

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ПРИРОДНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

2.1 Мета роботи

Вивчити та засвоїти методику визначення густини вуглеводневих газів з допомогою ефузіометра.

2.2 Теоретична частина

Визначення густини газів проводять у промислових і науково-дослідних лабораторіях нафтогазовидобувних підприємств і науково-дослідних інститутів. Густина газів входить до багатьох розрахункових формул, які використовуються в газовій справі: при підрахунках запасів газу в покладі і кількості видобутого газу; при визначенні за аналітичними залежностями пластових і вибійних тисків; при розрахунках процесів фільтрації газу в пласті, руху його у свердловинах і в газозбірних мережах і т. д.

Ще більше значення має знання точної величини відносної густини газу при розрахунку критичних параметрів газу (псевдокритичних тиску і температури), для визначення коефіцієнта стисливості і динамічного коефіцієнта в'язкості та інших характеристик природних вуглеводневих газів, оскільки для цього використовуються графічні та аналітичні залежності характеристик газу від його відносної густини. Таким чином, випускники нафтогазових спеціальностей у практичній роботі будуть постійно оперувати величинами густини газів, самостійно визначати густину газу або використовувати результати її визначень. Тому мета лабораторної роботи полягає в тому, щоб студенти отримали необхідні теоретичні знання і практичні навички з визначення густини газу. Для цього в лабораторному практикумі наведено теоретичні основи і виконано огляд методів визначення густини газів, описано стандартний і спрощений методи визначення густини газів і наведено приклади і необхідні таблиці. Для самостійної роботи студентів наведено контрольні питання і джерела інформації.

Густина газу – це один з основних параметрів газу, що залежить від його складу, тиску і температури. Природні гази за складом і вмістом окремих компонентів поділяються на три групи: 1) гази, які видобувають із суто газових родовищ (сухі гази) і складаються в основному з метану (82 – 98 % об.); 2) гази, які видобувають із газоконденсатних родовищ і є сумішшю сухого газу та

рідкого газового (вуглеводневого) конденсату, що складається з бензинових, гасових, лігроїнових фракцій, а іноді й важких масляних фракцій (солярного масла) – цей газ також містить значну кількість метану (70 – 85 % об. і більше); 3) гази, які видобувають разом з нафтою із нафтових родовищ, – це супутні нафтові гази, які представляють собою суміші сухого газу, пропан-бутанової фракції і газового бензину і містять тільки 30 – 70 % об. метану.

Густина природного вуглеводневого газу ρ це маса одиниці об'єму газу при певних тиску і температурі і визначається як відношення маси газу M до об'єму V , який він займає,:

$$\rho = \frac{M}{V} . \quad (2.1)$$

Густина газу залежить від його складу, тиску і температури. При відомому складі густину газу (кг/м³) визначають як відношення молярної маси газу M_r (кг/моль) до об'єму одного моля (м³/моль) за формулами:

- за нормальних умов (тиск $P_0 = 0,1013$ МПа, температура $T_0 = 273$ К або $t_0 = 0$ °С):

$$\rho_{r,0} = \frac{M_r}{22,4141} \quad (2.2)$$

- за стандартних умов (тиск $P_{ст} = 0,1013$ МПа, температура $T_{ст} = 293$ К або $t_{ст} = 20$ °С):

$$\rho_{r,ст} = \frac{M_r}{24,055} , \quad (2.3)$$

де

$$M_r = \sum_{i=1}^n y_i M_i \quad (2.4)$$

y_i – об'ємна (молярна) частка i -ого компонента в газі;

M_i – молекулярна маса i -того компонента;

n – кількість компонентів у газовій суміші;

22,4141; 24,055 – об'єм, який займає один моль газу відповідно за нормальних і стандартних умов.

У газовій промисловості облік газу проводиться при стандартних фізичних умовах.

Густину газу при заданих тиску P і температурі T можна визначити, використовуючи рівняння стану газу, наприклад, рівняння Клапейрона-Менделєєва:

$$\rho_{\Gamma}(P,T) = \rho_{\Gamma,CT} \frac{P \cdot T_{CT}}{Z \cdot P_{CT} \cdot T}, \quad (2.5)$$

де Z – коефіцієнт стисливості газу відповідного складу при заданих тиску P і температурі T .

У нафтогазовій справі для практичних розрахунків часто використовують відносну густину газу, під якою розуміють відношення густини газу до густини повітря при однакових умовах (тиску і температурі). Відносна густина повітря за нормальних умов становить $\rho_{n.o} = 1,293 \text{ кг/м}^3$, за стандартних умов - $\rho_{n.ct} = 1,205 \text{ кг/м}^3$. Відносна густина газу зручна тим, що вона є сталою величиною і не залежить від тиску і температури, якщо нехтувати різницею в коефіцієнтах стисливості газу при нормальних і стандартних умовах.

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma.o}}{\rho_{п.o}} \quad \text{або} \quad \bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma.o}}{1,293}; \quad (2.6)$$

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma.ct}}{\rho_{п.ct}} \quad \text{або} \quad \bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma.ct}}{1,205}. \quad (2.7)$$

За обома формулами отримують однакові значення відносної густини газу.

Відносну густину газу можна також визначити, як відношення молекулярної маси газу M_{Γ} до молекулярної маси повітря M_n ($M_n = 28,979 \text{ кг/моль}$) за формулою:

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{M_{\Gamma}}{M_n} = \frac{M_{\Gamma}}{28,979}. \quad (2.8)$$

Вираз (2.8) для визначення відносної густини газу $\bar{\rho}_{\Gamma}$ можна також отримати і спільного розв'язку рівнянь (2.2) і (2.6), (2.3) і (2.7):

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma.o}}{1,293} = \frac{M_{\Gamma}}{22,4141 \cdot 1,293} = \frac{M_{\Gamma}}{28,979}; \quad (2.9)$$

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma.ct}}{1,205} = \frac{M_{\Gamma}}{24,055 \cdot 1,205} = \frac{M_{\Gamma}}{28,979}. \quad (2.10)$$

Ефузіометричний метод визначення густини газу ґрунтується на вимірюванні швидкості (часу) витікання через вузький отвір (капіляр) однакових об'ємів двох різних газів, густина одного з яких відома. Фізична суть ефузіометричного методу вимірювання густини газу полягає в наступному. Газ, знаходячись в посудині під тиском P_1 , витікає з неї через вузький отвір площею

С у простір, де є тиск P_2 . Позначимо лінійну швидкість витікання газу через W , а густину газу через ρ . Тоді за одиницю часу через отвір протікає маса газу:

$$M = W \cdot S \cdot \rho. \quad (2.11)$$

Робота A , яка витрачається при цьому, дорівнює:

$$A = W \cdot S \cdot (P_1 - P_2). \quad (2.12)$$

За законом збереження енергії:

$$\frac{M \cdot W^2}{2} = W \cdot S \cdot (P_1 - P_2). \quad (2.13)$$

Підставимо в рівняння (2.13) вираз для маси газу з рівняння (2.11).
Отримаємо:

$$\frac{\rho W^2}{2} = P_1 - P_2. \quad (2.14)$$

Звідси отримуємо наступний вираз для швидкості витікання газу через вузький отвір:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (2.15)$$

З виразу (2.15) слідує, що швидкість витікання газу через вузький отвір, обернено пропорційна квадратному кореню із його густини.

Якщо через вузький отвір будуть витікати послідовно рівні об'єми різних газів при однакових тисках P_1 і P_2 і температурах, то з рівняння (2.15) можна отримати наступне співвідношення:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{W_2^2}{W_1^2}. \quad (2.16)$$

Наведене співвідношення (2.16) називається законом Грема.

Швидкість витікання певного об'єму газу через вузький капіляр обернено пропорційна часу витікання. Тому співвідношення (2.16) можна записати у вигляді:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}. \quad (2.17)$$

Із закону Генрі витікає, що співвідношення густин різних газів обернено пропорційне співвідношенню квадратів швидкостей витікання однакових об'ємів цих газів через вузькі отвори і прямо пропорційне співвідношенню квадратів часу витікання цих газів. Тому, знаючи густину одного газу і визначивши час витікання кожного з них, можна визначити густину іншого (досліджуваного) газу. В основному в якості відомого газу береться повітря.

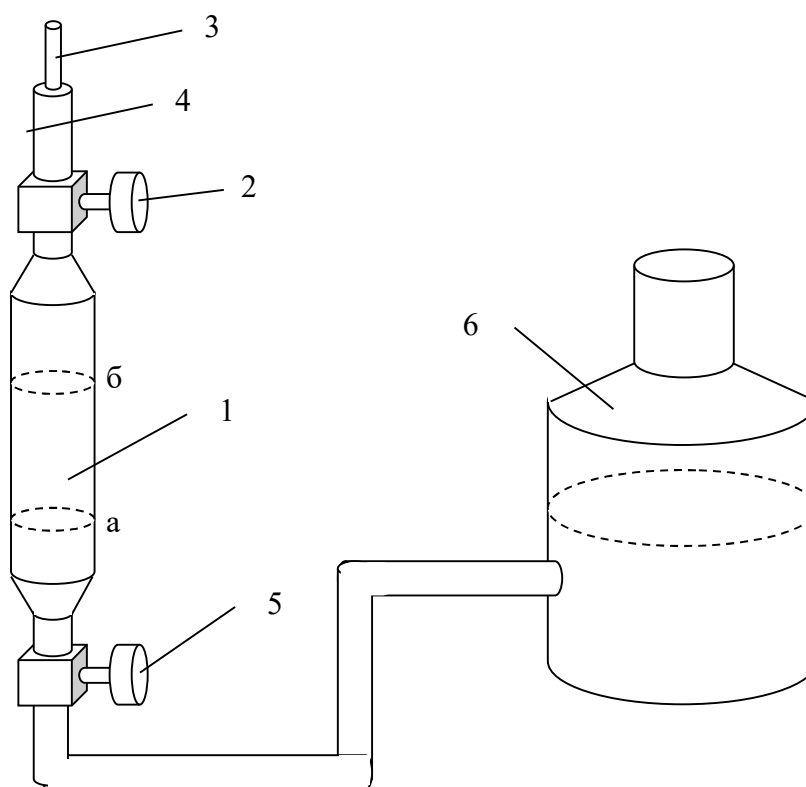
2.3 Обладнання та прилади

Ефузіометр призначений для визначення густини вуглеводневих газів. Схема приладу зображена на рисунку 2.1. Прилад складається з вимірювальної ємності (посудини) 1 з двома мітками „а” і „б”, триходового крана 2, діафрагми (капілярного відводу) 3, відводу 4 для заповнення вимірювальної ємності досліджуванним газом, двоходового крана 5, зрівнювальної склянки 6.

2.4 Порядок виконання роботи

2.4.1 Вимірювальну склянку 1 при верхньому положенні зрівнювальної склянки 6 заповнюють розсолем – насиченим розчином повареної солі (кран 5 відкритий, кран 2 в положенні ”в”). Відвідні трубки, які йдуть до джерела досліджуваного газу, також повинні бути заповнені розсолем.

2.4.2 Відвідну трубку з’єднують із джерелом газу, зрівнювальну склянку 6 опускають і засмоктують газ у вимірювальну посудину 1 так, щоб рівень води був нижче мітки “а”.



*1 – вимірювальна ємність з двома мітками “а” і “б”; 2 – триходовий кран;
3 – капілярний відвід (діафрагма); 4 – відвід для заповнення ефузіометра газом,
що досліджується; 5 – двоходовий кран; 6 – зрівнювальна склянка*

Рисунок 2.1 – Прилад для вимірювання густини вуглеводневих газів

2.4.3 Закривають крани 5 і 2, зрівнювальну склянку 6 піднімають у верхнє положення, потім відкривають кран 5, а кран 2 ставлять у положення “Г”.

При цьому рівень рідини (розсолу) у вимірювальній склянці почне підніматися. Коли рівень розсолу співпадає з міткою „а”, включають секундомір, а при досягненні рівнем розсолу мітки “б” секундомір виключають.

Таким чином визначають час витікання t_{Γ} заданого об’єму газу від мітки “а” до мітки „б”. Вимірювання часу витікання газу повторюють три рази і вираховують його середнє значення. Результати вимірювань заносять у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати дослідів та обчислень

Номер дослідів	Час витікання досліджуваного газу, с	Час витікання повітря, с	Густина повітря, кг/м ³	Густина газу, кг/м ³	Відносна густина газу
1			1,205		
2			1,205		
3			1,205		
середнє значення					

2.4.4 Від’єднують джерело досліджуваного газу, заповнюють вимірювальну ємність 1 повітрям і повторюють дослідження по п.2.4.3 з повітрям. Результати вимірювання заносять у таблицю 2.1.

2.5 Обробка результатів

Густина газу ρ_{Γ} за умов досліду визначають за формулою:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\Pi} \cdot \frac{t_{\Gamma}^2}{t_{\Pi}^2}, \quad (2.17)$$

де ρ_{Π} - густина повітря за умов досліду, кг/м³.

t_{Γ} - середнє значення часу витікання газу, с.

t_{Π} - середнє значення часу витікання повітря, с.

В основному визначають густину газу за стандартних умов, при яких густина повітря дорівнює $\rho_{\Pi}=1,205 \text{ кг/м}^3$.

Відносну густину газу визначають за формулою:

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{\rho_{\varepsilon}}{\rho_{\Pi}} = \frac{t_{\varepsilon}^2}{t_{\Pi}^2}. \quad (2.18)$$

За результатами досліджень необхідно визначити абсолютну та відносну похибки вимірювання густини газу (часу витікання газу).

Абсолютна похибка вимірювання – це абсолютне значення різниці між середнім значенням вимірюваної величини і значенням окремих вимірів.

Наприклад, в результаті вимірювань густини газу отримано такі значення: $\rho_1=0,683 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2=0,690 \text{ кг/м}^3$; $\rho_3=0,685 \text{ кг/м}^3$. Середнє значення густини газу дорівнює $\rho_{\text{ср}}=0,686 \text{ кг/м}^3$.

Абсолютна похибка дорівнює

$$\Delta \rho_1 = |0,686 - 0,683| = 0,003 \text{ кг/м}^3; \quad \Delta \rho_2 = |0,686 - 0,690| = 0,004 \text{ кг/м}^3.$$

$$\Delta \rho_3 = |0,686 - 0,665| = 0,0001 \text{ кг/м}^3.$$

Середня абсолютна похибка $\Delta \rho_{\text{ср}}$ – це середнє арифметичне абсолютних похибок кількох вимірів:

$$\Delta \rho_{\text{ср}} = \frac{\Delta \rho_1 + \Delta \rho_2 + \Delta \rho_3}{3}, \quad (2.19)$$

$$\Delta \rho_{\text{ср}} = 0,00266 \text{ кг/м}^3.$$

Відносна похибка – це відношення середньої абсолютної похибки до середнього значення вимірюваної величини :

$$\delta = \frac{\Delta \rho_{\text{ср}} \cdot 100}{\rho_{\text{ср}}},$$

$$\delta = 0,39 \text{ \%}.$$

Вимоги, яких необхідно дотримуватись під час проведення роботи для отримання точних результатів :

- 1) рівність тиску і температури в ефузіометрі при витіканні повітря і газу;
- 2) забезпечення чистоти каліброваного отвору в діафрагмі;
- 3) багаторазове промивання ефузіометра гасом перед початком вимірювань;
- 4) забезпечення точності проведення вимірювань.

2.6 Контрольні питання

2.6.1 Що розуміють під густиною природного вуглеводневого газу?

2.6.2 Запишіть основні залежності для визначення густини газу.

2.6.3 Охарактеризуйте поняття „відносна густина газу”, як її визначають?

2.6.4 В чому полягає закон Грема?

2.6.5 Охарактеризуйте порядок визначення густини газу з допомогою ефузіометра.

2.6.6 Як обробляють результати досліду з визначення густини газу за допомогою ефузіометра?

2.6.7 Як визначають абсолютну і відносну похибки вимірювань?