

УДК 533.15:536.25

## СМЕНА РЕЖИМОВ ДИФФУЗИЯ–КОНВЕКЦИЯ В ТРОЙНЫХ СМЕСЯХ С ГАЗОМ-РАЗБАВИТЕЛЕМ

© 2020 г. В. Н. Косов<sup>a, b, \*</sup>, О. В. Федоренко<sup>b</sup>, М. К. Асембаева<sup>b</sup>, В. Мукамеденкызы<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Республика Казахстан

<sup>b</sup>Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики  
при Казахском национальном университете им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

\*e-mail: kosov\_vlad\_nik@list.ru

Поступила в редакцию 07.12.2018 г.

После доработки 06.09.2019 г.

Принята к публикации 16.09.2019 г.

Экспериментально изучены особенности диффузии гелия и оксида азота, в равной степени разбавленных пропаном, при различных давлениях и содержании газа-разбавителя в смеси. Обнаружено, что при определенном давлении в системе возникают конвективные течения, усиливающие парциальный массоперенос, что не типично для диффузии. Возрастание давления интенсифицирует смешение компонентов смеси. Увеличение содержания газа-разбавителя в смеси приводит к стабилизации конвективных режимов. Решение уравнений диффузии показывает, что в системах с балластным газом реализуются условия для нелинейного распределения концентраций компонентов смеси по длине канала, которые могут приводить к возникновению экстремума плотности смеси (т.е. инверсии градиента плотности смеси), вызывающего возникновение конвективных течений. Численным образом исследована устойчивость механического равновесия тройной смеси в вертикальном цилиндрическом канале при действии силы тяжести и заданных градиентах концентрации компонентов. Определена граница кинетического перехода диффузия–конвекция. В координатах числа Рэлея и давления проведено сравнение опытных и численных результатов.

**Ключевые слова:** многокомпонентный массоперенос, диффузия, конвекция, газ-разбавитель, давление

**DOI:** 10.31857/S0040357120020086

### ВВЕДЕНИЕ

В газовых смесях наличие нескольких механизмов переноса тепла и массы приводит к возникновению особенностей, влияющих на различные режимы многокомпонентного массопереноса. Примерами могут служить эксперименты по изучению диффузии бинарной смеси паров растворов в инертный газ [1], изотермического смешения газов при различных давлениях и составах [2, 3], которые показали, что в системах могут возникать конвективные течения, приводящие к значительному росту парциальных потоков компонентов.

Опыты по изучению диффузии в тройных газовых смесях [3, 4] показали, что для систем, у которых коэффициенты взаимной диффузии (КВД) компонентов существенно отличаются друг от друга, возникшие конвективные течения существенным образом интенсифицируют суммарный массоперенос. Определенные значения давления и концентрации компонента с наибольшим молекулярным весом в смеси способствуют переходу системы из диффузионной об-

ласти в конвективную. Самопроизвольное возникновение конвекции в [1–4] связывалось с тем, что молекулярная диффузия за счет неравенства в КВД компонентов приводит к формированию по вертикальной оси характерных областей с различными плотностями. При определенных условиях такое расположение в поле силы тяжести может быть неустойчивым с последующим возникновением конвекции.

Появление конвекции можно предсказывать в рамках традиционных представлений тепловых задач Рэлея [5, 6]. Исследования, проведенные в [7], показали, что в бинарных смесях не реагирующих компонентов за счет неоднородности температуры и состава возможно проявление конвективной неустойчивости с последующим нарушением молекулярного переноса. Дальнейшее изучение термоконцентрационной конвекции в бинарных системах в геометрических каналах различной формы показало ее существенное влияние на ожидаемое при неизотермической диффузии смешение [8–10].

Вместе с тем необходимо отметить, что распространение подходов [8–10] на случай смеше-