

О методе определения концентрации примесей в составе природного газа

Курочкин А.И.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

На различных этапах комплексной подготовки природного газа перед подачей в трубопровод часто возникает необходимость контроля за концентрацией таких компонент, как CO_2 , H_2O , H_2S . Для этого существуют специальные датчики, однако их функционирование требует включения дополнительных модулей в общую схему УКПГ.

Можно предложить устройство контроля за концентрацией примесей, совмещенное с широко используемым на УКПГ механизмом сброса давления – клапаном Джоуля-Томпсона. Принципиальная схема такого устройства изображена на рис. 1.

Расширяющаяся часть сопла проектируется таким образом, чтобы начинались процессы димеризации примесей. Излучение из источника за счет колебательно-вращательных переходов в димерах CO_2 , H_2O , H_2S и затухает по закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$I = I_0 \exp\left(-\sum_i \int_0^L \sigma_i n_i(x) dx\right)$$

Здесь I - интенсивность излучения, σ_i - сечение поглощения i -го поглотителя, n_i - концентрация i -го поглотителя, L - расстояние между источником и приемником излучения.

Выбор димеров, а не мономеров, в качестве поглощающих объектов обусловлен наличием у них уникальных частот колебаний. Например, в области $\nu = 3520 \text{ см}^{-1}$ не происходит поглощения мономерами воды. В то же время сечение поглощения димером воды, согласно [1], можно записать в виде:

$$\sigma = \frac{4\pi^2 \omega_{fi} \rho_i g_f}{3\hbar c} \left| \langle n' | \langle R' | \hat{D} | R \rangle | n \rangle \right|^2$$

Здесь ω_{fi} - резонансная частота перехода, ρ_i - вероятность димера находиться в i -ом квантовом состоянии, g_f - статистический вес конечного состояния, \hat{D} - оператор дипольного момента, R, n - вращательное и колебательное состояния соответственно, штрих обозначает состояния после поглощения.

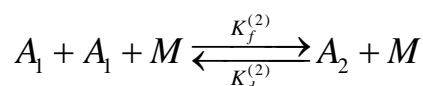
Таким образом, зная начальную и конечную интенсивность излучения, а также сечение поглощения, можно определить концентрацию димеров примеси. Далее, согласно [2], можно определить концентрацию мономеров по формулам.

$$n_2 = n_2^{(0)} \left(1 - \frac{J_0}{n_1 n_2^{(0)} n_M K_f^{(2)}} \right)$$

$$J_0^{-1} = \sum_{j=1}^2 \frac{1}{n_1 n_j^{(0)} n_M K_f^{(j+1)}}$$

$$n_2^{(0)} = n_1^2 \frac{K_f^{(2)}}{K_d^{(2)}}, n_1^{(0)} \equiv n_1$$

где n_2 - концентрация димеров, n_1 - концентрация мономеров, n_M - концентрация других газовых компонент в смеси, $K_f^{(2)}$, $K_d^{(2)}$ - скорости прямой и обратной реакции димеризации:



В работе проведен расчет вращательных постоянных и колебательных частот димеров CO_2 , H_2O , H_2S , получены сечения поглощения. Скорости прямой и обратной реакции образования димеров рассчитаны для характерных для газовой промышленности давлений и температур. Предложены источники излучения, подходящие для определения концентрации примесей указанным способом.

Литература:

1. *Крайнов В.П., Смирнов Б.М.* Излучательные процессы в атомной физике. — М.: Высшая школа, 1983. — 288 с.
2. *Артюхин А.С., Егоров Б.В., Забабурин Е.А. [и др.]* Кинетика формирования ультралегкой фракции нейтральных и заряженных кластеров в газодинамических потоках летательного аппарата. — ХФ. — 2004. — Т. 26. — С. 28-46.

Рис. 1 Принципиальная схема устройства для определения концентрации примесей.