

Ю. И. ЖАВРИН¹, В. Н. КОСОВ², М. К. АСЕМБАЕВА¹,

В. МУКАМЕДЕНКЫЗЫ¹, О. В. ФЕДОРЕНКО¹

(¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы,

²Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы)

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФУЗИИ КОМПОНЕНТОВ

В ГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ВОДОРОД, АЗОТ,

МЕТАН В РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ

Аннотация

Рассчитаны температурные зависимости эффективных коэффициентов диффузии водорода, азота и метана при различной их концентрации в трех трехкомпонентных газовых системах в интервале температур 298,0–1000,0 К. Указанные компоненты используются при синтезе аммиака из природного газа. Полученные результаты могут быть рекомендованы в качестве справочных данных.

Ключевые слова: эффективный коэффициент диффузии, азот, метан, водород.

Кілт сөздер: тиімді диффузия коэффициенті, азот, сутегі, метан.

Keywords: effective diffusion coefficient, nitrogen, methane, hydrogen.

Температурные зависимости эффективных коэффициентов диффузии (ЭКД) газов в многокомпонентных системах на сегодняшний день вообще не представлены в справочной литературе, а число публикаций по данной тематике весьма ограничено. В качестве примеров можно привести синтез аммиака из природного газа, горение газообразного топлива и ряда других процессов, для которых такая информация необходима и важна, так как позволяет приблизить описание процесса и производства ближе к реальным условиям.

В данной публикации представлены расчеты показателей степеней температурных зависимостей ЭКД газов для трех тройных систем, компоненты которых в той или иной мере используются при синтезе аммиака. Основным источником информации по данной работе явилась таблица рекомендуемых справочных данных (РСД) по ЭКД, аттестованных ВНИЦ МВ Госстандарта СССР [1] и публикация в Инженерно-физическом

журнале [2]. Эффективные коэффициенты диффузии, приведенные в таблице, были измерены двухколбовым методом, в диапазоне давлений 0,2–1,0 МПа и концентраций компонентов в бинарных смесях от 0,3 до 0,9 мольных долей в изотермических условиях при $T = 298,0$ К, с анализом смесей газов на хрома-тографе. Погрешность в измерении ЭКД находилась в интервале от 4 до 9%.

Полученные данные позволяют полнее раскрыть механизм диффузионного процесса в сложных газовых смесях с изменением температуры, дать оценку переносу каждого компонента и суммарного массопереноса в целом, не прибегая к дорогостоящим экспериментам и представить конечный результат в компактной форме в виде функциональных зависимостей.

В данной работе температурная зависимость ЭКД компонентов представлена в виде полуэмпирической формулы аналогичной формуле степенной зависимости коэффициента взаимной диффузии (КВД) от температуры

$$D_{Ti}^{\text{эф}} = D_{0i}^{\text{эф}} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{n_i}, \quad (1)$$

где n_i – показатель степени, а $D_{0i}^{\text{эф}}$ – ЭКД i -го компонента для начальной температуры T_0 (в наших расчетах $T_0 = 298,0$ К).

Такое представление вполне оправдано, так как метод эффективного коэффициента диффузии основан на том предположении, что процесс многокомпонентного массопереноса можно описать ЭКД [3, 4], который в случае бинарной системы будет тождественен КВД. Формально это утверждение для одномерного случая записывается в виде первого закона Фика

$$j_i = -D_i^{\text{эф}} \frac{dc_i}{dx}, \quad (2)$$

где j_i , c_i – плотность диффузионного потока и концентрация i -го компонента, соответственно.

Таким образом, поток i -го компонента в k -компонентной газовой смеси определяется только градиентом данного компонента и его ЭКД.

Апробация этого метода на многочисленных экспериментах, в том числе и по определению температурных зависимостей ЭКД (см., например, [5]) показала, что он физически правильно описывает диффузионный процесс с достаточной для практики точностью и, кроме того, прост в использовании [6, 7].

В литературе приводится ряд записей выражений для ЭКД. Мы будем использовать выражение, которое легко проверяется в диффузионных экспериментах

$$D_i^{\text{эф}} = D_{ii}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{k-1} D_{ij}^* \frac{dc_j}{dc_i}, \quad (3)$$

где D_{ii}^* , $D_{ij}^* = f(D_{ij}, y_i, y_j)$ – главные и перекрестные «практические» коэффициенты диффузии (ПКД) или матричные коэффициенты многокомпонентной диффузии (МКМД); dc_j / dc_i – отношение, связывающее изменение концентрации j -го компонента с изменением концентрации i -го компонента; D_{ij} – КВД пары газов i и j ; y_i, y_j – мольные доли компонентов i и j .

Выражение (3) в локальных величинах сложно для применения, поэтому его упрощают, заменяя его интегральным (усредненным по всему диффузионному слою) ЭКД i -го компонента в k компонентной смеси. Отношение градиентов заменяют отношением разностей концентраций компонентов между точками 0 и L на границах диффузионного слоя. В зависимости от распределения компонентов внутри системы зависит знак ЭКД, который может быть как положительный, так и отрицательный.

В случае трехкомпонентной смеси (3) для интегрального значения ЭКД имеет вид

$$\bar{D}_i^{\text{эф}} = \frac{\left[(1 - \bar{y}_i) D_{ij} D_{ik} + \bar{y}_i D_{jk} D_{ik} + \bar{y}_i (D_{ik} D_{jk} - D_{ij} D_{jk}) \frac{(c_j^L - c_j^0)}{(c_i^L - c_i^0)} \right]}{\bar{y}_i D_{jk} + \bar{y}_j D_{ik} + \bar{y}_k D_{ij}}. \quad (4)$$

Измерения ЭКД согласно [1] можно теми же методами, что и КВД, поэтому нами использовались двух-колбовые диффузионные аппараты [8]. Конструкция аппарата, приборов и узлов, входящих в экспериментальную установку, а также методика работы детально описаны в [9]. Первый аппарат имел следующие параметры: объемы верхней и нижней колб – $V_в = V_н = 76,9 \text{ см}^3$; длина и диаметр диффузионного канала $L = 7,055 \text{ см}$ и $d = 0,4 \text{ см}$, а второй – $V_в = V_н = 62,0 \text{ см}^3$; длину и диаметр канала $L = 7,055 \text{ см}$ и $d = 0,330 \text{ см}$ соответственно. Комплекс геометрических размеров, так называемая постоянная прибора $B = L_{\text{эф}} \cdot V_в \cdot V_н / S \cdot (V_в + V_н)$, (здесь S – площадь поперечного сечения канала, а $L_{\text{эф}}$ – эффективная длина диффузионного канала [10]) для первого аппарата была равна – 2215 см^2 , а для второго – 2653 см^2 . В представленных расчетах использовался аппарат, постоянная которого была равна 2500 см^2 .

В данной работе через численный эксперимент были определены показатели степеней температурных зависимостей ЭКД компонентов для систем: 1. $\text{H}_2 + \text{CH}_4 - \text{N}_2$, 2. $\text{H}_2 - \text{N}_2 + \text{CH}_4$ и 3. $\text{CH}_4 - \text{N}_2 + \text{H}_2$, в которых концентрации газов бинарных смесей изменялись в широких пределах в интервале температур $298,0 - 1000,0 \text{ К}$ и давлении равном $0,101 \text{ МПа}$.

Ограничения, которые при работе с этими системами отмечены в [1], были приняты нами во внимание. Во-первых, газы и их смеси, идеальные в данном интервале давлений. Во-вторых, для первой и третьей систем при концентрациях водорода в бинарных смесях более $0,8$ мольных долей перенос метана в системе (1) и азота в системе (3) в колбах диффузионного аппарата ничтожен (эти газы, как бы «заперты»), хотя другие компоненты значительно изменяют свою концентрацию. Это явление при нестационарной диффузии получило название «диффузионного затвора» [11].

Для проведения расчетов температурных зависимостей ЭКД компонентов согласно (1) необходимо знать значения $D_{0i}^{\text{эф}}$ для каждого компонента смеси при $T_0 = 298,0 \text{ К}$ и

показатель степени температурной зависимости n_i . Однако, так как n_i неизвестны, то их определение состояло из следующих последовательных операций.

Во-первых, используя справочные данные о температурных зависимостях КВД пар газов, входящих в системы, рассчитывались КВД при соответствующих температурах от 298,0 до 1000,0 К с интервалом в 100,0 К. Показатели степеней температурных зависимостей бинарных смесей были следующие: $D_{H_2-N_2} - n = 1,702$ [12]; $D_{H_2-CH_4} - n = 1,743$; $D_{N_2-CH_4} - n = 1,80$ [13]. В литературе нам не удалось найти значение показателя степени температурной зависимости для пары газов азот-метан. Поэтому пришлось

воспользоваться рекомендацией из [13]. «Однако формула $D_{T_1} = D_{T_2} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{3/2}$ приближенно отображает зависимость D от T . Эта формула дает лучшие результаты, если показатель $3/2$ заменить в ней на $\sim 1,80$ (стр. 465 [13])», что нами и было сделано. Проведенный параллельно анализ показателей степени температурных зависимостей КВД бинарных систем, близких по свойствам к системе $N_2 - CH_4$ дает примерно те же результаты, которые рекомендуются выше.

Тогда для $T_0 = 298,0$ К и $P = 0,101$ МПа КВД пар газов имели значения: $D_{0(H_2-N_2)} = 0,80$; $D_{0(H_2-CH_4)} = 0,73$; $D_{0(N_2-CH_4)} = 0,230$ см²/с. Эти исходные данные позволяли найти КВД при других температурах (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Коэффициенты взаимной диффузии некоторых пар газов в зависимости от температуры

Пара газов	Температура, К							
	298	400	500	600	700	800	900	1000
	Коэффициенты взаимной диффузии, см ² /с							
H ₂ – N ₂	0,80	1,32	1,93	2,63	3,42	4,30	5,25	6,28
H ₂ – CH ₄	0,73	1,32	1,95	2,68	3,50	4,42	5,00	6,00
N ₂ – CH ₄	0,220	0,391	0,584	0,811	1,07	1,36	1,61	1,95

Затем КВД из таблицы 1 использовались для определения $D_{oi}^{эф}$ компонентов в газовых смесях для начального распределения концентраций [6]. (Отметим, что расчет $D_{oi}^{эф}$ в случае трехкомпонентных систем можно провести, не прибегая к [6], а используя формулу (4)). Из полученных данных, согласно (1), определялись n_i – показатели степеней температурных зависимостей компонентов. Результаты вычислений для трех исследованных систем представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2 – ЭКД и показатели степеней температурных зависимостей компонентов системы $H_2 + CH_4 - N_2$ в зависимости от концентрации водорода в бинарной смеси для начального распределения концентраций в интервале температур 298,0–1000,0 К

№ п/п	Концентрация H_2 в бинарной смеси, моль. доли	Газ	ЭКД компонентов, cm^2/c								
			<i>Показатели степеней температурных зависимостей</i>								
			Температура, К								
			298	400	500	600	700	800	900	1000	сред.
1	0,1	H_2	0,775	1,285	1,884	2,576	3,356	4,220	5,165	6,188	
				1,716	1,716	1,716	1,716	1,716	1,716	1,716	1,716
		CH_4	0,200	0,341	0,511	0,711	0,941	1,199	1,484	1,796	
				1,814	1,814	1,814	1,814	1,814	1,814	1,814	1,814
		N_2	0,257	0,435	0,648	0,898	1,182	1,501	1,852	2,235	
				1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785
2	0,2	H_2	0,777	1,287	1,888	2,581	3,367	4,226	5,171	6,195	
				1,715	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715
		CH_4	0,178	0,306	0,460	0,643	0,852	1,088	1,350	1,637	
				1,834	1,833	1,833	1,832	1,832	1,832	1,832	1,832
		N_2	0,298	0,502	0,746	1,030	1,354	1,716	2,114	2,548	
				1,772	1,773	1,773	1,773	1,773	1,773	1,773	1,773
3	0,3	H_2	0,779	1,290	1,892	2,585	3,367	4,232	5,179	6,203	
				1,714	1,714	1,714	1,714	1,714	1,714	1,714	1,714
		C	0,155	0,267	0,405	0,568	0,756	0,969	1,205	1,464	

		H ₄		1,861	1,860	1,860	1,859	1,858	1,858	1,857	1,859	
		N ₂	0,342	0,574	0,851	1,173	1,539	1,948	2,400	2,886		
				1,761	1,762	1,762	1,762	1,762	1,762	1,762	1,762	
4	0,4	H ₂	0,781	1,294	1,896	2,590	3,373	4,239	5,186	6,211		
				1,713	1,713	1,713	1,713	1,713	1,713	1,713	1,713	1,713
		C H ₄	0,129	0,226	0,345	0,487	0,652	0,839	1,048	1,278		
				1,904	1,901	1,900	1,898	1,897	1,896	1,895	1,895	1,899
		N ₂	0,390	0,653	0,965	1,328	1,740	2,199	2,703	3,251		
				1,752	1,752	1,752	1,752	1,752	1,752	1,752	1,752	1,752
5	0,5	H ₂	0,784	1,297	1,900	2,596	3,379	4,246	5,194	6,220		
				1,711	1,712	1,711	1,711	1,711	1,711	1,711	1,711	1,711
		C H ₄	0,101	0,180	0,279	0,399	0,538	0,698	0,877	1,075		
				1,975	1,969	1,966	1,963	1,960	1,958	1,956	1,956	1,964
		N ₂	0,442	0,739	1,090	1,497	1,959	2,472	3,036	3,648		
				1,743	1,743	1,743	1,743	1,743	1,743	1,743	1,743	1,743
6	0,6	H ₂	0,786	1,301	1,905	2,602	3,386	4,255	5,203	6,230		
				1,710	1,710	1,710	1,710	1,710	1,710	1,710	1,710	1,710
		C H ₄	0,070	0,130	0,207	0,302	0,415	0,544	0,691	0,855		
				2,118	2,103	2,094	2,086	2,079	2,073	2,069	2,069	2,089
		N ₂	0,500	0,833	1,226	1,682	2,198	2,770	3,398	4,080		
				1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734
7	0,7	H ₂	0,789	1,305	1,910	2,602	3,386	4,263	5,214	6,241		

				<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>	<i>1,708</i>
		C H ₄	0,036	0,075	0,129	0,197	0,279	0,376	0,487	0,613		
				<i>2,531</i>	<i>2,473</i>	<i>2,435</i>	<i>2,405</i>	<i>2,382</i>	<i>2,363</i>	<i>2,347</i>	<i>2,417</i>	
		N ₂	0,563	0,936	1,376	1,885	2,459	3,097	3,795	4,553		
				<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>	<i>1,726</i>
8	0,8	H ₂	0,792	1,310	1,916	2,616	3,403	4,273	5,224	6,253		
				<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>	<i>1,706</i>
		C H ₄	- 0,002	0,015	0,042	0,080	0,129	0,191	0,263	0,348		
				-	-	-	-	-	-	-	-	-
		N ₂	0,634	1,051	1,541	2,108	2,748	3,457	4,232	5,072		
				<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>	<i>1,718</i>
9	0,9	H ₂	0,796	1,315	1,923	2,624	3,412	4,284	5,236	6,266		
				<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>	<i>1,704</i>
		C H ₄	- 0,044	- 0,053	- 0,055	- 0,049	- 0,036	- 0,014	0,016	0,055		
				-	-	-	-	-	-	-	-	-
		N ₂	0,712	1,178	1,725	2,356	3,067	3,854	4,714	5,645		
				<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>	<i>1,710</i>

Здесь необходимо дать пояснения. Фактически вычисленные значения ЭКД соответствуют равновесной смеси, т.е., когда концентрации всех компонентов усреднены. Например, реализуется диффузия азота в равномольную смесь водорода и метана. В таблице 2 в этом случае значения ЭКД находятся по концентрации водорода $y_{H_2} = 0,5$ мольных долей, и они соответствуют равновесной смеси $0,25H_2 + 0,25CH_4 + 0,5 N_2$.

Выделенные курсивом показатели степеней температурных зависимостей ЭКД компонентов определялись для каждой температуры, начиная с 400,0 К. Изменение показателя степенной зависимости водорода и азота незначительно и связано с

округлением. Исключения проявляются для метана. Изменения ЭКД и показателя степенной зависимости этого газа объяснимы проявлением «диффузионного затвора» [11] в начальной стадии диффузии. (Об этом говорилось выше).

В наших публикациях, связанных с определением температурных зависимостей газов в многокомпонент-ных смесях, неоднократно отмечалось, что влияние концентрации компонента весьма слабо отражается на показателе степени температурной зависимости компонента (см., например, [14]), поэтому в последней колонке таблицы 2 приведены усредненные показатели температурных зависимостей всех трех газов.

Таким образом, температурные зависимости ЭКД компонентов в данной системе имеют показатели степенной зависимости при $T_0 = 298,0$ К и $P = 0,101$ МПа для: водорода – $n = 1,711 \pm 0,003$; азота – $n = 1,72 \pm 0,02$, а $D_{T_0}^{эф}$ для этих газов определяется в зависимости от концентрации в бинарной смеси; метана – $n = 1,98 \pm 0,16$, при этом вычисления $D_{T_0}^{эф}$ для этого газа рекомендуем ограничить концентрацией водорода в 0,8 мольных долей.

Аналогичные результаты вычислений для смеси $H_2 + N_2 - CH_4$ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – ЭКД и показатели степеней температурных зависимостей компонентов системы $H_2 + N_2 - CH_4$ в зависимости от концентрации водорода в бинарной смеси для начального распределения концентраций в интервале температур 298,0–1000,0 К

№ п/п	Концентрация H_2 в бинарной смеси, моль. доли	Газ	ЭКД компонентов, см ² /с								
			<i>Показатели степеней температурных зависимостей</i>								
			Температура, К								
			298	400	500	600	700	800	900	1000	сред.
1	0,2	H_2	0,750	1,247	1,835	2,514	3,282	4,134	5,067	6,080	
				1,728	1,728	1,728	1,728	1,728	1,729	1,729	1,728
		CH_4	0,293	0,494	0,736	1,018	1,339	1,698	2,094	2,526	
				1,779	1,779	1,780	1,780	1,780	1,780	1,780	1,780
	N_2	0,179	0,306	0,461	0,643	0,853	1,089	1,351	1,638		

		N ₂	0,768	1,274	1,871	2,560	3,337	4,198	5,141	6,161		
				1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721	1,721

В пояснениях результатов этой таблицы отметим, что и азот, и метан обладают практически одинаковыми диффузионными свойствами относительно водорода. Фактически для практических задач их смесь можно считать «одним газом» [15], температурные зависимости ЭКД для всех газов имеют $D_{T_0}^{эф} = 0,80 \text{ см}^2/\text{с}$, при $T_0 = 298,0 \text{ К}$ и $P = 0,101 \text{ МПа}$, а показатели степеней температурных зависимостей для водорода – $n = 1,721 \pm 0,008$; азота – $n = 1,714 \pm 0,005$; метана – $n = 1,729 \pm 0,005$, среднее значение которых $n = 1,721 \pm 0,005$.

При использовании ЭКД для вычислений диффузионных потоков в многокомпонентных газовых смесях необходимо помнить, для каких случаев диффузии получены выражения ЭКД (они, кстати, четко сформулированы в монографии [15]). Иначе можно сделать грубые ошибки.

Таким образом, вычисленные ЭКД и показатели степеней температурных зависимостей газов в исследованных трехкомпонентных системах могут служить в качестве справочной информации в практических приложениях. Из проведенных исследований следует, что в сложных газовых смесях необходимо иметь сведения о поведении всех газов во время диффузии для корректной оценки их диффузионных способностей.

ЛИТЕРАТУРА

1 Айткожаев А.З., Болотов И.В., Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Курмакаев Ф.З. Система водород-азот-метан. Эффективные коэффициенты диффузии компонентов при температуре 298,0 К в области давлений от 1,0 до 5,0 МПа и концентраций газов в исходных бинарных смесях от 0,1 до 0,9 мольных долей // Таблицы РСД зарегистрированы во Всесоюзном научно-исследовательском центре по материалам и веществам Госстандарта 19.09.1989 г. под № ГСССД Р. 340-89.

2 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У. и др. Исследование диффузии в газовых смесях, содержащих компоненты синтеза аммиака // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 2. – С. 133-136.

3 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. Описание нестационарной диффузии в многокомпонентных газовых смесях методом эффективных коэффициентов // ЖФХ. – 1975. – Т. 49, № 3. – С. 706-709.

4 Косов Н.Д., Жаврин Ю.И., Новосад З.И. Диффузия в многокомпонентных газовых смесях // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – Вып. 17. – С. 86-112.

5 Бычков А.Г., Жаврин Ю.И. Температурная зависимость эффективных коэффициентов диффузии некоторых смесей в изотермических и неизотермических условиях // НИИ ЭТФ Каз. ун-т. – Алма-Ата, 1993. – 10 с. – Деп. В КазНИИКИ. 15.01.93. № 3985. Ка-93.

6 Жаврин Ю.И., Жаврин В.Ю., Косов В.Н., Поярков И.В. Расчет многокомпонентного массопереноса в двухколбовом аппарате с применением языка программирования ДЕЛПХИ // Вестник КазНУ. Сер. физ. – 2006. – № 2(22). – С. 73-79.

7 Новосад З.И., Косов Н.Д. Эффективные коэффициенты диффузии трехкомпонентных газовых смесей гелия, аргона и углекислого газа // ЖТФ. –1970. – Т. 40, № 11. – С. 2368-2375.

8 Андрещ С.П.С. А симпле Метход оф Меасуринг Гасеоус Диффусион Цоеффициент // Чем. Енг. Сци. – 1955. – В. 4. – П. 269-272.

9 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Белов С.М., Семидоцкая Н.И. О применении метода эффективных коэффициентов диффузии к диффузии в многокомпонентных газовых смесях при повышенных давлениях // Тепломассоперенос в жидкостях и газах. – Алма-Ата, 1982. – С. 3-12.

10 Калинин Б.А., Лойко А.Э., Суетин П.Е. Эффективная длина капилляра в измерениях коэффициентов взаимной диффузии газов методом двух объемов // Диффузия в газах и жидкостях. – Алма-Ата, 1972. – С. 79-85.

11 Селезнев В.Д., Смирнов В.Г. Диффузия трехкомпонентной смеси газов в системе двух колб // ЖТФ. – 1981. – Т. 51, № 4. – С. 795-800.

12 Косов Н.Д., Солоницын Б.П. Температурная зависимость коэффициентов самодиффузии и взаимной диффузии газов // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во Стандартов, 1982. – Вып. 17. – С. 4-24.

13 Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей (инженерные методы расчета): Пер. с польского. – М.-Л.: Химия, 1966. – 536 с.

14 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Асембаева М.К., Поярков И.В., Федоренко О.В. Влияние концентрации на температурные зависимости эффективных коэффициентов диффузии // Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2011. – № 3(277). – С. 41-47.

15 Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса / Пер. с англ. – М.: Химия, 1974. – 688 с.

REFERENCES

1 Ajtkozhaev A.Z., Bolotov I.V., Zhavrin Ju.I., Kosov N.D., Kurmakaev F.Z. Sistema vodorod-azot-metan. Jeffektivnye koeficienty diffuzii komponentov pri temperature 298,0 K v oblasti davlenij ot 1,0 do 5,0 MPa i koncentracij gazov v ishodnyh binarnyh smesjah ot 0,1 do 0,9 mol'nyh dolej. Tablicy RSD zaregistrovany vo Vsesojuznom nauchno-issledovatel'skom centre po materialam i veshhestvam Gosstandarta 19.09.1989 g. pod № GSSSD R. 340-89.

2 Zhavrin Ju.I., Kosov V.N., Kul'zhanov D.U. i dr. Issledovanie diffuzii v gazovyh smesjah, sodержashhiih komponenty sinteza ammiaka // IFZh. – 2001. – T. 74, № 2. – S. 133-136.

3 Zhavrin Ju.I., Kosov N.D., Novosad Z.I. Opisanie nestacionarnoj diffuzii v mnogokomponentnyh gazovyh smesjah metodom jeffektivnyh koeficientov // ZhFH. – 1975. – T. 49, № 3. – S. 706-709.

4 Kosov N.D., Zhavrin Ju.I., Novosad Z.I. Diffuzija v mnogokomponentnyh gazovyh smesjah. Teplofizicheskie svojstva veshhestv i materialov. – M.: Izd-vo standartov. 1982. – Vyp. 17. – S. 86-112.

5 Bychkov A.G., Zhavrin Ju.I. Temperaturnaja zavisimost' jeffektivnyh koeficientov diffuzii nekotoryh smesej v izotermi-cheskih i neizotermicheskih uslovijah // NII JeTF Kaz. un-t. Alma-Ata, 1993. 10 s. – Dep. V KazNIIKI. 15.01.93. № 3985. Ka-93.

6 Zhavrin Ju.I., Zhavrin V.Ju., Kosov V.N., Pojarkov I.V. Raschet mnogokomponentnogo massoperenosa v dvuhkolbovom apparate s primeneniem jazyka programmirovanija DELPHI // Vestnik KazNU. Ser. fiz. – 2006. – № 2(22). – S. 73-79.

7 Novosad Z.I., Kosov N.D. Jeffektivnye koeficienty diffuzii trehkomponentnyh gazovyh smesej gelija, argona i uglekislogo gaza // ZhTF. – 1970. – T. 40, № 11. – S. 2368-2375.

8 Andrew S.P.S. A simple Method of Measuring Gaseous Diffusion Coefficient // Chem. Eng. Sci. – 1955. – V. 4. – P. 269-272.

9 Zhavrin Ju.I., Kosov N.D., Belov S.M., Semidockaja N.I. O primenении metoda jeffektivnyh koeficientov diffuzii k diffuzii v mnogokomponentnyh gazovyh smesjah pri povyshennyh davlenijah. Teplomassoperenos v zhidkostjah i gazah. – Alma-Ata, 1982. – S. 3-12.

10 Kalinin B.A., Lojko A.Je., Suetin P.E. Jeffektivnaja dlina kapilljara v izmerenijah koeficientov vzaimnoj diffuzii gazov metodom dvuh ob'emov. Diffuzija v gazah i zhidkostjah. – Alma-Ata, 1972. – S. 79-85.

11 Seleznev V.D., Smirnov V.G. Diffuzija trehkomponentnoj smesi gazov v sisteme dvuh kolb // ZhTF. – 1981. – T. 51, № 4. – S. 795-800.

12 Kosov N.D., Solonicyn B.P. Temperaturnaja zavisimost' koeficientov samodiffuzii i vzaimnoj diffuzii gazov. Teplofizicheskie svojstva veshhestv i materialov. – M.: Izd-vo Standartov, 1982. – Vyp. 17. – S. 4-24.

13 Bretshnajder S. Svojstva gazov i zhidkosteij (inzhenernye metody rascheta) / Per. s pol'skogo. – M.-L.: Himija, 1966. – 536 s.

14 Zhavrin Ju.I., Kosov V.N., Asembaeva M.K., Pojarkov I.V., Fedorenko O.V. Vlijanie koncentracii na temperaturnye zavisimosti jeffektivnyh kojefficientov diffuzii // Izvestija NAN RK. Ser. fiz.-mat. – 2011. – № 3(277). – S. 41-47.

15 Berd R., St'juart V., Lajfut E. Javlenija perenosa / Per. s angl. – M.: Himija, 1974. – 688 s.

Резюме

Ю. И. Жаврин¹, В. Н. Косов², М. Қ. Әсембаева¹, В. Мұқамеденқызы¹, О. В. Федоренко¹

(¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ.,

² Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ.)

ҚҰРАМЫНДА ӘРТҮРЛІ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫ СУТЕГІ, АЗОТ ЖӘНЕ МЕТАН БАР ГАЗ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ТИІМДІ ДИФФУЗИЯ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІНІҢ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ТӘУЕЛДІЛІГІ

Температурасы 298–1000 К аралығында құрамында әртүрлі концентрациялы сутегі, азот және метан бар газ жүйелерінің тиімді диффузия коэффициенттерінің температуралық тәуелділігі есептелді. Көрсетілген құрамдар табиғи газдан аммиакты синтездеу кезінде қолданылады. Алынған нәтижелер анықтамалық мәлімет ретінде қолданылуы мүмкін.

Кілт сөздер: тиімді диффузия коэффициенті, азот, сутегі, метан.

Summary

Yu. I. Zhavrin¹, V. N. Kosov², M. K. Asembaeva¹, V. Mukamedenkyzy¹, O. V. Fedorenko¹

(¹Al-Farabi Kazakh national university, Almaty.

¹ Kazakh national pedagogical university named after Abai, Almaty)

TEMPERATURE DEPENDENCES OF THE EFFECTIVE DIFFUSION COEFFICIENTS OF COMPONENTS

IN THE GAS SYSTEMS CONTAINING HYDROGEN, NITROGEN AND METHANE
IN THE DIFFERENT CONCENTRATIONS

The temperature dependences of the effective diffusion coefficients of hydrogen, nitrogen and methane at its different concentrations for three ternary gas systems in the temperature range 298,0–1000,0 K are calculated. Mentioned components are used by the ammonia-synthesis from the natural gas. The obtained results should be recommended as a reference data.

Keywords: effective diffusion coefficient, nitrogen, methane, hydrogen.

Поступила 15.04.2013г