

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ КАЛОРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХОЛОДОАГЕНТНИХ СУМІШЕЙ

Д. т. н. В. О. Туз, к. т. н. В. І. Коньшин, к. т. н. Н. Л. Лебедь, М. П. Литвиненко

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Україна, м. Київ  
valeriituz56@gmail.com, nata.lebeddom@gmail.com

*Застосування багатокомпонентного холодоагенту покращує енергетичні характеристики дросельного циклу холодильної установки, підвищує техніко-економічні характеристики, надійність і ресурс обладнання. При виконанні розрахунків параметрів процесів дроселювання і теплообміну необхідно визначати не тільки їхні інтегральні характеристики, а і значення при певних параметрах в характерних точках процесу на діаграмі циклу. Отримано емпіричні залежності, використання яких дозволило удосконалити методику розрахунку калоричних властивостей суміші холодоагентів.*

*Ключові слова:* ентальпія речовини, ентальпія суміші, приведена температура, приведений тиск, фактор ацентричності.

Останнім часом особливу значимість набуло застосування в системах охолодження електронних пристроїв теплоносіїв, які працюють у температурному діапазоні 73—120 К. Для забезпечення такого рівня температури пропонується використовувати холодильні машини, що працюють за циклом Лінде, в яких теплоносієм є суміш холодоагентів. Певний склад і співвідношення компонентів суміші дозволяє отримати необхідну температуру теплоносія з заданим ресурсом роботи. На підставі експериментальних досліджень, які були проведені в ТОВ «ДНПРО МТВ», визначені компоненти суміші холодоагентів і їхні співвідношення (метан  $\text{CH}_4$ , етилен  $\text{C}_2\text{H}_4$ , пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  та ізобутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Отримана суміш забезпечує необхідну термодинамічну ефективність циклу охолодження при початковому тиску дроселювання в 1,5—2,0 МПа. Слід зазначити, що для розрахунку параметрів суміші холодоагентів у характерних точках діаграми циклу необхідно визначити термодинамічні властивості як окремих складових, так і суміші в цілому.

Крім основних теплофізичних властивостей теплоносіїв (густина, теплоємність, теплопровідність, в'язкість) для розрахунку параметрів циклу необхідна інформація про калоричні властивості окремих компонентів та суміші в цілому. Визначення теплофізичних і калоричних властивостей суміші вуглеводнів алканового ряду приводить до значних розбіжностей результатів розрахунку і випробувань холодильного обладнання.

Метою даної роботи є вдосконалення методики розрахунку калоричних властивостей суміші холодоагентів шляхом визначення функціональних емпіричних залежностей на основі експериментальних даних [1] у робочому діапазоні парокompресійної холодильної машини.

Згідно з методикою [2], ентальпія чистих вуглеводнів у стані рідини і неполярних газів при високому тиску (заснована на використанні кореляцій Pitzer K.S. [3]) визначається залежністю  $I = I^0 - \Delta I$ , де  $I$  – ентальпія речовини при заданій температурі, кДж/кг;  $I^0$  – ентальпія речовини в ідеальногазовому стані при заданій температурі, кДж/кг:

$$I^0 = A \cdot (T/100) + B \cdot (T/100)^2 + C \cdot (T/100)^3 + D \cdot (100/T),$$

де  $T$  – задана температура, К;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  та  $D$  – коефіцієнти, значення яких визначаються в залежності від хімічного складу речовини [3];  $\Delta I$  – поправка на тиск, кДж/кг, визначається залежністю

$\Delta I = (\Delta I^{(0)} + \omega \Delta I^{(1)}) \cdot RT_{кр} / M$ , де  $R$  – універсальна газова стала, кДж/(кмоль · К);  $T_{кр}$  – критична температура, К;  $M$  – маса кіломолю, кг/кмоль;  $\Delta I^{(0)}$  та  $\Delta I^{(1)}$  – функції, які залежно від значень  $T_{кр}$  і  $P_{кр}$  можуть визначатись шляхом використання таблиць [1], а при значній кількості варіантів параметрів і складових суміші доцільно використовувати емпіричні залежності:

$$\begin{aligned} \Delta I_{P_{np}=\text{const}}^{(0)}(T_{np}) &= A^{(0)} \cdot T_{np}^{c^{(0)}}; & \Delta I_{T_{np}=\text{const}}^{(0)}(P_{np}) &= B^{(0)} \cdot P_{np}^{d^{(0)}}; \\ \Delta I_{P_{np}=\text{const}}^{(1)}(T_{np}) &= A^{(1)} \cdot T_{np}^{c^{(1)}}; & \Delta I_{T_{np}=\text{const}}^{(1)}(P_{np}) &= A^{(1)} \cdot P_{np}^{c^{(1)}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де значення коефіцієнтів авторами отримано (див. таблицю) шляхом обробки експериментальних даних [1];  $T_{np} = T/T_{кр}$  – приведена температура;  $P_{np} = P/P_{кр}$  – приведений тиск;  $P$  – тиск, Па;  $P_{кр}$  – критичний тиск, Па;  $\omega$  – фактор ацентричності.

Значення коефіцієнтів в емпіричних залежностях для визначення поправок  $\Delta I^{(0)}$  та  $\Delta I^{(1)}$

		$P_{np} = 0,2$	$P_{np} = 0,4$	$P_{np} = 0,6$	$T_{np} = 0,8$	$T_{np} = 0,85$	$T_{np} = 0,9$
$\Delta I^{(0)}$	$A^{(0)}$	0,20	0,21	0,89	22,77	23,48	9,15
	$c^{(0)}$	-2,78	-7,76	-8,66	2,42	2,53	2,33
$\Delta I^{(1)}$	$A^{(1)}$	1,02	0,94	0,89	24,38	24,44	9,8
	$c^{(1)}$	-8,42	-8,5	-8,66	2,36	2,46	2,27

Фактор ацентричності являє собою критерій подібності групи термодинамічно подібних речовин, у яких форма молекул дещо відрізняється від сферичної. Pitzer K.S. [3] запропонував вплив ацентричності визначати через міру відхилення приведенного тиску насичення при приведеній температурі несферичних речовин  $T_{nps} = 0,7$  від значень приведенного тиску насичення для сферичних речовин при тому же значенні  $T_{nps}$ .

На практиці використовується методика визначення фактору ацентричності  $\omega$ , яка запропонована Edmister W.C. [4] для неполярних речовин. Значення фактору ацентричності, які розраховані за зазначеними методиками, відрізняються один від одного на 1,5—4,0%.

Фактор ацентричності суміші визначається через фактори ацентричності компонентів суміші:  $\omega_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^N x_i \omega_i$ , де  $\omega_{\text{сум}}$  – фактор ацентричності суміші;  $\omega_i$  – фактор ацентричності  $i$ -го компонента суміші;  $x_i$  – мольна доля  $i$ -го компонента суміші;  $N$  – кількість компонентів суміші.

Таким чином, проведений аналіз експериментальних даних [1] дозволив удосконалити методику для визначення калоричних властивостей шляхом використання залежностей (1). Представлені залежності дозволяють визначати ентальпію суміші холодоагентів з достатньою точністю, що підтверджено результатами випробування холодильних машин, які використовуються в системах охолодження термонапружених елементів радіоелектронного обладнання.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Методы расчёта теплофизических свойств газов и жидкостей: Справочник / Федоров В.В. и др.– Москва: Химия, 1974.
2. Technical data book, petroleum refining.– Washington: API, 1970.
3. Pitzer K.S., Lippmann D.Z., Curl jr R.F. et al. The volumetric and thermodynamic properties of fluids. II Compressibility factor, vapor pressure and entropy of vaporization // J. Am. Chem Soc.– 1955.– Vol. 77, N 13.– P. 3433–3440.
4. Edmister W.C. Compressibility factors and equations of state // Pet. Refiner.– 1958.– 37(4).– P. 173–179.

V. O. Tuz, V. I. Konshin, N. L. Lebed, M. P. Litvinenko

#### Features of calculating the caloric properties of refrigerant mixtures

*When determining the caloric properties of a mixture, it is not always possible to apply the additivity rule. Moreover, when calculating the parameters of throttling and heat transfer, it is necessary to determine not only integral characteristics, but also their values for certain parameters in the characteristic points of the process on the cycle diagram. Therefore, there is a need for obtaining generalized dependencies for both individual components and for the whole mixture.)*

*Keywords: substance enthalpy, mixture enthalpy, reduced temperature, reduced pressure, acentricity factor.*