

03;12

## **Исследование различных типов смешения в тройной газовой смеси, содержащей компонент с реальными свойствами, в зависимости от давления**

© Ю.И. Жаврин, В.Н. Косов, Д.У. Кульжанов, К.К. Каратаева

Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики при КазГУ им. аль-Фараби, Алматы

Поступило в Редакцию 1 августа 2000 г.

Экспериментально исследована эволюция особенностей массопереноса в трехкомпонентных газовых смесях при переходе от молекулярной диффузии к диффузионной неустойчивости и к конвективному перемешиванию путем изменения давления. Показано, что в тройных смесях, имеющих компонент с реальными свойствами, можно наблюдать различные типы смешения и переходные режимы.

Изучение изотермической молекулярной диффузии в трехкомпонентных газовых смесях показало, что при различных термодинамических параметрах, геометрических характеристиках канала, направлениях градиента суммарной плотности может иметь место неустойчивость механического равновесия смеси [1–3]. Однако специфика проведения экспериментальных исследований в этом случае позволяла изучать смену режимов "диффузия–концентрационная конвекция" только при заданном направлении градиента плотности смеси. Это исключало возможность проследить последовательность кинетических переходов "молекулярная диффузия–диффузионная неустойчивость–гравитационная концентрационная конвекция" как функцию только одного варьируемого параметра для конкретной системы.

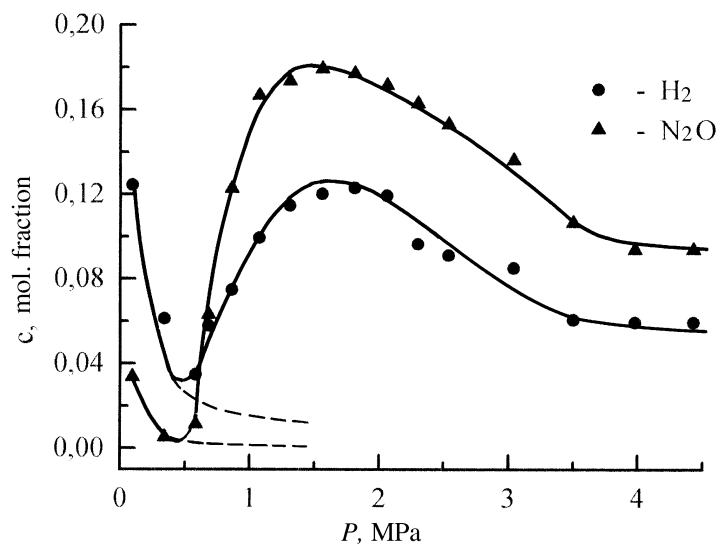
Ниже излагаются результаты экспериментального исследования по изучению эволюции характерных особенностей массопереноса при переходе от молекулярной диффузии к диффузионной неустойчивости и затем к обычному конвективному перемешиванию путем изменения давления. Такие условия могут быть осуществлены, если у одного из компонентов смеси изменение парциальной плотности с давлением про-

исходит по законам реального газа. Например, при диффузии бинарной смеси  $0.4163 \text{ H}_2 + 0.5837 \text{ N}_2\text{O}$  (концентрация компонентов в мольных долях) в азот при  $T = 298 \text{ K}$  и давлениях, близких к атмосферному, плотность смеси  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$  меньше плотности азота. С увеличением давления плотность смеси вначале сравнивается с плотностью азота ( $P \sim 1.5 \text{ MPa}$ ), а затем и превышает ее.

Исследования проводились с использованием двухколбового диффузионного аппарата с геометрическими размерами: объемы верхней и нижней колб составляли  $V_1 = V_2 = 55 \text{ cm}^3$ , диаметр и длина диффузионного канала были 4.0 и 70.0 mm соответственно. Температура во всех опытах составляла 298 K, а время 30 min. Методика проведения экспериментов была аналогичной, описанной в работах [1–3].

Суть экспериментов состояла в следующем. Бинарная смесь  $0.4163 \text{ H}_2 + 0.5837 \text{ N}_2\text{O}$  вне зависимости от плотности, которая изменялась с давлением, всегда располагалась в верхней колбе аппарата, а азот — в нижней. Исследовался процесс смешения в этой системе при различных давлениях. Экспериментальные данные для водорода и азота изображены на рисунке. Концентрацию третьего компонента — азота можно вычислить, используя условие  $\sum_{i=1}^3 c_i = 1$  (здесь  $c_i$  — мольная доля компонента  $i$ ).

Анализ полученных результатов позволил выявить характерные режимы смешения. От давления, равного атмосферному (около 0.093 MPa), до примерно 0.4 MPa наблюдается характерный для молекулярной диффузии ход изменения концентраций компонентов. Об этом свидетельствует совпадение экспериментальных данных с результатами расчетов, проведенных с использованием уравнений Стефана–Максвелла [4]. Дальнейшее увеличение давления приводит к неустойчивости механического равновесия газовой смеси при отрицательном градиенте плотности. Граничный переход “молекулярная диффузия–диффузионная неустойчивость” связан с переходом от молекулярного переноса компонентов к структурированным конвективным течениям, может быть предсказан в рамках [5]. Последующее увеличение давления приводит к возникновению развитых конвективных течений с ярко выраженным эффектом разделения тяжелого компонента по отношению к такому подвижному газу, как водород [6]. Экспериментальные значения концентраций значительно превышают вычисленные по уравнениям Стефана–Максвелла в предположении устойчивой диффузии. При да-



Количества перешедших водорода и закиси азота в азот из верхней колбы аппарата в нижнюю при различных типах смешения в зависимости от давления. Точки — экспериментальные данные. Сплошные линии — обработка результатов полиномами различной степени. Пунктирные линии — расчет в предположении диффузии.

влении примерно 1.5 МПа плотность бинарной смеси становится равной плотности чистого компонента и интенсивность смешения достигает максимума. Перенос компонентов молекулярной диффузией на порядок и более меньше переноса конвекцией.

Дальнейшее увеличение давления приводит к изменению знака градиента плотности, и в интервале от 1.5 до 3.0 МПа между собой конкурируют конвективные потоки, обусловленные как диффузионной неустойчивостью, так и традиционным конвективным смешением. При давлениях 3.0 МПа и выше перенос компонентов смеси осуществляется как единое целое. Об этом можно судить по примерно равным отношениям концентраций водорода к закиси азота на начальный момент времени и в конце опыта. Причиной отсутствия разделения компонентов смеси при конвективном смешении является то, что неидеальность компонентов банарной смеси — закиси азота приводит к созданию

такого градиента плотности, что вклад конвекции, определяющий диффузионную неустойчивость, мал по сравнению с переносом вызванным гравитационной концентрационной конвекцией.

Таким образом, из проведенных исследований следует, что в тройных газовых смесях, в которых присутствует компонент с реальными свойствами, можно наблюдать не только различные типы смешения, но и переходные режимы в зависимости от такого термодинамического параметра, как давление.

## Список литературы

- [1] *Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Белов С.М., Тарасов С.Б.* // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 5. С. 943–947.
- [2] *Жаврин Ю.И., Косов В.Н.* // Теплофизика и аэромеханика. 1995. Т. 2. № 2. С. 145–151.
- [3] *Жаврин Ю.И., Косов В.Н.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 10. С. 18–21.
- [4] *Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Косов В.Н., Красиков С.А., Бычков А.Г.* / Каз. ун-т, НИИ ЭТФ. Алматы, 1995. 26 с. Деп. в КазгосИНТИ 05.07.95 N 6239.
- [5] *Косов В.Н., Селезнев В.Д., Жаврин Ю.И.* // ИФЖ. 2000. Т. 73. № 2. С. 313–320.
- [6] *Косов В.Н., Селезнев В.Д., Жаврин Ю.И.* // ЖТФ. 1997. Т. 68. № 5. С. 14–17.