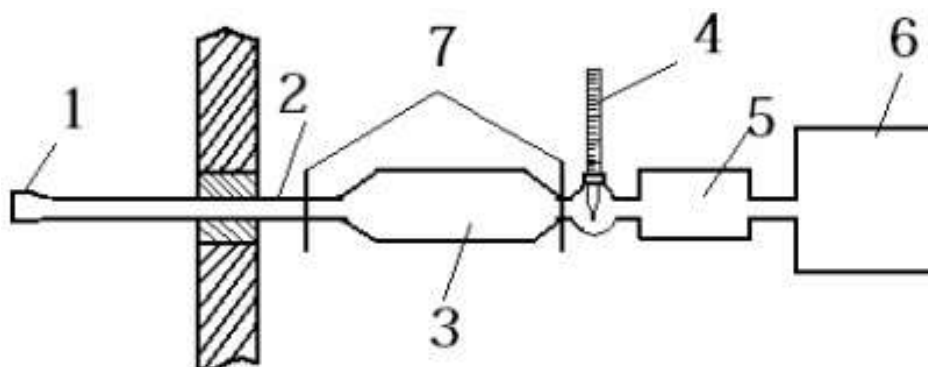


Рис. 9. Схема відбору газів для аналізу з використанням газових піпеток:
1 – патрон, що фільтрує; 2 – пробовідбірна трубка; 3 – газова піпетка; 4 – термометр;
5 – патрон із силікагелем для захисту аспіратора від вологи та агресивних газів;
6 – електроаспіратор; 7 – затискачі

Сорбційний або аспіраційний метод використовується переважно тоді, коли речовина, що визначається, становить дуже малу частку в газовій суміші і для її аналізу потрібна велика кількість проби газу, яка має бути незрівнянно більша, ніж ємність газових піпеток. Сорбційний метод дозволяє сконцентрувати в обмеженому обсязі поглинача таку кількість аналізованої речовини, яка необхідна для аналізу.

Поглиначальні середовища, тобто використовувані сорбенти можуть бути як рідкі (в основному кислоти), так і тверді (активоване вугілля, силікагель та ін.). Визначувані сполуки в газоподібному стані уловлюються з газової суміші поглиначами, в яких розчиняються, хімічно зв'язуються або фізично адсорбуються.

Відбір проби в рідкий поглинач прагнуть здійснювати з максимальним дробленням газового потоку, що відбирається, на дрібні бульбашки в рідині і подовженням шляху руху газу через абсорбент з метою досягнення високої ефективності поглинання. Тому конструкція поглиначальних судин значно впливає на якість і швидкість відбору проби. Найбільшого поширення набули поглиначі із заглибленою в рідину газовідвідною трубкою (рис. 10).

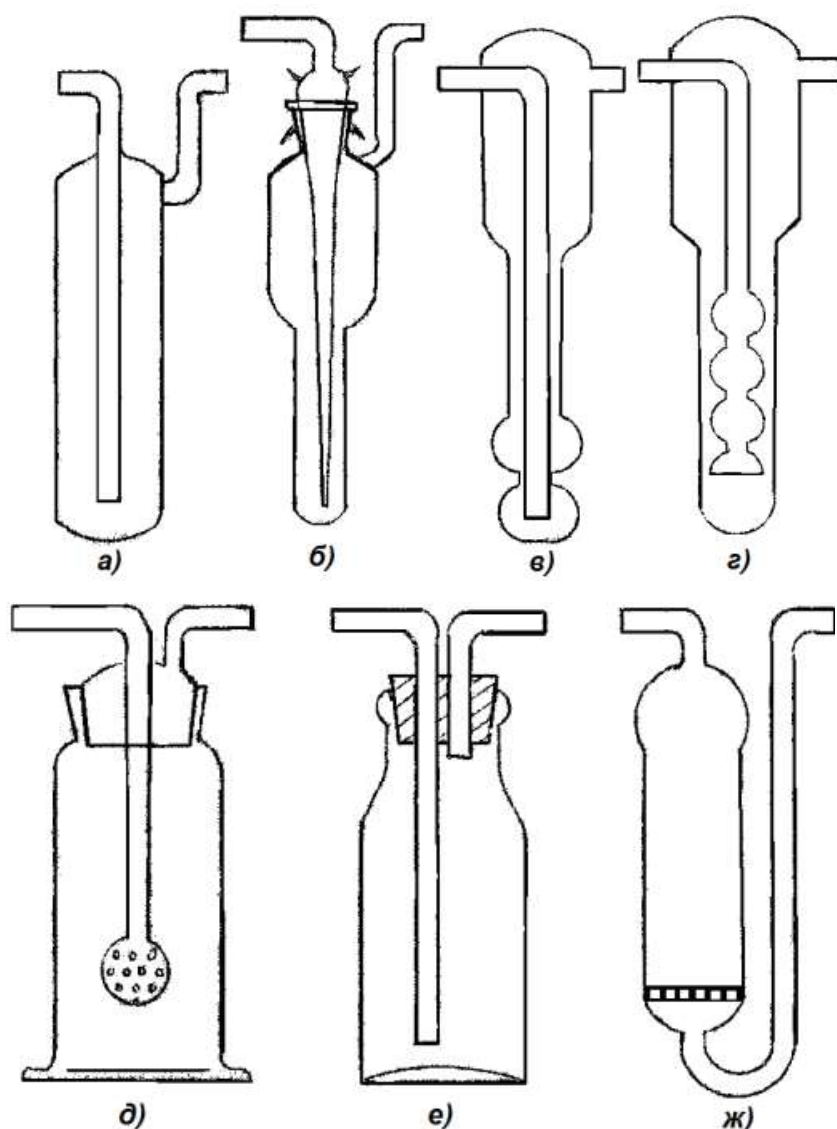


Рис. 10. Конструкції поглинальних судин:

a – судина Петрі; *б* – судина Полежаєва; *в* – судина Зайцева; *г* – судина Ріхтера; *д* – судина Дрекслея; *е* – поглинальна судина з підручних деталей; *ж* – судини з пористою платівкою

Поглинальні судини виготовляють різних об'ємів та різної форми виконання. Чимало їх є іменними, наприклад, поглинальні судини Петрі, Полежаєва та ін., що дозволяє легше орієнтуватися у конструктивних особливостях. Більшість судин малої ємності (≈ 50 мл) виконуються у вигляді цільної скляної конструкції, що може створювати деякі труднощі при їх чищенні, коли потрібний механічний вплив для очищення від твердої фази, що виділяється. Судини Полежаєва, Дрекслея (останні мають ємність понад 100 мл) виготовляють з роз'ємом на шліфах. В окремих випадках допустиме використання як поглинальних судин підручних ємностей (пляшок) із

введенням та виведенням газу через гумову пробку (рис. 10е). Більш тонкого диспергування газового потоку при порівняно великій витраті дозволяють досягти поглиначі з скляною пористою платівкою (рис. 10ж). Посудини-поглиначі можуть бути виготовлені з корозійно-стійкого металу.

Для запобігання проскакуванню забруднюючих компонентів до поглинальної судини послідовно приєднують ще один або два поглиначі. Пробу повітря, що містить шкідливу речовину, пропускають через усі абсорбери до проскоку (визначається за зміною забарвлення поглинача) у першій поглинальній посудині, після чого розчини з усіх встановлених поглиначів аналізуються.

Застосування твердих сорбентів для відбору проб дає можливість збільшити швидкість пропускання повітря чи газу. Тверді сорбенти дозволяють також здійснювати вибірку сорбцію одних речовин у присутності інших, крім того, вони зручні у роботі, при транспортуванні та зберіганні проб.

Тверді сорбенти повинні мати механічну міцність, найбільшу спорідненість до водяної пари, легко активуватися, мати максимальну сорбційну здатність, а при аналізі легко десорбувати аналізовану речовину.

Адсорбенти, що використовуються, умовно можна розділити на три групи:

- 1) гідрофільні неорганічні матеріали типу силікагелів та молекулярних сит (цеоліти);
- 2) гідрофобні неорганічні матеріали – активне вугілля (вуглецеві сита);
- 3) синтетичні макропористі органічні матеріали з високим ступенем гідрофобності та досить значною питомою поверхнею (пористі полімери – полісорби, хромосорби, порапаки).

Відбір проби на твердий адсорбент може бути здійснений у судинах, аналогічних на рис. 10, а також модифікованих для досягнення рівномірного розподілу газу в шарі зернистого сорбенту.

Для відбору сорбційним методом представницької проби, а також для її подальшого аналізу необхідне дотримання ряду умов, а саме: часу відбору

проби та її кількості, швидкості відбору, можливості виділення уловленого компонента тощо.

Час (тривалість) відбору проби та її кількість встановлюють (незалежно від фазового стану сорбенту) попередньо. Для повного уловлювання компонента, що поглинається, повинно бути встановлено послідовно кілька (мінімум два) поглиначів. У процесі підготовки до відбору проби в попередніх дослідах встановлюють для контролю на можливий проскок додатковий поглинач, сорбент з якого аналізується окремо.

Швидкість відбору проби газу регулюється по проскоку, що виник. При використанні рідких сорбентів швидкість може бути обмежена за візуальною ознакою – барботаж не повинен супроводжуватись бризкоуносом із передніх судин у наступні або перекиданням рідини.

Десорбція досліджуваного компонента після відбору проби потрібна переважно при використанні твердого сорбенту для переведення досліджуваного компонента у зручну для аналізу фазу (рідку або концентровану газову). Для найпоширеніших випадків використання адсорбенту досліджується вміст легколетких органічних речовин, що погано змішуються у рідкому стані з водою, – десорбція може бути оформлена у лабораторії за наступною схемою (рис. 11).

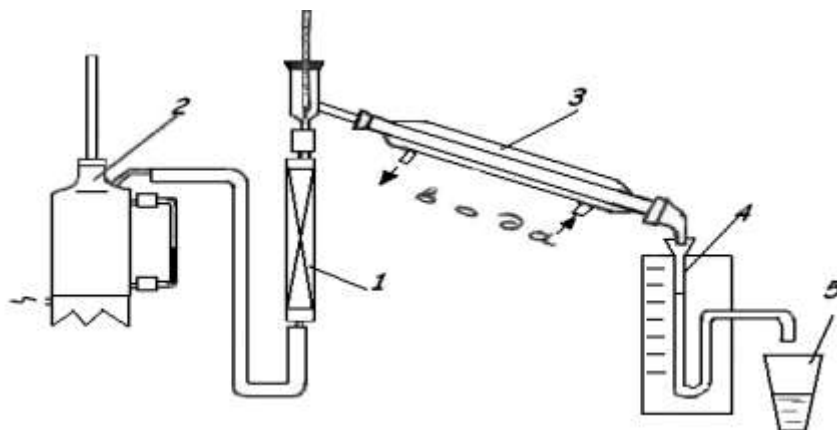


Рис. 11. Схема установки для десорбції досліджуваного компонента адсорбенту
1 – патрон з адсорбентом; 2 – генератор водяної пари; 3 – холодильник;
4 – приймач; 5 – посудина

Поглиналина посудина (патрон) з адсорбентом (1) приєднується до генератора водяної пари (2) тим патрубком, який був вихідним при пропусканні через нього проби газу. Інший патрубок патрона приєднують до холодильника (3), за яким приєднаний приймач (4). При пропущенні пари через шар адсорбенту спільна дія високої температури і газової фази, що рухається, забезпечує десорбцію сорбованого з газової суміші компонента. Сконденсована далі в холодильнику суміш поділяється в приймачі, після чого можуть бути легко виміряні кількість уловленої з газової проби досліджуваного компонента та його характеристики. Надлишок водного конденсату перетікає як важча фаза знизу в посудину (5). Десорбцію ведуть зазвичай до моменту, коли перестає зростати об'єм шару компонента, що десорбується. У зв'язку з цим зазвичай використовується градуйований приймач з малим поперечним перерізом.

Схема відбору парогазової суміші з газоходу в рідкі поглиначі представлена на рис. 12. У цьому випадку аналізовані речовини розчиняються або вступають у хімічну взаємодію з поглинальним середовищем (процес хемосорбції), що забезпечує повноту поглинання за рахунок утворення нелетких сполук.

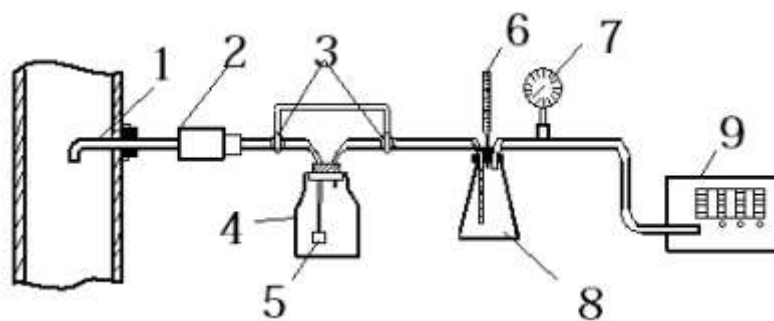


Рис. 12. Схема відбору проб із газоходу в поглинальну посудину

1 – газохід; 2 – газозабірна трубка з фільтрувальним патроном; 3 – триходові крани; 4 – поглинальна судина; 5 – пористий розпилювач; 6 – термометр; 7 – вакуумметр; 8 – краплеуловлювач; 9 – електроаспіратор

За наявності в досліджуваному середовищі пилових частинок пробозабірна трубка обов'язково забезпечується патроном, що фільтрує і перешкоджає попаданню суспензій в аналізовану пробу.

Відбір проб у розчини здійснюють аспірацією досліджуваного повітря через поглинальну посудину (абсорбер) з будь-яким розчинником. Швидкість пропускання повітря залежно від агрегатного стану сорбенту може змінюватися в межах від 0,1 до 100 л/хв. При використанні рідких сорбентів після поглинальної судини обов'язково повинен бути передбачений краплеуловлювач, що захищає електроаспіратор від крапельної вологи. Оптимальний об'єм повітря чи газу, необхідний для визначення токсичної домішки, можна розрахувати за такою формулою:

$$V = a \frac{V_0}{V_n \cdot C \cdot K},$$

де a – нижня межа виявлення в аналізованому обсязі проби, мкг;

V_0 – загальний об'єм проби, приведений до стандартних умов, мл;

V_n – об'єм проби, взятої для аналізу, мл;

C – гранично допустима концентрація, мг/м³;

K – коефіцієнт, відповідний часткам ГДК (1/4, 1/2, 1).

На закінчення розгляду використовуваних методів відбору газових проб слід зазначити, що в даний час переважно використовуються методи сорбції. Однак у ряді випадків (арбітражна проба, доставка проби газу з віддаленого об'єкта для приладового дослідження тощо) зберігає своє значення і метод наповнення одним із зазначених способів.

3. Хімічне та інструментальне визначення якісного та кількісного змісту компонентів у відібраній пробі

Вибір методу визначення якісного та кількісного складу технологічних газів залежить від обраного методу відбору проби.

Так, при сорбційному методі відбору проби в рідкий поглинач, *аналіз рідкої фази* передбачається проводити методом об'ємного титрування (хімічне визначення) аліквотної частини відібраної проби.

При відборі проби на твердий поглинач також, хоч і рідше, ніж при роботі з рідким поглиначем, є можливість визначити вміст уловленого **компонента шляхом безпосереднього аналізу сорбенту.**

У тих випадках, коли аналіз досліджуваної домішки у фазовому стані використаного сорбенту утруднений, домішку десорбують (див. рис. 11) і переводять у фазу, зручну для аналізу.

Для **аналізу газової проби** нині розроблено багато методів та способів, з яких можна назвати такі:

- 1) повний аналіз складних газових сумішей;
- 2) індивідуальне визначення одиночних компонентів;
- 3) експрес-аналіз (дозволяє провести прискорений аналіз, але не відрізняється високою точністю – похибка аналізу може досягати 30%).

Широке поширення в даний час набув **метод хроматографічного аналізу**, що добре зарекомендував себе та забезпечує досить точний аналіз газових сумішей. Більш того, якщо якісний склад суміші невідомий, хроматографія дозволяє встановити його шляхом ідентифікації з відомими чистими речовинами.

Основним недоліком методу, що обмежує область його використання, є те, що, по-перше, хроматографи є дуже дорогими і громіздкими приладами, тому їх в основному використовують тільки в стаціонарних умовах (в лабораторії або спеціально обладнаному приміщенні). А по-друге, для роботи на хроматографі потрібні висококваліфіковані спеціалісти.

Високі переваги хроматографії не виключають використання швидких експрес-методів, що не вимагають спеціальних умов.

До таких методів можна віднести **лінійно-колористичний метод**. Особливістю методу є те, що його можна використовувати без попереднього відбору проби газу, оскільки об'єм проби дозується під час самого аналізу. Таким чином, газова суміш для лінійно-колористичного аналізу може бути взята як з піпетки з пробною, так і безпосередньо з газометра або іншої посудини, у тому числі виробничої.

Лінійно-колористичне визначення вмісту домішок у газовій пробі здійснюється приладом УГ-2. Метод ґрунтується на зміні забарвлення порошку, попередньо обробленого спеціальним розчином у присутності аналізованого компонента. Концентрація домішки пробі визначається за шкалою залежно від довжини забарвленого шару. Зокрема, при визначенні в газовій пробі аміаку через індикаторну трубку, що містить червоно-оранжевий порошок, попередньо оброблений бромфеноловим синім, пропускають аміачну газову суміш. У присутності аміаку відбувається зміна забарвлення порошку з оранжево-червоного на синій. Користуючись спеціальною шкалою, градуйованою в мг/м³ (додається до приладу), висотою забарвленого (синього) шару визначають концентрацію аміаку в пробі.

4. Визначення концентрації компонента у відібраній пробі за нормальних умов

Раніше зазначалося, що контроль за об'ємною швидкістю відбору газової проби необхідний, щоб уникнути помилок аналізу, що виникають у разі порушення представницькості проби.

Для точного, підсумкового обчислення концентрації забруднюючого компонента відібраної пробі необхідно знати загальну кількість відібраної проби, тобто об'єм газу.

За різних методів відбору проби визначення загальної кількості газової проби здійснюють наступним чином. При відборі проб методом наповнення об'єм судини заздалегідь відомий, і ця величина приймається як об'єм проби газу. Прилад для вимірювання об'єму пропущеного газу потрібен лише у разі наповнення піпетки способом обміну з метою визначення моменту досягнення шести-десятикратного обміну газу в піпетці. З використанням вакуумного способу і способу газорідного витіснення необхідно забезпечити лише регламентовану швидкість наповнення піпетки газом, тобто здійснювати

вимірювання швидкості (при газорідинному витісненні про це можна судити за швидкістю витіснення рідини в градуйований приймач).

При сорбційному методі відбору газової проби для вимірювання загальної кількості газу, що пройшов використовують диференціальні та підсумовуючі витратоміри. До найпоширеніших витратомірів диференціального типу відносяться ротаметри та реометри, до підсумовуючих (інтегральних) – газові лічильники («газові годинники»).

Найбільшу точність вимірювання забезпечують підсумовуючі витратоміри, що дозволяють виміряти об'єм газу за будь-який певний проміжок часу. Похибка вимірювання об'єму пропущеного повітря для барабанного газового лічильника ГСБ-4 не перевищує 1 %.

Оскільки на об'єм газу впливає температура і тиск, у якому газ перебуває у газоході, то об'єм газу, зазвичай, виражають значеннями, отриманими за певних, так званих нормальних умовах, тобто у сухому стані при тиску 101,31 кПа (760 мм рт. ст.) та температурі 273 К (0 °С). Як одиниці виміру наведеного об'єму використовуються звичайні одиниці виміру з додаванням слова «нормальний», наприклад, нормальний кубічний метр, а позначається ця одиниця як нм^3 . Тому, вимірюючи за допомогою перелічених приладів фактичний об'єм відібраної проби газу, одночасно слід визначати температуру та тиск, при яких вимірюється цей об'єм. До нормальних умов об'єм газу приводять за рівнянням:

$$V_0 = V_i \frac{T_0 \cdot (P_i - P_{\text{H}_2\text{O}})}{T_i \cdot P_0},$$

де T_0, P_0 – відповідно, температури (273 К) та тиск (101,31 кПа) за нормальних умов;

V_i – вимірюваний об'єм газової проби за фактичних умов;

T_i, P_i – фактична температура, абсолютний тиск газової проби;

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ – парціальний тиск водяної пари при температурі T_i .

Для скорочення обчислень при приведенні об'ємів газу до нормальних умов значення дробової частини формули обчислені при різних поєднаннях

температури та тиску у вигляді коефіцієнта приведення K (залежність коефіцієнта K від температури і тиску представлена в додатку).

Вимірний та приведений до нормальних умов об'єм проби може бути використаний для обчислення питомого вмісту домішки (концентрації) в одиниці об'єму:

$$C_i = \frac{m_i}{V_2 \cdot K}, \text{ Г/Л}$$

де m_i – маса уловленої домішки (забруднюючого компонента), г;

V_2 – об'єм пропущеного газу (дані зняті з газового лічильника), л;

K – коефіцієнт приведення об'єму газу до сухого стану

Перелік питань для поточного та періодичного контролю

1. Основні етапи аналізу газового середовища.
2. Параметри та фактори, що впливають на умови відбору проби.
3. Правила вибору ділянки та перерізу газоходу.
4. Умова ізокінетичності. Можливі помилки, що виникають за його недотримання.
5. Призначення триходового крану.
6. Особливості відбору гомогенної та гетерогенної проби. Відбір проби на горизонтальній та вертикальній ділянках газоходу.
7. Чинники, що впливають на вибір методу відбору проби.
8. Метод наповнення: сфера застосування, класифікація та особливості.
9. Сорбційний метод: сфера застосування, особливості та види адсорбентів. Приклад рідких та твердих поглиначів (сорбентів).
10. Конструкції поглинальних судин.
11. Основні умови, що забезпечують відбір представницької проби сорбційним методом.
12. Десорбція досліджуваного компонента.
13. Методи визначення якісного та кількісного складу відібраної проби. Переваги, недоліки та особливості методів.
14. Фізико-хімічні основи йодометричного визначення кисню у повітрі робочої зони.
15. Особливості визначення об'єму відібраної проби в залежності від вибраного методу відбору проби.
16. Диференціальні та підсумовуючі витратоміри: типи апаратів та їх особливості.

Перелік тестових завдань

1. Відповідність (не)дотримання умов відбору проби її складу

А)	Температура в газоході вище температури відібраної проби	конденсація окремих компонентів в пробовідбірному тракті
Б)	Температура в газоході нижче температури відібраної проби	кристалізація окремих компонентів в пробовідбірному тракті
В)	Температура в газоході рівна температурі відібраної проби	склад відібраної проби аналогічний складу газу в газоході

2. Параметри, що впливають на кількість проби, що відбирається:

- А) концентрація аналізованого компонента
- Б) фізико-хімічні властивості газу
- В) властивості використовуваного поглинача
- Г) чутливість методики аналізу

3. Найбільша швидкість газу у газоході спостерігається:

- А) у центрі
- Б) у верхній частині
- В) в нижній частині
- Г) незмінна по всьому перерізу

4. Витіснювальна рідина, що використовується при відборі проби методом газорідинного витіснення

- А) конц. H_2SO_4
- Б) розчин $NaCl$
- В) насичений розчин $CaCl_2$
- Г) дистильована вода
- Д) водопровідна вода

5. Гідрофільний органічний сорбент:

- А) цеоліт
- Б) іоніт
- В) активоване вугілля
- Г) силікагель

6. Ділянка газоходу, краща при відборі пилогазоповітряного потоку

- А) вертикальна
- Б) горизонтальна
- В) немає значення

7. Мінімальна кількість точок при відборі проби (у кожному напрямку) при перерізі газоходу 800×800 мм:

- А) 3
- Б) 4
- В) 5
- Г) 8

8. Призначення трубки Піто

- А) вимірювання лінійної швидкості газу
- Б) поглинальна посудина для сорбентів
- В) вимірювання тиску газу
- Г) вимірювання об'єму газу

9. Відповідність приладу визначеному параметру

А)	манометр	тиск газу
Б)	реометр	об'єм газу
В)	пневматична трубка	лінійна швидкість
Г)	термометр	температура

10. Об'єм повітря (кратний об'єм газу, що відбирається) необхідний для продування комунікацій:

- А) 3–4
- Б) 5–6
- В) 6–10
- Г) 8–10

11. Метод відбору проби, що використовується при обмеженому об'ємі проби, що відбирається, і високої концентрації аналізованої домішки:

- А) обміну
- Б) газорідного витіснення
- В) сорбційний
- Г) наповнення

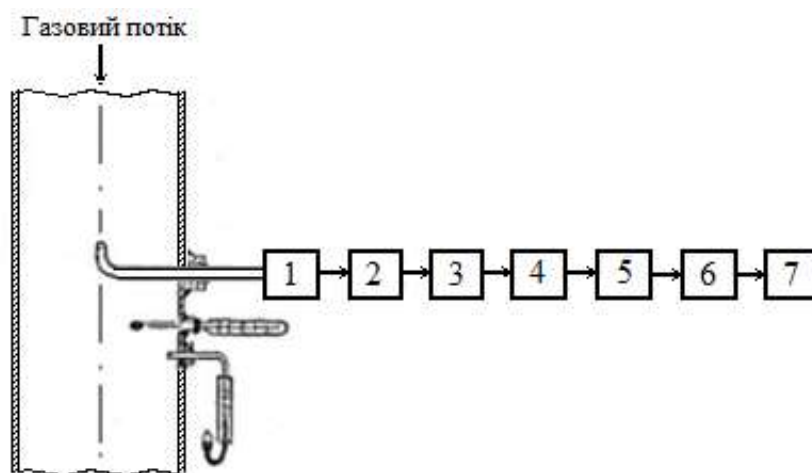
12. Тиск газу, що створюється в газоході, якщо точка відбору проби розташована нижче за вентилятор, що забезпечує рух газу по даному газоходу

- А) надлишковий
- Б) атмосферний
- В) розрядження

13. Рідкий поглинач, який використовується для сорбції з газового потоку SO_2 :

- А) розчин H_2SO_4
- Б) дистильована вода
- В) розчин NaOH
- Г) насичений розчин NaCl

14. Відповідність пристроїв при відборі проби наступного складу: кількість газового середовища необмежена, концентрація газоподібної домішки мінімальна, газ у газоході знаходиться під тиском і характеризується підвищеною вологістю:



- А) поглинач, заповнений рідким сорбентом
- Б) аналогічний поглинач, заповнений рідким сорбентом
- В) краплеуловлювач
- Г) термометр
- Д) манометр
- Ж) патрон із силікагелем
- З) реометр

Рекомендована література

1. Ren Y., Du J., Zhang M., Li J. *Laser absorption spectroscopy based on dual-convolutional neural network algorithms for multiple trace gases analysis*. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2024. Vol. 420. An 136476. DOI: 10.1016/j.snb.2024.136476
2. Prasad P., Raut P., Goel S., Barnwal R. P., Bodhe G. L. *Electronic nose and wireless sensor network for environmental monitoring application in pulp and paper industry: a review*. *Environ. Monit. Assess.* 2022. Vol. 194. An 855. DOI: 10.1007/s10661-022-10479-w
3. Arrhenius K., Francini L., Bükér O. *Sampling methods for renewable gases and related gases: challenges and current limitations*. *Anal. Bioanal. Chem.* 2022. Vol. 414. P. 6285–6294. DOI: 10.1007/s00216-022-03949-0
4. Dong D., Jiao L., Li C., Zhao C. *Rapid and Real-time Analysis of Volatile Compounds Released from Food using Infrared and Laser Spectroscopy*. *Trends Anal. Chem.* 2019. Vol. 110. P. 410–416. DOI: 10.1016/j.trac.2018.11.039
5. Risoluti R., Materazzi S. *Mass spectrometry for evolved gas analysis: An update*. *Appl. Spectrosc. Rev.* 2019. Vol. 54, N 2. P. 87–116. DOI: 10.1080/05704928.2018.1452252
6. Nelson G. O. *Gas Mixtures. Preparation and Control*. Lewis Publishers. New York, 2018. 304 p. DOI: 10.1201/9780203755105
7. Platonov I. A., Rodinkov O. V., Gorbacheva A. R., Moskvina L. N., Kolesnichenko I. N. *Methods and Devices for the Preparation of Standard Gas Mixtures*. *J. Anal. Chem.* 2018. Vol. 73. P. 109–127. DOI: 10.1134/S1061934818020090

Електронні інформаційні ресурси

1. Національна бібліотека ім. В. І. Вернадського. <http://nbuv.gov.ua>
2. Наукова бібліотека ОНУ. <http://library.onu.edu.ua/>
3. Спеціальності та освітні програми факультету хімії та фармації. <http://chempharm.onu.edu.ua/pro-fakultet/spetsialnosti-ta-osvitni-prohramy>
4. Інформаційний ресурс Scopus – www.elsevier.com/scopus
5. Інформаційний ресурс Web of Science – <https://mjl.clarivate.com/home>

ДОДАТОК

Значення коефіцієнта для приведення об'єму газу до сухого стану при 273 К (0°C) і $10,1 \cdot 10^4$ Па (760 мм рт. ст.)

Тиск газу (абс.), мм рт. ст.	Температура газу, °С								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
725	0,9086	0,8884	0,8675	0,8475	0,8221	0,7968	0,7685	0,7377	0,7034
730	0,9149	0,8946	0,8736	0,8523	0,8281	0,8026	0,7743	0,7434	0,7040
735	0,9213	0,9009	0,8798	0,8584	0,8340	0,8084	0,7800	0,7490	0,7145
740	0,9276	0,9071	0,8859	0,8644	0,8399	0,8142	0,7858	0,7547	0,7201
745	0,9340	0,9133	0,8920	0,8704	0,8459	0,8201	0,7915	0,7603	0,7256
750	0,9403	0,9196	0,8982	0,8764	0,8518	0,8259	0,7972	0,7660	0,7312
755	0,9466	0,9258	0,9043	0,8825	0,8577	0,8317	0,8030	0,7716	0,7368
760	0,9530	0,9320	0,9104	0,8885	0,8676	0,8376	0,8087	0,7773	0,7423
765	0,9593	0,9383	0,9166	0,8945	0,8696	0,8434	0,8145	0,7829	0,7479
770	0,9657	0,9445	0,9227	0,9006	0,8755	0,8492	0,8202	0,7886	0,7534
775	0,9720	0,9507	0,9288	0,9011	0,8763	0,8502	0,8252	0,7942	0,7590

Навчальне видання

ОСНОВИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
спеціальності ЕЗ Хімія, ОНП Хімія

Електронне практичне видання

Укладачі:

Хома Руслан Євгенійович
Менчук Василь Васильович
Беньковська Тетяна Сергіївна

В авторській редакції

Затв. авт. 12.04.2026. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним забезпеченням
для читання файлів формату PDF.
Обсяг 0,9 МБ. Зам. № 3136.

Видавець:

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Змієнка Всеволода, буд. 2, м. Одеса, 65082, Україна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8592 від 23.03.2026 р.
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua