

*Ю. И. ЖАВРИН<sup>1</sup>, В. Н. КОСОВ<sup>2</sup>, Д. У. КУЛЬЖАНОВ<sup>3</sup>, И. В. ПОЯРКОВ<sup>1</sup>, М. К. АСЕМБАЕВА<sup>1</sup>*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗА-РАЗБАВИТЕЛЯ НА ДИФФУЗИЮ ДВУХ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Проведен расчет диффузионного процесса в тройных системах  $\text{He} + \text{X}_1 - \text{Ar} + \text{X}_2$ , где  $\text{X}_i$  газы-разбавители:  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Kr}$ ,  $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ,  $\text{R12}$ ,  $\text{Xe}$  для двухколбового диффузионного аппарата. Показано влияние природы газа-разбавителя и его концентрации на интенсивность диффузионного смешения двух основных компонентов.

При анализе экспериментальных и расчетных данных по диффузии двух газов через третий – балластный (газ-разбавитель) было обращено внимание на интересный факт. Если разбавлять различными балластными газами одну и ту же пару газов, то их истинные коэффициенты диффузии (ИКД) в среднеимпульсной системе отсчета

[1, 2], а также эффективные коэффициенты диффузии (ЭКД) в среднеобъемной системе отсчета [3, 4] зависели от природы газа-разбавителя и его концентрации в смесях. В кандидатской диссертации Кульжанова [5] на большом экспериментальном материале и результатах расчета (по теории Максвелла – Больцмана – Джинса [6])

показано влияние балластного газа на ИКД [2] основных компонентов – гелия и аргона. Кульжановым была правильно подмечена роль газа-разбавителя, способного существенным образом либо интенсифицировать, либо замедлять смешение основных компонентов.

В качестве примера приведем некоторые наиболее интересные выводы из [5, с. 84]: «... неподвижный газ может увеличивать истинный коэффициент диффузии, особенно второго (более тяжелого компонента), например, аргона (имеется в виду система, где основные газы гелий и аргон), коэффициент возрастает в два раза. Отметим, что истинный коэффициент самого легкого газа – водорода увеличить невозможно». И еще (с. 90): «... можно подобрать (для любой пары газов) такой балластный газ, при котором коэффициенты диффузии основных газов остаются постоянными независимо от концентрации газа-разбавителя». Расчетами было показано, что таким условиям для пары газов гелий – аргон удовлетворяет неон.

Аналогичным исследованиям в среднеобъемной системе отсчета также был посвящен ряд работ [3, 4]. Однако из этих публикаций не всегда можно было получить необходимую информацию о многокомпонентном массопереносе в системах с балластным газом. В то же время (об этом говорилось выше) подбор соответствующего газа-разбавителя позволял управлять характером массообменного процесса, например, при химических реакциях в газовой фазе.

Диффузия в многокомпонентных газовых смесях при наличии в них балластных газов имеет ряд особенностей, которые не имеют места в обычной бинарной диффузии, о чем свидетельствуют экспериментальные работы [7–9] и непосредственный анализ уравнений Стефана–Максвелла [10]. В терминологии Тура [7] эти особенности получили названия “противодиффузия” или “обратная диффузия”, “диффузионный барьер” и “осмотическая диффузия”. “Противодиффузия” – перенос компонента в направлении его градиента, “диффузионный барьер” – отсутствие переноса компонента при отличном от нуля его градиента концентрации и “осмотическая диффузия” – перенос компонента при равном нулю его градиенте. Эти «эффекты» Тура стали классическим проявлением особенностей многокомпонентной диффузии. Физику проявления

этих на первый взгляд странных явлений легко раскрыть (это изящно сделано в работе [11]), если представить, что наблюдаемый на опыте перенос компонентов есть результат сложения (векторного) молекулярного переноса и переноса гидродинамическим потоком, как следствие диффузионного бароэффекта, возникающего в замкнутых диффузионных аппаратах.

В газовых смесях, когда два или более основных диффундирующих газов равномерно разбавлены третьим – балластным (градиент концентрации газа-разбавителя равен нулю), последний может переноситься гидродинамическим потоком, что соответствует «осмотической» диффузии.

Исследования диффузии в трехкомпонентных смесях с балластным газом показали, что роль гидродинамического переноса велика [7, 12, 13], поэтому несомненный интерес представляет изучение влияния газа-разбавителя на диффузию двух основных. Этот частный случай многокомпонентной диффузии привлекает экспериментаторов не только простотой постановки опытов, но и возможностью сопоставить полученные данные с результатами расчетов, полученных на основании точного решения уравнений Стефана – Максвелла.

В данной статье представлены результаты вычислений [14] и дан анализ влияния природы различных газов-разбавителей ( $H_2$ ,  $D_2$ ,  $CH_4$ , Ne,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , Kr,  $C_7H_{16}$  (н-Гептан), R12 (фреон 12 –  $CF_2Cl_2$ ), Xe) на диффузию двух основных гелия и аргона, причем концентрация балластных газов изменялась в широких пределах. Расчеты диффузионного процесса проводились для нормального атмосферного давления и температуры 298,0 К применительно к двухколбовому аппарату. При этом использовались коэффициенты взаимной диффузии (КВД) пар газов, численные значения которых брались из литературных источников [15–19]. Геометрические параметры аппарата были следующими: диаметр  $d$  и длина  $L$  диффузионного канала 3,3 и 70,0 мм соответственно, а объемы верхней  $V_в$  и нижней  $V_н$  колб составляли примерно по 70 см<sup>3</sup>. Комплекс данных геометрических размеров (постоянная

прибора  $\beta = \frac{L}{S} \left( \frac{V_в V_н}{V_в + V_н} \right)$ ) был равен 2500 см<sup>2</sup>.

Таким образом, используемые в расчетах геометрические характеристики в среднем соответство-

вали размерам аппаратов, используемым в экспериментах.

Результаты расчетов  $D_{He}^{эф}$  и  $D_{Ar}^{эф}$  для начального распределения концентраций компонентов приведены в табл. 1. ЭКД балластных газов не вычислялись по следующим соображениям. По начальному распределению концентраций газ-разбавителя производить расчет нельзя, так как его градиент равен нулю, но и вычислять ЭКД балластного газа, когда он приходит в движение под действием диффузионного бароэффекта и нарушается однородность его распределения, не имеет смысла из-за малой величины возникшего градиента концентрации (по сравнению с градиентами основных компонентов). Также необходимо учитывать, что ЭКД газ-разбавителя может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Результаты расчетов были сопоставлены с имеющимися в литературе экспериментальными данными для некоторых систем с балластными

газами:  $H_2$  [3],  $N_2$  [12],  $CO_2$  [4]. Расчетные и экспериментальные данные удовлетворительно согласуются между собой.

Из данных табл. 1 видно, что природа балластного газа оказывает существенное влияние на диффузию двух основных – гелия и аргона. При этом четко прослеживается зависимость ЭКД от молярной массы газ-разбавителя, но такое заключение несколько упрощенно. Действительно, ЭКД гелия и аргона в смеси с метаном ниже, чем в смеси с неонам и даже с азотом, несмотря на то, что молярная масса метана меньше, чем у неона и азота. Это говорит о том, что зависимость коэффициентов диффузии только от молярной массы газ-разбавителя справедлива для первого приближения. В общем случае она выглядит несколько сложнее, в частности, кроме масс молекул должна включать также их диаметры.

В [5] предлагается учитывать влияние природы газ-разбавителя через параметр  $\alpha_{ij}$ , который используется при вычислении ИКД

Таблица 1. Эффективные коэффициенты диффузии гелия и аргона для начального распределения компонентов в системах  $He + X_1 - Ar + X_2$  ( $X_1$  – газы-разбавители:  $H_2, D_2, CH_4, Ne, N_2, O_2, CO_2, Kr, C_7H_{16}, R12, Xe$ ) в зависимости от концентрации балластных газов.  $P = 0,101$  МПа,  $T = 298$  К. Молярная масса [г·моль<sup>-1</sup>] и диаметр молекулы [10<sup>-8</sup> см] для: He – 4,003; 2,576 и Ar – 39,944; 3,418 соответственно [20]

Концентрация балласт. газов, моль. доли	Эффективные коэффициенты диффузии $D_{He}^{эф} / D_{Ar}^{эф}$ , см <sup>2</sup> /с						Концентрация балласт. газов, моль. доли	Эффективные коэффициенты диффузии $D_{He}^{эф} / D_{Ar}^{эф}$ , см <sup>2</sup> /с				
	Газы-разбавители / их молярная масса, [г·моль <sup>-1</sup> ] / диаметр молекулы [10 <sup>-8</sup> см]							Газы-разбавители / их молярная масса [г·моль <sup>-1</sup> ]/диаметр молекулы [10 <sup>-8</sup> см]				
	$H_2$ 2,016 2,915	$D_2$ 4,03 2,948	$CH_4$ 16,04 3,822	$Ne$ 20,18 2,789	$N_2$ 28,02 3,681	$O_2$ 32 3,433		$CO_2$ 44,01 3,996	$Kr$ 83,8 3,498	$C_7H_{16}$ 100,2 8,88*	$R12$ 120,9 5,430	$Xe$ 131,3 4,055
0	$D_{He-Ar} = 0,75$						0	$D_{He-Ar} = 0,75$				
0,1	<u>0,804</u> 0,757	<u>0,795</u> 0,737	<u>0,739</u> 0,664	<u>0,786</u> 0,704	<u>0,747</u> 0,669	<u>0,754</u> 0,670	0,1	<u>0,725</u> 0,642	<u>0,732</u> 0,642	<u>0,584</u> 0,518	<u>0,652</u> 0,566	<u>0,707</u> 0,620
0,3	<u>0,928</u> 0,773	<u>0,891</u> 0,710	<u>0,721</u> 0,523	<u>0,857</u> 0,613	<u>0,742</u> 0,531	<u>0,760</u> 0,534	0,3	<u>0,686</u> 0,474	<u>0,704</u> 0,473	<u>0,425</u> 0,295	<u>0,536</u> 0,349	<u>0,645</u> 0,432
0,5	<u>1,075</u> 0,792	<u>1,000</u> 0,679	<u>0,706</u> 0,411	<u>0,925</u> 0,525	<u>0,738</u> 0,419	<u>0,766</u> 0,420	0,5	<u>0,657</u> 0,351	<u>0,682</u> 0,347	<u>0,347</u> 0,187	<u>0,470</u> 0,225	<u>0,603</u> 0,304
0,7	<u>1,254</u> 0,814	<u>1,112</u> 0,646	<u>0,694</u> 0,319	<u>0,992</u> 0,439	<u>0,734</u> 0,325	<u>0,770</u> 0,323	0,7	<u>0,635</u> 0,256	<u>0,666</u> 0,248	<u>0,302</u> 0,123	<u>0,427</u> 0,145	<u>0,572</u> 0,211
0,9	<u>1,477</u> 0,843	<u>1,239</u> 0,610	<u>0,684</u> 0,243	<u>1,057</u> 0,355	<u>0,731</u> 0,246	<u>0,774</u> 0,241	0,9	<u>0,617</u> 0,181	<u>0,653</u> 0,170	<u>0,272</u> 0,081	<u>0,397</u> 0,089	<u>0,549</u> 0,140

Примечание. Диаметры молекул найдены по результатам вязкостных измерений [21, 22]; \* – рассчитан по сжимаемости [16].

$$\alpha_{ij} = \left( \frac{\sigma_{ii} + \sigma_{jj}}{2\sigma_{ii}} \right)^2 \times \left( \frac{1 - \omega_{ij}}{1 - \omega_{ii}} \right) \times \sqrt{\frac{m_i + m_j}{2m_j}},$$

$$i, j, k = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где  $\omega_{ij}$  – персистенция скоростей [6];  $\omega_{ii} = 0,406$ ;  $\sigma_{ii}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $m_i$ ,  $m_j$  – диаметры и массы молекул сорта  $i$  и  $j$  соответственно.

Однако такой подход довольно сложный, поэтому нами предлагается простое решение на основе коэффициента самодиффузии балластного газа. Данный коэффициент в случае идеаль-

ного газа обратно пропорционален квадрату диаметра и корню квадратному из массы молекул

$$D_{ii} \sim \frac{1}{\sigma_{ii}^2 \sqrt{m_i}}. \quad (2)$$

В нашем случае такой подход вполне оправдан, так как изменяются только газы-разбавители, а основные компоненты – гелий и аргон неизменны. В табл. 2 приведены результаты вычислений, согласно которым можно проследить влияние балластных газов на интенсивность диффузии основных компонентов.

Таблица 2. Результаты вычислений по (2) и сопоставление их со значениями ЭКД гелия и аргона (см. табл. 1)

	$\text{H}_2$ 2,016 2,915	$\text{D}_2$ 4,03 2,948	$\text{CH}_4$ 16,04 3,822	$\text{Ne}$ 20,18 2,789	$\text{N}_2$ 28,02 3,681	$\text{O}_2$ 32 3,433	$\text{CO}_2$ 44,01 3,996	$\text{Kr}$ 83,8 3,498	$\text{C}_2\text{H}_6$ 100,2 8,88*	$\text{R12}$ 120,9 5,430	$\text{Xe}$ 131,3 4,055
$\frac{1}{\sigma_i^2 m_i}$	0,083 (1)	0,023 (2)	0,017 (4)	0,0286 (3)	0,0139 (6)	0,015 (5)	0,0094 (7)	0,0089 (8)	0,0013 (11)	0,0032 (10)	0,0053 (9)
$\frac{D_{\text{He}}^{\text{эф}}}{D_{\text{Ar}}^{\text{эф}}}$	<u>0,804</u> 0,757	<u>0,795</u> 0,737	<u>0,739</u> 0,664	<u>0,786</u> 0,704	<u>0,747</u> 0,669	<u>0,754</u> 0,670	<u>0,725</u> 0,642	<u>0,732</u> 0,642	<u>0,584</u> 0,518	<u>0,652</u> 0,566	<u>0,707</u> 0,620

*Примечание.* Цифры в скобках (2-я строка в таблице) характеризуют рост интенсивности диффузионного процесса при использовании данных газов-разбавителей, который находит отражение в 3-й строке ЭКД гелия и аргона.

Из табл. 2 видно, что, когда газами-разбавителями выступают легкие компоненты и самые тяжелые, то данные строк 2 и 3 неплохо согласуются. Для  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  рассчитанные величины близки по значениям друг к другу и здесь всегда есть возможность получить желаемый результат, варьируя коэффициентами взаимной диффузии и диаметрами молекул из справочной литературы.

Мы сочли целесообразным привести на рис. ход изменения концентраций некоторых газов-разбавителей:  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{R12}$ ,  $\text{Xe}$  с течением времени. Во всех исследуемых смесях для балластных газов четко фиксируются «эффекты» Тура: точка «осмотической диффузии» (на оси ординат), области «противодиффузии» (от начального момента времени до точки, помеченной стрелками для каждого газа – разбавителя) и точки «диффузионного барьера» (отмечены стрелками).

Разность концентраций балластных газов в точке «диффузионного барьера» различна и составляет, например: для водорода 0,05 мольных долей (точка достигается за 45 мин), а для  $\text{R12}$  – 0,19 мольных долей (достигается за 3 ч). Нами

уже отмечалось, что, пройдя эту точку, молекулярный перенос будет преобладать над переносом гидродинамическим потоком. Области «противодиффузии» соответствуют отрицательные значения ЭКД балластных газов. Переход в область обычной диффузии сопровождается изменением знака эффективного коэффициента. Причем при прохождении точки «диффузионного барьера» его значение будет равно нулю.

По изменению концентрации газов-разбавителей можно судить об интенсивности процессов смешения в различных смесях. Для смеси, где балластным газом является самый легкий газ – водород, равновесные концентрации компонентов достигаются через 5 ч, а для смеси, где фреон-12, это происходит через 30 ч. Наблюдая изменение концентраций компонентов в системе с  $\text{R12}$  более 300 мин, можно выявить еще одну особенность многокомпонентного переноса (для гелия) в виде затухающих колебаний его концентрации [23, 24].

В табл. 3 показано изменение ЭКД гелия и аргона с течением времени в зависимости от газа-разбавителя. Расчеты проведены для систем

Изменение концентраций газов-разбавителей в колбах диффузионного аппарата в процессе диффузии для систем  $0,5 \text{ He} + 0,5 X_1 - 0,5 \text{ Ar} + 0,5 X_2$ , где  $X_1$  газы-разбавители:  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{R12}$ ,  $\text{Xe}$ . Расчеты проводились при  $P = 0,101 \text{ МПа}$ ,  $T = 298 \text{ К}$ . Стрелками показаны моменты наступления «диффузионного барьера» для газов-разбавителей в соответствующих системах

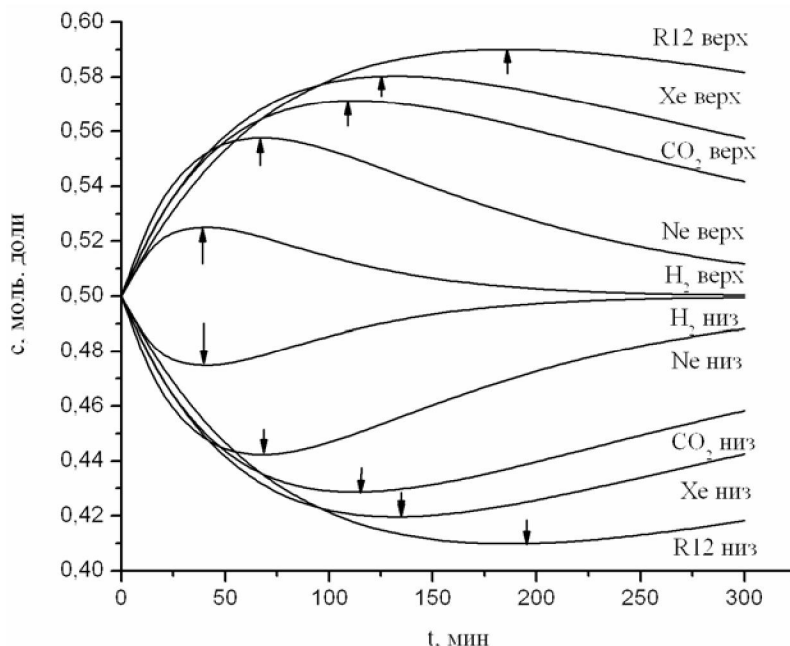


Таблица 3. Эффективные коэффициенты диффузии гелия и аргона для систем  $0,5 \text{ He} + 0,5 X_1 - 0,5 \text{ Ar} + 0,5 X_2$ , где  $X_1$  газы-разбавители:  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{R12}$ ,  $\text{Xe}$  в зависимости от продолжительности экспериментов.  $P = 0,101 \text{ МПа}$ ,  $T = 298 \text{ К}$

Время диффузии, мин	Эффективные коэффициенты диффузии $D_{\text{He}}^{\text{эф}}$ и $D_{\text{Ar}}^{\text{эф}}$ , $\text{см}^2/\text{с}$					Время диффузии, мин	Эффективные коэффициенты диффузии $D_{\text{He}}^{\text{эф}}$ и $D_{\text{Ar}}^{\text{эф}}$ , $\text{см}^2/\text{с}$				
	He						Ar				
	Газы-разбавители						Газы-разбавители				
	$\text{H}_2$	Ne	$\text{CO}_2$	R12	Xe		$\text{H}_2$	Ne	$\text{CO}_2$	R12	Xe
0	1,075	0,925	0,657	0,470	0,603	0	0,792	0,525	0,351	0,225	0,304
30	1,056	0,919	0,658	0,471	0,603	30	0,796	0,503	0,334	0,214	0,296
60	1,037	0,911	0,659	0,472	0,606	60	0,799	0,484	0,318	0,203	0,272
90	1,018	0,902	0,661	0,474	0,608	90	0,801	0,468	0,304	0,193	0,258
120	1,001	0,889	0,663	0,476	0,611	120	0,803	0,455	0,291	0,184	0,246
150	0,984	0,874	0,667	0,479	0,614	150	0,805	0,445	0,280	0,175	0,235
180	0,969	0,856	0,671	0,482	0,619	180	0,807	0,436	0,270	0,168	0,226
210	0,956	0,834	0,676	0,487	0,625	210	0,808	0,428	0,262	0,161	0,218
240	0,944	0,811	0,684	0,493	0,634	240	0,809	0,422	0,255	0,155	0,211
270	0,935	0,786	0,695	0,500	0,646	270	0,809	0,417	0,249	0,150	0,205
300	0,924	0,761	0,711	0,510	0,666	300	0,810	0,413	0,244	0,145	0,199

$0,5 \text{ He} + 0,5 X_1 - 0,5 \text{ Ar} + 0,5 X_2$ , где  $X_1$  газы-разбавители:  $\text{H}_2$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{R12}$ ,  $\text{Xe}$ .

Из табл. 3 видно, что изменение ЭКД гелия и аргона с течением времени для различных газов-разбавителей может быть от минимального значения в 10 до максимального значения в 30 %. Поэтому в прикладных вычислениях при больших изменениях ЭКД необходимо более конкретно задавать значения изменений концентраций компонентов.

По результатам исследований можно сделать следующее заключение. Если в диффузионном процессе используются различные газы-разбавители с отличающимися друг от друга свойствами, то это позволяет управлять характером массообмена, например, при химических реакциях. Так, разбавляя основные компоненты определенным балластным газом, можно либо интенсифицировать, либо оставить без изменения, либо замедлить диффузионный процесс.

Очень важным для систем с балластным газом является вопрос устойчивости диффузионного процесса. Это изучалось Миллером и Мэйсоном [23], сотрудниками проблемной лаборатории теплообмена и горения КазГУ (см., например, [24, 25]). В частности, в [24, 25] было показано, что при неустойчивой диффузии изменение концентрации балластного газа в диффузионном аппарате противоположно его изменению при устойчивом процессе. Поэтому результаты данного исследования могут быть использованы при нахождении диффузионных характеристик компонентов, определении режима смешения, а также при оценке влияния газоразбавителя на массообмен в различных технологических процессах, происходящих в закрытых резервуарах, колоннах и т.д.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Косов Н.Д., Жаврин Ю.И., Кульжанов Д.У. // ЖТФ. 1981. Т. 51, № 3. С. 645-649.
2. Кульжанов Д.У., Жаврин Ю.И. // Молекулярный и молярный тепломассоперенос. Алма-Ата, 1981. С. 20-22.
3. Жаврин Ю.И., Косов Н.Д. // Физика (сб. статей аспирантов и соискателей). Алма-Ата, 1972. Вып. 1, ч. 1. С. 112-115.
4. Косов Н.Д., Жаврин Ю.И., Новосад З.И. // Теплофизические свойства веществ и материалов. М.: Изд-во стандартов, 1982. Вып. 17. С. 86-112.
5. Кульжанов Д.У. Экспериментальное исследование диффузии некоторых трехкомпонентных газовых смесей в различных системах отсчета: Дис... канд. физ.- мат. наук. Алма-Ата, 1982. 150 с.
6. Косов Н.Д., Новосад З.И. // Диффузия в газах и жидкостях. Алма-Ата, 1972. С. 92-99.
7. Dunkan J.B., Toor H.L. // A. I. Chem. E. Journal. 1962. V. 8, N 1. P. 38-41.
8. Новосад З.И., Косов Н.Д. // ЖТФ. 1970. Т. 40, № 11. С. 2368-2375.
9. Косов Н.Д., Жаврин Ю.И., Новосад З.И. // ЖФХ. 1975. Т. 49, № 3. С. 706-709.
10. Toor H.L. // A. I. Chem. E. Journal. 1957. V. 3, N 2. P. 198-207.
11. Косов Н.Д., Новосад З.И. // ЖТФ. 1969. Т. 39, № 3. С. 582-586.
12. Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. // Физика: (сб. статей аспирантов и соискателей). Алма-Ата, 1969. Вып. 4. С. 50-54.
13. Новосад З.И., Косов Н.Д. // ЖТФ. 1970. Т. 40, № 11. С. 2368-2375.
14. Жаврин Ю.И., Жаврин В.Ю., Косов В.Н., Поляков И.В. // Вестник КазНУ. Сер. физическая. Алматы, 2006. № 2 (22). С. 72-79.
15. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд. перераб. и допол. М.: Наука, 1972.
16. Солоницын Б.П. Исследование температурной зависимости коэффициентов взаимной диффузии газов стационарным проточным методом: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Алма-Ата, 1979. 23 с.
17. Селезнев В.Д., Ивакин Б.А., Лойко А.Э. и др. // Теплофизические свойства веществ и материалов. М.: Изд-во стандартов, 1982. Вып. 17. С. 24-43.
18. Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. // Прикладная и теоретическая физика. Алма-Ата, 1973. Вып. 5. С. 149-153.
19. Косов В.Н., Жаврин Ю.И. // Теплофизические свойства веществ и материалов. М.: Изд-во стандартов, 1989. Вып. 28. С. 112-122.
20. Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса: Пер.с англ. М.: Химия, 1974.
22. Викторов М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты. Л.: Химия, 1977.
23. Егерев В.К., Зайденман И.А., Здоров И.П., Исаяев В.Ю., Коновалов А.П. // ЖФХ. 1976. Т. 50, № 11. С. 2821-2825.
24. Жаврин Ю.И., Кульжанов Д.У., Анкушева Н.Б., Корзун И.Н., Шаповалова Н.В. // Проблемы турбулентности, тепломассопереноса и горения. Матер. междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию проф. С. И. Исатаева. 28-29 марта 2002 г. Алматы: қазақ университеті, 2002. С. 25-26.
25. Miller L., Mason E.A. // Phys. Fluids. 1966. V. 9, N 4. P. 711-721.
26. Жаврин Ю.И., Айткожаев А.З., Косов Н.Д. // Исследование физических процессов в газообразных и конденсированных системах. Караганда, 1985. С. 3-17.
27. Айткожаев А.З., Жаврин Ю.И., Косов Н.Д. // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. 1991. № 6. С. 88-92.

## Резюме

Диффузиялық процестегі  $He + X_1 - Ar + X_1$  үштік жүйесіне есептеу жүргізілді, мұндағы  $- H_2, D_2, CH_4, Ne, N_2, O_2, CO_2, Kr, C_7H_{16}, R12, Xe$  екі қолбалы диффузиялық аппараттағы газ құраушылары. Екі негізгі құрамның диффузиялық ығысуының қарқындылығына газдың табиғаты мен құраушыларының концентрациясының әсері көрсетілген.

## Summary

The calculation of diffusion process in the ternary system  $He+X_1-Ar+X_1$  where  $X_1$  are solvent gases  $H_2, D_2, CH_4, Ne, O_2, CO_2, Kr, C_7H_{16}, R12, Xe$  for a two-flask apparatus is performed. The influence of the solvent gas nature and its concentration on the intensity of diffusion mixing of two basic components is shown.

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы;

<sup>2</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы;

<sup>3</sup>Атырауский институт нефти и газа, г. Атырау

Поступила 20.09.06г.