

03; 12

© 1993

# ОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУР И КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ КОНВЕКЦИЯ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ДИФфуЗИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ЧЕРЕЗ ПЕРЕМЕННОЕ ЧИСЛО КАНАЛОВ РАВНОЙ ПЛОЩАДИ

Ю.И. Ж а в р и н, В.Н. К о с о в

Исследование изотермической диффузии в трехкомпонентных газовых смесях показало, что при определенных условиях возможно нарушение устойчивого массопереноса и возникновение гидродинамических течений со сложноструктурными образованиями [1-3]. Наложение на молекулярный перенос конвективных течений делает диффузию неустойчивой. Одним из параметров, влияющих на стабилизацию (дестабилизацию) переноса, является диаметр диффузионного канала. В области давлений  $P = (0,1-18,0)$  МПа и температур  $T = (276,0-473,0)$  К для большого числа тройных систем, исследованных двухколбовым методом, его критический размер составлял  $d_{кр} = 2,5$  мм [3-5]. При дальнейшем увеличении диаметра сформировавшиеся "ячейки конвекции" [1] под действием сил Архимеда свободно перемещаются по каналу в противоположных направлениях. Качественная картина такого течения наблюдалась в [3] с помощью теневого метода в специально изготовленном диффузионном аппарате со смотровыми окнами [6] и фиксировались на фото- и кинолентку.

Ниже излагаются экспериментальные исследования по изучению неустойчивого диффузионного переноса через систему каналов равной площади при повышенных давлениях и различных температурах.

Все измерения в области температур 293-353 К и повышенном давлении осуществлялись на установках, реализующих двухколбовый метод, по ранее описанной методике [3, 4]. Геометрические характеристики аппаратов следующие: № 1, объем верхней колбы  $V_B = (224,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> и нижней колбы  $V_H = (218,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, длина канала  $L = (165,40 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$  м, диаметр  $d = (6,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$  м; № 2, объемы колб равны  $V_B = V_H = (76,9 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>,  $L = (70,75 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$  м,  $d = (4,00 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$  м. Конструкция аппарата № 2 позволяла соединять колбы также набором из семи одинаковых цилиндрических каналов (диаметр одного канала составлял примерно  $1,5 \times 10^{-3}$  м) общей площадью поперечного сечения и длиной, аналогичной геометрическим параметрам одиночного цилиндрического капилляра. Исходный состав бинарной смеси анализировался интерферметром ИТР-1 с длиной кюветы, равной 1 м, и погрешностью, не превышающей 0,1%.

После диффузии смесь анализировалась хроматографом Хром-4 (длина разделительной колонки 1.5 м, сорбент - молекулярные сита 5 А, температура 303 К) с суммарной погрешностью, не превышающей 0,3%. Для исследования были выбраны системы:  $He + Ar - N_2$  и  $H_2 + N_2 - CH_4$ . Исходный состав компонентов в бинарных смесях выбирался так, чтобы при любых условиях опыта (давление и температура) плотность смеси, находящейся в верхней части аппарата, всегда была меньше плотности чистого компонента, расположенного в нижней, и процесс диффузии через одиночный канал был бы неустойчивым. Изучив характер массопереноса через одиночный капилляр на аппарате № 1, его затем делили по образующей на две, три и четыре части металлической фольгой толщиной  $7 \cdot 10^{-5}$  м, что практически не изменяло площадь поперечного сечения диффузионной трубки, и проводили соответствующие измерения. Отметим, что в каждом случае эффективный диаметр полученного таким образом отдельного канала превосходил значение критического диаметра одиночного канала. Для случая, когда размер отдельной полости меньше, чем  $d_{кр}$ , массоперенос изучался на аппарате № 2 путем сопоставления количеств перешедших компонентов при неустойчивом процессе, наблюдаемом в одиночном капилляре, и через набор из семи каналов при одинаковых значениях давления и температуры.

Как видно из табл. 1, концентрации компонентов при неустойчивом массопереносе в случае перехода от одного канала к двум, трем и четырем резко возрастают, что свидетельствует об увеличении интенсивности процесса. Изменение концентраций при переходе от двух полостей к трем и четырем практически не меняется. Это можно объяснить тем, что в случае многоблочного канала создаются благоприятные условия течения, когда по одной части перемещается более легкая смесь, а по другой - тяжелая. Структурные образования в полостях не взаимодействуют между собой, как в одиночном канале, что способствует увеличению интенсивности переноса. Визуальные наблюдения неустойчивой диффузии в канале, разделенном пополам, показали правомерность такого предположения. Для устойчивой диффузии число разделительных полостей не влияет на массоперенос.

В случае, когда диаметр отдельного блока канала меньше, чем  $d_{кр}$  (хотя суммарная площадь поперечного сечения соизмерима с критическим размером для одиночного капилляра), можно заметить (см. табл. 2), что интенсивность неустойчивого процесса через набор каналов значительно меньше, чем наблюдаемая в одиночном капилляре, хотя и тот и другой перенос - неустойчивый. Об этом можно судить путем сравнения экспериментальных значений концентраций с вычисленными в предположении устойчивой диффузии по схеме Стефана-Максвелла [7]. Для набора из семи каналов, по-видимому, наблюдается переходной режим, когда молекулярная диффузия „конкурирует“ с конвективными потоками, поэтому наблюдается рост концентрации компонентов от температуры. В то время как для неустойчивого массопереноса в одиночном

канале с повышением температуры количества перешедших компонентов уменьшаются, что свидетельствует о стремлении процесса к стабилизации [4]. Очевидно, при определенных поперечных размерах диффузионных каналов массоперенос будет только молекулярным.

Таким образом, экспериментально показано, что разделение диффузионного канала на несколько значительно усложняет неустойчивый массоперенос.

Т а б л и ц а 1

Количество перешедших компонентов при неустойчивой диффузии в системе  $0,321 \text{ He} + 0,679 \text{ Ar} - \text{N}_2$ .  $P = 2,05 \text{ МПа}$ ,  $T = 293 \text{ К}$ , продолжительность опыта один час

Вид канала	Концентрации компонентов, мольные доли					
	Экспериментальные данные			Вычисленные согласно уравнениям Стефана-Максвелла		
	He	Ar	N <sub>2</sub>	He	Ar	N <sub>2</sub>
○	0,030	0,159	0,189	Для всех случаев составляют		
⊖	0,054	0,214	0,268	0,021	0,010	0,031
⊕	0,060	0,208	0,268			
⊗	0,054	0,228	0,282			

Т а б л и ц а 2

Количество перешедших компонентов при неустойчивой диффузии в зависимости от диффузионного канала и температуры.  $P = 2,54 \text{ МПа}$ , время опытов два часа. В скобках после химического символа указана нумерация компонентов

Т, К	Концентрации компонентов, мольные доли								
	Одиночный цилиндрический канал			Набор из семи каналов			Вычисленные согласно уравнениям Стефана-Максвелла		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система $0,468 \text{ He}(1) + 0,532 \text{ Ar}(2) - \text{N}_2(3)$									
293,0	0,088	0,147	0,235	0,032	0,024	0,056	0,021	0,004	0,025
313,0	0,081	0,138	0,219	0,036	0,029	0,065	0,023	0,004	0,027
333,0	0,075	0,129	0,204	0,039	0,035	0,074	0,024	0,005	0,029
353,0	0,069	0,121	0,190	0,046	0,038	0,084	0,028	0,005	0,033
Система $0,617 \text{ N}_2(1) + 0,383 \text{ N}_2(2) - \text{CH}_4(3)$									
293,0	0,065	0,100	0,165	0,020	0,013	0,033	0,030	0,002	0,032
313,0	0,060	0,094	0,154	0,023	0,017	0,040	0,032	0,002	0,034
333,0	0,056	0,089	0,145	0,036	0,022	0,058	0,033	0,003	0,036
353,0	0,051	0,083	0,134	0,041	0,031	0,072	0,038	0,003	0,041

Список литературы

- [1] Miller L., Mason E.A. // Phys. Fluids. 1966. V. 9. N 4. P. 711-721.
- [2] Miller L., Spurling T.H., Mason E.A. // Phys. Fluids. 1967. V. 10. P. 1809-1813.
- [3] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д. и др. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 5. С. 943-947.
- [4] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д. // ИФЖ. 1988. Т. 55. В. 1. С. 92-97.
- [5] Косов В.Н., Жаврин Ю.И. // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. 1990. В. 2. С. 66-69.
- [6] Жаврин Ю.И., Тарасов С.Б. и др. // ПТЭ. 1985. В. 5. С. 203-204.
- [7] Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. // ЖФХ. 1975. Т. 49. В. 3. С. 706-709.

Казахский государственный  
национальный университет  
им. аль-Фараби, Алма-Ата

Поступило в Редакцию  
31 марта 1993 г.