

03;12

Влияние частоты вращения диффузионного аппарата на процесс смешения в трехкомпонентной газовой смеси

© Ю.И. Жаврин, В.Н. Косов, Д.У. Кульжанов,
И.В. Поярков, Н.Б. Анкушева

Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики при КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: zhavrin@physics.kz

Поступило в Редакцию 17 июля 2002 г.

Экспериментально исследовано влияние круговой частоты вращения двухколбового диффузионного аппарата, в котором может иметь место неустойчивость механического равновесия тройной газовой смеси равной плотности. Показано, что увеличение частоты вращения приводит к переходу от неустойчивого процесса к устойчивой молекулярной диффузии.

На сегодняшний день изучено достаточно много различных факторов и параметров, влияющих на возникновение и характер протекания диффузионной неустойчивости (неустойчивости механического равновесия). Обнаруженные при этом некоторые эффекты можно использовать для приложений в области науки и техники, например для обогащения газовых смесей определенными компонентами [1].

Известно, что на конвективные потоки, сформировавшиеся за счет молекулярной диффузии компонентов, основное влияние оказывает гравитационная сила. Гравитационное ускорение в проведенных ранее экспериментальных исследованиях было постоянным как по величине, так и по направлению. В случае, если ускорение периодически изменяется, то поведение встречных конвективных потоков при неустойчивом диффузионном процессе, возможно, будет отличаться от потоков при постоянном ускорении силы тяжести. В работе [2] рассмотрено влияние колебаний на возникновение и протекание конвекции при неустойчивом диффузионном процессе в трехкомпонентных газовых смесях. В частности, эти исследования позволили сделать вывод о

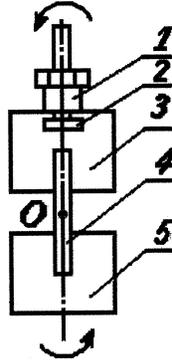


Схема экспериментальной установки по изучению влияния вращения на неустойчивый диффузионный процесс, происходящий в двухколбовом аппарате: 1 — уплотняющий сальник; 2 — перекрывающий клапан; 3 — верхняя колба; 4 — диффузионный канал; 5 — нижняя колба; O — ось вращения.

малом влиянии амплитуды низкочастотных колебаний на неустойчивый диффузионный процесс. В данной работе приведены исследования, позволяющие выяснить влияние частоты вращения диффузионного аппарата на неустойчивую диффузию, протекающую в нем.

Исследование проводилось в двухколбовом диффузионном аппарате, геометрические параметры которого составляли в первом случае: объемы колб — $V_1 = V_2 = (70.0 \pm 0.5) \text{ cm}^3$ (V_1 — нижняя колба, V_2 — верхняя); длина диффузионного канала — $L = (68.3 \pm 0.1) \text{ mm}$, а диаметр — $(10.00 \pm 0.01) \text{ mm}$, в другом случае: $V_1 = V_2 = (69.5 \pm 0.5) \text{ cm}^3$; $L = (70.0 \pm 0.1) \text{ mm}$ и $d = (3.40 \pm 0.01) \text{ mm}$ соответственно. Схема установки приведена на рисунке.

Средняя температура опытов составляла $\bar{T} = (293.0 \pm 0.5) \text{ K}$, а давление подбиралось таким образом, чтобы интенсивность неустойчивого смещения была максимальной для обоих диаметров диффузионного канала. В первом случае — 1.07, во втором — 3.04 МПа.

Неустойчивый диффузионный процесс исследовался в системе $0.333 \text{ He} + 0.667 \text{ Ar-N}_2$ (концентрации компонентов приведены в мольных долях). Концентрации компонентов бинарной смеси были подобраны таким образом, чтобы ее плотность была соизмеримой с плотностью

Таблица 1. Влияние частоты вращения диффузионного аппарата на неустойчивый массоперенос, протекающий в нем. Система 0.333 He + 0.667 Ar–N₂

Частота вращения аппарата, Hz	Перешедшие концентрации компонентов, mol. fraction						Параметр $\alpha = c_{exp}/c_{theor}$		
	эксперимент			расчет согласно [3]					
	He	Ar	N ₂	He	Ar	N ₂	He	Ar	N ₂
Диаметр диффузионного канала — 10 mm. Время опытов 1800 s									
0	0.128	0.257	0.385				2.32	9.18	4.64
0.5	0.076	0.242	0.318				1.38	8.64	3.83
1.0	0.066	0.218	0.284	0.055	0.028	0.083	1.20	7.79	3.42
2.0	0.054	0.150	0.204				0.98	5.36	2.46
2.6	0.052	0.063	0.115				0.95	2.25	1.39
3.6	0.048	0.053	0.101				0.87	1.89	1.22
Диаметр диффузионного канала — 3.4 mm. Время опытов 1800 s									
0.5	0.001	0.030	0.031	0.003	0.001	0.004	0.33	30.0	7.8
0.7	0.003	0.007	0.010				1.0	7.0	2.5
1.0 (Опыт 7200 s)	0.015	0.007	0.022	0.010	0.004	0.014	1.5	1.7	1.5

азота. Для удобства работы, связанной с заполнением колб аппарата, в верхнюю колбу помещали бинарную смесь гелия и аргона, а в нижнюю — азот. Анализ бинарной смеси производился на интерферометре ИТР-1, а смеси газов после диффузии на хроматографе ХРОМ-4 с использованием колонки с молекулярным ситом 5 А. Погрешность анализа составляла 0.3%.

Методика работы состояла в следующем. Двухколбовый аппарат заполнялся исходными смесями газов до необходимого давления. На колбах аппарата закрывались вентили, и он отсоединялся от блока подготовки газов. Затем аппарат закреплялся в патроне токарного станка, открывался кран, разобщающий колбы аппарата, включался секундомер и аппарат приводился во вращение с заданной круговой частотой. По окончании эксперимента вращение прекращалось, колбы разобщались и отмечалось время опыта. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, при отсутствии вращения (аппарат располагается вертикально) интенсивность неустойчивого переноса компонентов максимальная. Об этом можно судить по параметрам α , представляющим отношение экспериментальных концентраций компонентов к вычисленным согласно уравнениям Стефана–Максвелла в предположении устойчивой диффузии [3]. При $\alpha = 1$ диффузионный процесс устойчивый. В случае отличия этого параметра от единицы, хотя бы для одного компонента, можно утверждать, что в таком процессе присутствуют конвективные потоки, обусловленные неустойчивостью. Вращение аппарата приводит к тому, что образовавшиеся за счет диффузии структурные формирования различной плотности [4] под воздействием периодически изменяющегося направления силы тяжести, а также центробежной силы прекращают свое существование (диссипируют) и в результате этого не создаются условия, приводящие к возникновению конвективных потоков.

Таким образом, при определенной круговой частоте можно получить в системе только потоки, свойственные молекулярной диффузии. Это можно проследить из табл. 1 как по изменению перешедших концентраций компонентов, так и по изменению параметра α . Необходимо отметить, что незначительное отличие этого параметра от единицы для критических частот вполне объяснимо. Так как открытие и закрытие диффузионного канала между колбами не мгновенное и составляет примерно по 15 s на каждую операцию, что соизмеримо со временем возникновения конвекции, то, естественно, незначительная часть газов может перейти из колбы в колбу аппарата не диффузионным путем.

Влияние частоты вращения было прослежено для обычной бинарной диффузии системы He–Ar, хотя подобная задача не совсем корректна. При отсутствии вращения, когда в верхней колбе располагался гелий, а в нижней — аргон (обычная диффузия), экспериментальные данные в пределах погрешности эксперимента совпадали с расчетными. Со сменой ориентации газов в колбах аппарата происходило их конвективное смещение и эти результаты отображены в табл. 2 (первая строка). Здесь же представлены результаты влияния вращения на смещение этих двух газов.

Из табл. 2 видно, что увеличение частоты вращения аппарата, когда происходит смена режимов „диффузионное смещение — конвективное смещение“, даже способствует большему переносу компонентов.

Таблица 2. Влияние частоты вращения диффузионного аппарата на бинарную диффузию, протекающую в нем. Система He–Ar. $P = 1.96$ МПа. $\bar{T} = 293$ К. Время опытов 1800 с. Диаметр диффузионного канала 3.4 мм

Частота вращения аппарата, Hz	Перешедшие концентрации компонентов, mol. fraction			
	эксперимент		расчет согласно [3]	
	He	Ar	He	Ar
0	0.085	0.085		
1.0	0.117	0.117	0.0130	0.0130
2.0	0.139	0.139		

Подобный результат следовало ожидать, если учесть интенсивность переноса при диффузии и конвекции во время вращения аппарата.

Таким образом, из проведенных исследований следует, что на структурированные конвективные потоки, возникающие в двухколбовом диффузионном аппарате при неустойчивом процессе смешения в тройных газовых смесях, существенное влияние оказывает круговая частота вращения аппарата. При ее некотором (критическом) значении неустойчивая диффузия переходит к обычному молекулярному переносу.

Список литературы

- [1] Косов В.Н., Селезнев В.Д., Жаврин Ю.И. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 10. С. 139–140.
- [2] Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У. // Вестник КазГУ. Сер. физ. Алматы, 1999. В. 7. С. 151–156.
- [3] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Косов В.Н. и др. Каз. ун-т, НИИ ЭТФ. Алматы, 1995. 26 с. Деп. в КазгосИНТИ 05.07.95. № 6239.
- [4] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Белов С.М. и др. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 5. С. 943–947.