

## КОНТРОЛЬ КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ КОМПОНЕНТІВ СКРАПЛЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ

Ключові слова: пропан, бутан, густина, скраплений нафтовий газ, кількісний вміст компонентів, молярна маса, показник заломлення.

На сьогодні знаходять широке використання скраплені нафтові гази як паливо в двигунах автомобільного транспорту, так і установках муніципальних, промислових і сільськогосподарських об'єктів [1]. Скраплений нафтовий газ – це суміш пропану ( $C_3H_8$ ), бутану ( $C_4H_{10}$ ) і вуглеводних домішок – метил, етилен, пропілен, бутилен, амілен, гексилен, гептилен [2]. Їх вплив протягом довготривалого періоду на технологічне обладнання погіршує його роботу та може призвести до виходу з ладу. Це пов'язано з їх поганою розчинністю (етилен, пропілен, бутилен) та активним окисленням (амілен, гексилен, гептилен) [3].

Тому, постійний вимірювальний контроль кількісних складових скрапленого нафтового газу є надзвичайно важливим актуальним завданням, оскільки необхідно знати не тільки суміш пропан-бутану, але й наявність вуглеводних домішок.

Основними недоліками сучасних методів і сенсорів контролю скрапленого нафтового газу є складність технічного рішення процесу вимірювання та низька точність, що пов'язана з контролем співвідношення лише суміші пропан-бутан, тоді як наявність домішок не враховується.

В роботі запропоновано метод визначення кількісного вмісту компонентів суміші скрапленого нафтового газу при використанні різних температурних режимів. При цьому густину скрапленого газу при відповідних температурних режимах можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} k_1\rho_1 + k_2\rho_2 + k_3\rho_3 = \rho \\ k_1\rho'_1 + k_2\rho'_2 + k_3\rho'_3 = \rho' \\ k_1\rho''_1 + k_2\rho''_2 + k_3\rho''_3 = \rho'' \end{cases}$$

де  $k_1, k_2, k_3$  – кількісний вміст пропану, бутану та вуглеводних домішок, відповідно;  $\rho_1, \rho'_1, \rho''_1$  – густини пропану при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно;  $\rho_2, \rho'_2, \rho''_2$  – густини бутану при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно;  $\rho_3, \rho'_3, \rho''_3$  – густини вуглеводних домішок при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно;  $\rho, \rho', \rho''$  – густини скрапленого нафтового газу при температурах  $T_1, T_2, T_3$  відповідно.

Рішення системи рівнянь дає змогу визначити кількісний вміст пропану, бутану та вуглеводних домішок  $k_1, k_2, k_3$ , відповідно

$$\begin{cases} k_1 = \frac{(\rho''_3\rho' - \rho'_3\rho'')(\rho'_3\rho_2 - \rho_3\rho'_2) - (\rho'_3\rho - \rho_3\rho')(\rho''_3\rho'_2 - \rho'_3\rho''_2)}{(\rho''_3\rho'_1 - \rho'_3\rho''_1)(\rho'_3\rho_2 - \rho_3\rho'_2) - (\rho'_3\rho_1 - \rho_3\rho'_1)(\rho''_3\rho'_2 - \rho'_3\rho''_2)} \\ k_2 = \frac{\rho'_3\rho - \rho_3\rho'}{\rho'_3\rho_2 - \rho_3\rho'_2} - k_1 \frac{\rho'_3\rho_1 - \rho_3\rho'_1}{\rho'_3\rho_2 - \rho_3\rho'_2} \\ k_3 = 1 - k_1 - k_2 \end{cases}$$

Оскільки густина описується як  $\rho_0 = \frac{PM}{0.153RT}$ , молярна маса –  $M = \frac{9.591}{1.4752 - n} - 9.5$ , а

тиск –  $P = \frac{8P_0RT - \frac{27}{8} \frac{RT^2}{P_0V} + \frac{27}{64} \frac{R^2T^3}{P_0V^2}}{8P_0V - RT}$ , то густини скрапленого нафтового газу при температурах

$T_1, T_2, T_3$ , відповідно, можна описати як

$$\rho = \frac{P_1}{0.153RT_1} \left( \frac{9.591}{1.4752 - n_1} - 9.5 \right), \quad \rho' = \frac{P_2}{0.153RT_2} \left( \frac{9.591}{1.4752 - n_2} - 9.5 \right),$$

$$\rho'' = \frac{P_3}{0.153RT_3} \left( \frac{9.591}{1.4752 - n_3} - 9.5 \right),$$

де  $P_1, P_2, P_3$  – абсолютні критичні тиски скрапленого нафтового газу при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно,  $n_1, n_2, n_3$  – показники заломлення скрапленого газу при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно.

Густини пропану при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно, можна описати як

$$\rho_1 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{01} - \frac{27 T_1}{8 V} + \frac{27 RT_1^2}{64 P_{01}V^2}}{8P_{01}V - RT_1} M_1, \quad \rho'_1 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{01} - \frac{27 T_2}{8 V} + \frac{27 RT_2^2}{64 P_{01}V^2}}{8P_{01}V - RT_2} M_1,$$

$$\rho''_1 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{01} - \frac{27 T_3}{8 V} + \frac{27 RT_3^2}{64 P_{01}V^2}}{8P_{01}V - RT_3} M_1,$$

де  $M_1$  – молекулярна маса пропану,  $P_{01}$  – критичний тиск пропану.

Густини бутану при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно, можна описати як

$$\rho_2 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{02} - \frac{27 T_1}{8 V} + \frac{27 RT_1^2}{64 P_{02}V^2}}{8P_{02}V - RT_1} M_2, \quad \rho'_2 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{02} - \frac{27 T_2}{8 V} + \frac{27 RT_2^2}{64 P_{02}V^2}}{8P_{02}V - RT_2} M_2,$$

$$\rho''_2 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{02} - \frac{27 T_3}{8 V} + \frac{27 RT_3^2}{64 P_{02}V^2}}{8P_{02}V - RT_3} M_2,$$

де  $M_2$  – молекулярна маса бутану,  $P_{02}$  – критичний тиск бутану.

Густини вуглеводневих домішок при температурах  $T_1, T_2, T_3$ , відповідно, можна описати як

$$\rho_3 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{03} - \frac{27 T_1}{8 V} + \frac{27 RT_1^2}{64 P_{03}V^2}}{8P_{03}V - RT_1} M_3, \quad \rho'_3 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{03} - \frac{27 T_2}{8 V} + \frac{27 RT_2^2}{64 P_{03}V^2}}{8P_{03}V - RT_2} M_3,$$

$$\rho''_3 = \frac{1}{0.153} \frac{8P_{03} - \frac{27 T_3}{8 V} + \frac{27 RT_3^2}{64 P_{03}V^2}}{8P_{03}V - RT_3} M_3,$$

де  $M_3$  – молекулярна маса вуглеводневих домішок,  $P_{03}$  – критичний тиск вуглеводневих домішок.

Таким чином, встановлено, що запропонований підхід дозволяє підвищити загальну точність визначення кількісного вмісту компонентів скрапленого нафтового газу завдяки врахуванню не тільки кількісного складу пропану й бутану, але й вуглеводневих домішок.

#### Список літературних джерел:

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский. – М.: Нефть и газ, 2009. – 640с.
2. Газы углеводородные сжиженные, поставляемые на экспорт. Технические условия : ГОСТ 21443-75 – [Чинний від 2004 – 02 – 01]. – М: Миннефтехимпром СССР, 2010. – 13 с.
3. Деркач Ф. А. Хімія / Ф. А. Деркач. – Л.: Вид.-во Львівського ун-ту, 1968. – 311 с.