

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ФІЗИЧНОЇ РЕЧОВИНИ РЕАЛЬНИЙ ГАЗ З ТЕОРЕТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ

Селянський О. О.

студент гр. ЕІ-24-16

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

м. Запоріжжя, Україна

Колесников С. О.

*к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри природничо-наукових
та загальноінженерних дисциплін, науковий керівник*

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

м. Запоріжжя, Україна

Ключові відмінності між ідеальним газом (теоретична модель) та реальним газом (фізична речовина) полягають у двох основних припущеннях молекулярно-кінетичної теорії, які застосовуються до ідеального газу, але не відповідають дійсності для реального [1, 2]:

1. Молекули ідеального газу вважаються матеріальними точками і їх власний об'єм нехтується порівняно з об'ємом посудини. Молекули реального газу мають кінцевий (власний) об'єм, який займає простір і стає суттєвим за певних умов.

2. Сили притягання та відштовхування між молекулами ідеального газу відсутні (крім моменту абсолютно пружного зіткнення). Між молекулами реального газу діють сили міжмолекулярної взаємодії (сили Ван-дер-Ваальса), які впливають на їхній рух та енергію.

3. Параметри ідеального газу за будь-яких умов підпорядковуються рівнянню Менделєєва – Клапейрона:

$$P_{\text{ід}} V = \nu RT. \quad (1)$$

Стан реального газу описується складнішими рівняннями, наприклад, рівнянням Ван-дер-Ваальса:

$$\left(P_{\text{реал}} + \frac{a \cdot \nu^2}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT, \quad (2)$$

яке враховує поправки на власний об'єм та взаємодію.

4. Реальний газ відхиляється від ідеальної поведінки, особливо при високому тиску та низькій температурі, коли молекули знаходяться близько одна до одної і взаємодія стає значущою.

5. Реальний газ можливо зрідлити шляхом охолодження та стиснення. Оскільки в ідеальному газу відсутні сили притягання його неможливо зрідлити шляхом охолодження або стиснення.

Фактично, реальні гази поведуться подібно до ідеальних лише за умов низького тиску та високої температури, коли відстані між молекулами великі, а кінетична енергія значна, що мінімізує вплив власного об'єму та міжмолекулярних сил.

Для наочного розуміння відмінностей параметрів стану між ідеальним і реальним газом розглянемо числовий приклад обчислення тиску при фіксуванні інших параметрів моделі [1, 2]. Припустимо, що 1 кмоль вуглекислого газу (CO_2) знаходиться при температурі $100\text{ }^\circ\text{C}$ в об'ємі 1 м^3 . Знайти тиск газу, вважаючи його:

а) ідеальним;

б) реальним.

Сталі Ван-дер-Ваальса для CO_2 : $a = 0,364\text{ Па} \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2$,
 $b = 4,26 \times 10^{-5}\text{ м}^3 / \text{моль}$.

Розв'язання.

Дано:

$$\nu = 1\text{ кмоль} = 1000\text{ моль};$$

$$T(\text{K}) = 100 + 273,15 = 373,15\text{ K};$$

$$V = 1\text{ м}^3;$$

$$a = 0,364\text{ Па} \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2;$$

$$b = 4,26 \times 10^{-5}\text{ м}^3 / \text{моль};$$

$$R \approx 8,314\text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K}).$$

а) Ідеальний газ (рівняння Клапейрона – Менделєєва). З рівняння (1) отримуємо:

$$P_{\text{ід}} V = \nu RT \cdot P_{\text{ід}} = \frac{\nu RT}{V};$$

$$P_{\text{ид}} = \frac{1000 \text{ моль} \cdot 8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 373,15 \text{ К}}{1 \text{ м}^3} \approx \\ \approx 3,102,500 \text{ Па} \approx 3,1 \text{ МПа.}$$

б) Реальний газ (рівняння Ван-дер-Ваальса). З рівняння (2) отримаємо:

$$P_{\text{реал}} = \frac{\nu RT}{V - \nu b} - \frac{a \cdot \nu^2}{V^2}.$$

Обчислюємо проміжні значення:

$$\nu b = 1000 \text{ моль} \cdot 4,26 \times 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{моль} = 0,0426 \text{ м}^3;$$

$$V - \nu b = 1 \text{ м}^3 - 0,0426 \text{ м}^3 = 0,9574 \text{ м}^3;$$

$$\frac{a \cdot \nu^2}{V^2} = \frac{0,364 \text{ Па} \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2 \cdot (1000 \text{ моль})^2}{(1 \text{ м}^3)^2} = \\ = \frac{0,364 \cdot 1,000,000}{1} = 364,000 \text{ Па.}$$

Підставляємо у формулу для $P_{\text{реал}}$:

$$P_{\text{реал}} = \frac{1000 \text{ моль} \cdot 8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 373,15 \text{ К}}{0,9574 \text{ м}^3} - 364,000 \text{ Па};$$

$$P_{\text{реал}} \approx \frac{3,102,500 \text{ Па} \cdot \text{м}^3}{0,9574 \text{ м}^3} - 364,000 \text{ Па};$$

$$P_{\text{реал}} \approx 3,240,650 \text{ Па} - 364,000 \text{ Па} \approx 2,876,650 \text{ Па} \approx 2,88 \text{ МПа.}$$

Відповідь:

а) Тиск ідеального газу становить близько 3,1 МПа;

б) Тиск реального газу становить близько 2,88 МПа.

У цьому прикладі різниця між тисками ідеального та реального газу є помітною (близько 7%). Тиск реального газу нижчий, в основному через дію сил міжмолекулярного притягання.

Висновки:

1. Різниця між результатами показує, що для реальних газів при значних тисках і помірних температурах рівняння ідеального газу дає помітну похибку.
2. Фактично, реальні гази поведуться подібно до ідеальних лише за умов низького тиску та високої температури, коли відстані між молекулами великі, а кінетична енергія значна, що мінімізує вплив власного об'єму та міжмолекулярних сил.
3. Реальні умови зберігання в балоні (CO_2): газ зазвичай знаходиться під високим тиском (наприклад, близько 50–60 атмосфер при кімнатній температурі, а іноді зберігається як рідина), і поведінка газу значно відхиляється від ідеальної. Тому для точного розрахунку потрібне використання рівняння стану реального газу або конкретних таблиць властивостей.

Перелік використаних джерел

1. Халатов, А. А. Термодинаміка газового потоку: навчальний посібник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / А. А. Халатов, А. В. Гільчук, Л. М. Кохтич ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 219 с.
2. Золотовська О. В. Курс лекцій з теплотехніки : навч. посіб. / О. В. Золотовська, А. М. Пугач, Г. В. Теслюк . Дніпро : ДДАЕУ, 2022. 274 с.