

УДК 614.844.4; 536-34

*Р.В. Ліхньовський, канд. хім. наук*

### **ДЕЯКІ ТЕРМОДИНАМІЧНІ АСПЕКТИ ПОДАВАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ПО ГНУЧКИХ РУКАВАХ ВИСОКОГО ТИСКУ В АВТОМОБІЛЯХ ВУГЛЕКИСЛОТНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ**

Проаналізовано термодинамічні процеси, що відбуваються при використанні рукавів високого тиску. Наведено формули для розрахунку тиску і температури, які виникають при перебігу термодинамічних процесів.

*Ключові слова:* рукава високого тиску, діоксид вуглецю, термодинамічні процеси.

*R. Likhnyovskiy, Cand. of Sc. (Chem.)*

### **SOME THERMODYNAMIC ASPECTS OF CARBON DIOXIDE DELIVERY THROUGH HIGH PRESSURE FLEXIBLE HOSES OF CARBON DIOXIDE FIRE ENGINES**

Thermodynamic processes taking place when using high pressure flexible hoses of carbon dioxide fire engines have been analyzed. Equations for the calculation of pressure and temperature arising at thermodynamic processes are rendered.

*Keywords:* high pressure hoses, carbon dioxide, thermodynamic processes.

Для захисту від пожеж матеріально-технічних цінностей у замкнутих приміщеннях застосовуються газові засоби пожежогасіння. Гасіння досягається шляхом подавання в приміщення газової вогнегасної речовини, створення вогнегасної концентрації за якої припиняється горіння. Газове гасіння належить до «чистого» виду гасіння, під час якого не відбувається псування устаткування і матеріалів.

Автомобілі газового гасіння, що укомплектовані вуглекислотними модулями, призначені для ліквідації пожеж на таких специфічних об'єктах, як бібліотеки, банківські сховища, парфумерні фабрики, спиртозаводи, елеватори тощо.

Застосування діоксиду вуглецю обумовлене яскраво вираженою флегматизувальною здатністю останнього. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям та дешевизні його використовують у виробництві вогнегасників, ізотермічних ємностей низького тиску, модульних системах пожежогасіння високого тиску.

Особливістю гасіння є охолодження осередку полуменевого горіння за рахунок утворення твердої фази діоксиду вуглецю при адіабатичному розширенні газу, що є додатковим фактором ефективності.

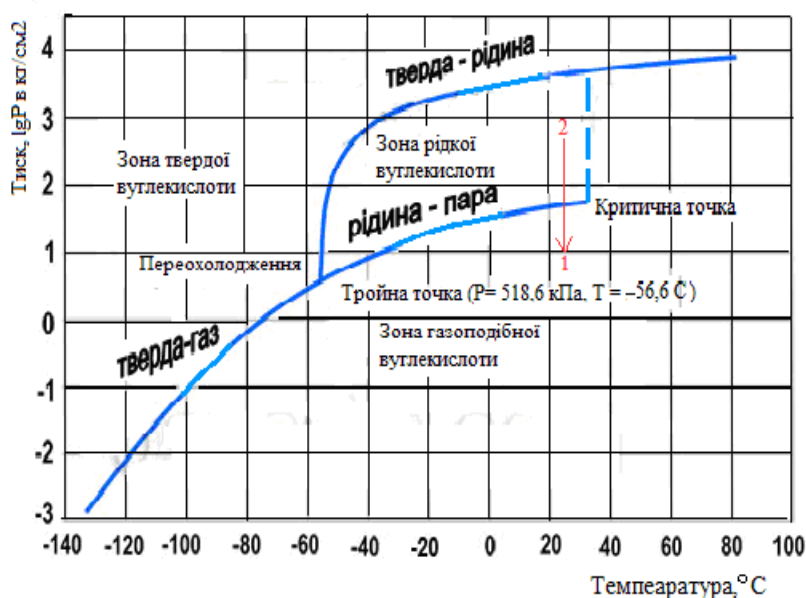
У вуглекислотних засобах пожежогасіння, як правило, використовуються короткі гнучкі трубопроводи. Застосування довгих рукавів високого тиску (далі – РВТ), понад 25 м, викликає певний інтерес.

Вогнегасники окремих типорозмірів конструктивно виконуються з розтрубом і коротким гнучким трубопроводом. Можливі варіанти виконання без трубопроводу, а також із запірним пристроєм на розтрубі [1]. У подібних варіантах виконання можливе виготовлення як окремо взятого вуглекислотного модуля, так і системи модулів, яка є у складі модульної установки газового пожежогасіння на автомобілі.

Для уявлення про процеси, що відбуваються при застосуванні РВТ, доречно розглянути окремі теоретичні аспекти термодинаміки.

Метою роботи є аналіз термодинамічних процесів, фазових переходів діоксиду вуглецю у випадку застосування довгого рукава високого тиску.

Діоксид вуглецю у балоні (модулі) представляє собою закриту ізольовану термодинамічну систему у стані рівноваги. Газ знаходиться у рідкому стані під тиском, вищим за критичний. Критичні параметри для діоксиду вуглецю – це температура  $T = 31,1^{\circ}\text{C}$  і тиск  $P = 74$  бар. Відомості про одержані різними дослідниками рівняння стану діоксиду вуглецю, термодинамічні функції узагальнено та викладено у монографії [2]. Діаграма стану діоксиду вуглецю наведено у координатах  $\lg P - T$  на рис. 1.



Стан рідкого діоксиду вуглецю поблизу критичної ізотерми описується рівнянням Путілова:

$$P = \frac{RT}{v} - \frac{A}{v^2} + \frac{B}{v^3} \quad (1)$$

де  $A, B$  – функції температури;

$R$  – газова стала;

$T$  – температура, К;

$v$  – об'єм газу;

$v''$  – молярний об'єм газу;

Рисунок 1 – Діаграма стану із зонами існування окремих фаз діоксиду вуглецю та лініями переходу з однієї фази в іншу.

Власне, на вищенаведеній діаграмі стану ґрунтуються теоретичні основи виробництва вуглекислотних засобів пожежогашіння. Варіюючи температурою  $T$  або тиском  $P$  виробляють системи газового пожежогашіння на базі ізотермічних ємностей низького тиску і ємностей високого тиску (тиск вище критичного) у яких вуглекислота знаходиться у рідкій фазі.

Далі слід розглянути два вищезгаданих випадки виконання вуглекислотних засобів пожежогашіння, оснащених рукавами високого тиску, а саме: з запірним пристроєм на розтрубі і без нього.

У випадку відсутності запірного пристрою, відкриваючи вентиль на балоні, діоксид вуглецю піддається адіабатичному розширенню і стравлюється у простір рукава високого тиску, переходячи у балоні з рідкої фази у газоподібну. Термодинамічна система виводиться зі стану рівноваги, стає відкритою, відбувається обмін речовиною з навколишнім середовищем. У балоні знижується тиск, відбувається фазовий перехід I роду рідина-газ і вирівнювання тиску до атмосферного. Цей процес зображено на рис. 1, лінія 1-2. Одночасно, на виході з балона різко збільшується об'єм газу, діоксид вуглецю охолоджується (ефект Джоуля-Томпсона, температура досягає  $-56,6^{\circ}\text{C}$  – точки існування 3-х фаз), знижуються тиск, утворюється тверда фаза, яка разом із рідкою і газоподібною рухається по всій довжині рукава і стравлюється через розтруб.

Термодинамічний процес, що відбувається при стравлюванні газу з модуля у рукав високого тиску, показано на рис. 2.

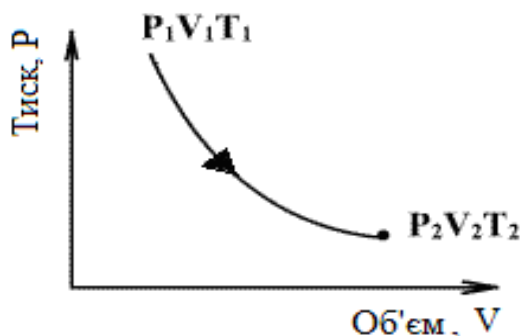


Рисунок 2 – Адіабата розширення газу.

Рівняння, яким описуються адіабатне розширення:

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (2)$$

де  $\gamma = C_p/C_v$  – показник адіабати (для діоксиду вуглецю  $\gamma = 1,33$ );

$C_p, C_v$  – ізобарна та ізохорна теплоємності

У випадку наявності запірного пристрою на розтрубі за рахунок високого надлишкового тиску у модулі, відбувається зрідження діоксиду вуглецю у замкнутому просторі рукава. Зрідження діоксиду вуглецю відбуватиметься завжди коли тиск у модулі буде вище критичного.

Таким чином, при стравлюванні газу у замкнутий простір рукава проходять два процеси розширення і стиснення.

Слід зазначити, що у товарному діоксиді вуглецю наявна вода, яка при адіабатичному розширенні перетворюється в кристали льоду, які здатні пошкоджувати внутрішні стінки рукава по всій довжині.

Зважаючи на цей факт, виконання вуглекислотного засобу із запірним пристроєм на розтрубі видається більш досконалим ніж без нього, адже зріджуючись газ вирівнюватиме градієнт температури, що виникатиме по довжині рукава, що позитивно впливатиме на експлуатаційні характеристики рукава.

Враховуючи вищевикладене, на застосування довгих рукавів високого тиску мають вплив два основні параметри – це тиск  $P$  і температура  $T$ , тому, при виборі рукава для модуля, звичайно ж, потрібно врахувати умови експлуатації – температура  $-56,6^\circ\text{C}$  і тиск 150 і більше бар. Також важливою умовою застосування рукавів є утворення твердої фази діоксиду вуглецю на виході з розтруба. У випадку із запірним пристроєм рідка фаза діоксиду вуглецю, що знаходиться у замкнутому просторі рукава до розтруба, після адіабатичного розширення газу, що відбуватиметься при відкритті запірного пристрою, даватиме тверду фазу вуглекислоти у розтрубі на відміну, від того коли пристрій відсутній.

Для розрахунку трубопроводів, лінійної швидкості витікання і витрати діоксиду вуглецю через насадок, можна використати джерело [3].

Цікавим моментом в контексті вирівнювання градієнта температури є два процеси – адіабатичне розширення та наступне зрідження, які проходять у замкнутому просторі рукава. Розглянувши їх, можна визначити як змінюватиметься температура при заповненні рукава газом. Враховуючи те, що діоксид вуглецю у модулі з рукавом є замкнутою термодинамічною системою, теплообміном з навколишнім середовищем можна знехтувати. Як зазначалося вище, газ піддається короткочасному адіабатичному розширенню з наступним зрідженням.

Термодинамічні параметри, які змінюються при адіабатичному розширенні газу визначають за рівнянням Пуассона і рівняннями, виведеними з нього. Перетворення рівняння наведено у книзі (4):

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (3)$$

З перемінними  $T, V, P$  рівняння приймає вигляд:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}; P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = \text{const}$$

де  $\gamma = 1.33$  - показник адиабати.

У випадку виконання модуля без запірною пристрою:

Тиск  $P_2$  і температуру  $T_2$  у модулі при стравлюванні діоксиду вуглецю до значення  $V_2$  визначаємо за формулами:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}, \text{ звідки } T_2 = T_1 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma, \text{ звідки } P_2 = P_1 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

Для випадку виконання модуля із запірним пристроєм зрідження газу у рукаві відбувається при зниженні температури і представляє собою два процеси – розширення і стиснення газу.

Тиск у модулі і рукаві наближено можна розрахувати наступним чином. При цьому потрібно враховувати, що модуль заповнений діоксидом вуглецю а рукав повітрям.

Коефіцієнти з індексом 1 відносяться до рівняння стану газу у модулі, з індексом 2 – до рівняння стану газу у рукаві.

Стан реального газу у модулі і РВТ описується рівнянням Клайперона-Менделєєва із врахуванням коефіцієнта стисливості:

$$P_1 V_1 = Z_{r1} \times v_1 RT_1; \quad P_2 V_2 = Z_{r2} \times v_2 RT_1 \quad (4)$$

де  $P_{1,2}$  — тиск;

$T_{1,2}$  — температура;

$Z_{r1}, Z_{r2} = Z_r(p, T)$  — коефіцієнти стисливості діоксиду вуглецю і повітря;

$R$  – універсальна газова стала;

$v_{1,2}$  – кількість газу в молях.

Загальне рівняння стану:

$$P_0 (V_1 + V_2) = (Z_{r1} v_1 + Z_{r2} v_2) RT_1;$$

звідки

$$P_0 = \left[ \frac{(Z_{r1} v_1 + Z_{r2} v_2) RT_1}{(V_1 + V_2)} \right];$$

$$v_1 = \left( \frac{P_1 V_1}{Z_{r1} RT_1} \right); \quad v_2 = \left( \frac{P_2 V_2}{Z_{r2} RT_1} \right);$$

Підставляючи вирази для  $v_1, v_2$  у загальне рівняння стану одержуємо:

$$P_0 = \frac{(P_1 V_1 + P_2 V_2)}{V_1 + V_2}$$

Таким чином, проаналізовано термодинамічні процеси, які проходять при застосуванні рукавів високого тиску з вуглекислотним модулем. Розглянуто процеси, що відбуваються у двох варіантах виготовлення модулів вуглекислотного пожежогасіння, а саме: із запірним пристроєм на розтрубі і без нього. Наведено формули розрахунків зміни тиску і температури для вуглекислотного модуля. За формулами визначення тиску і температури орієнтовно можна визначити придатність рукава високого тиску до умов експлуатації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожарные автомобили и противопожарное оборудование. Каталог-справочник. – М.: Изво «Транспорт», 1967. – 343с.

2. Алтунин В.В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 546 с.
3. А.Н. Баратов, Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е перераб. – М.: Химия, 1979 – 368с.
4. Ферми Э. Термодинамика. – Ижевск: Изд. дом «Удмурдский университет», 1998 – 163 с.

