

УДК 533.15

Ю. И. ЖАВРИН¹, В. Н. КОСОВ², О. В. ФЕДОРЕНКО¹,
В. МУКАМЕДЕНКЫЗЫ¹, Я. В. ИСКАКОВА¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан)

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ДИФФУЗИЯ В СИСТЕМАХ С БАЛЛАСТНЫМ ГАЗОМ

Аннотация. 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, вследствие диффузионного бароэффекта, возникающего в замкнутых диффузионных аппаратах.

Исследования диффузии в трехкомпонентных смесях с балластным газом показали, что роль гидродинамического переноса велика, 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 статье представлены результаты вычислений и дана оценка влияния природы различных газов – разбавителей в тройных системах $H_2 + X_i - N_2 + X_i$, где X_i газы – разбавители: He, Ne, Ar, Kr, Xe при равномолярных концентрациях всех компонентов в каждой системе применительно к двухколбовому диффузионному аппарату. Расчеты диффузионного процесса проводились для нормального атмосферного давления и температуры 298,0 К. При этом использовались коэффициенты взаимной диффузии (КВД) пар газов, численные значения которых брались из литературных источников.

Показано влияния природы газа – разбавителя на интенсивность диффузионного смешения двух основных компонентов.

Ключевые слова: газы, смеси, диффузия, многокомпонентная диффузия, эффективные коэффициенты диффузии

Тірек сөздер: газдар, қоспалар, диффузия, көпқұрамды диффузия, диффузияның тиімді коэффициенттері.

Keywords: gases, mixtures, diffusion, multicomponent diffusion, effective diffusion coefficients.

Особый случай, часто рассматриваемый при решении практических задач многокомпонентного массопереноса – это диффузия двух или нескольких газов через слой газа-разбавителя (балластного газа). Очень интересная задача, когда в диффузионном процессе используются различные газы-разбавители с отличающимися друг от друга свойствами, что позволяет управлять характером течения массообменных процессов, например, при химических реакциях. Если по своим диффузионным свойствам балластный газ близок к одному из основных (например, основной газ CO_2 , тогда балластными газами могут быть Ar или N_2O), то при взаимной диффузии газ-разбавитель играет роль индикатора движения всей смеси, что позволяет производить измерение гидродинамического (компенсирующего) потока. Изменяя в исходных смесях концентрацию балластного газа, можно определить концентрационную зависимость коэффициентов диффузии. Используя балластный газ как индикатор, можно оценить собственно молекулярный перенос компонентов и описать особенности многокомпонентной диффузии [1, 2].

При систематизации экспериментального материала по диффузии двух газов через третий – балластный, было обращено внимание на интересный факт. Если два основных газа разбавлять в

равной степени различными балластными газами, то величины коэффициентов диффузии основных газов будут зависеть от того, какой газ-разбавитель находится в смеси легкий или тяжелый.

Таким образом, подбор соответствующего газа – разбавителя позволял управлять характером массообменного процесса, например, при химических реакциях в газовой фазе.

Необходимо отметить, что диффузия в многокомпонентных газовых смесях при наличии в них балластных газов имеет ряд особенностей, которые не имеют места в обычной бинарной диффузии. В терминологии Тура [3] эти особенности получили названия «противодиффузии» или «обратной диффузии», «диффузионного барьера» и «осмотической диффузии». «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. Физику проявления этих на первый взгляд странных явлений легко раскрыть (см., например, [4]), 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.

В данной статье представлены результаты вычислений и дан анализ влияния природы газов – разбавителей: (He, Ne, Ar, Kr и Xe) на диффузию двух основных водорода и азота для случая равновесных концентраций основных и балластных газов. 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 [5-10]. Геометрические параметры аппарата были следующими: диаметр – d и длина – L диффузионного канала – 3,3 и 70,0 мм соответственно, а объемы верхней – $V_о$ и нижней – $V_н$ колб составляли примерно по 70 см³. Комплекс данных геометрических размеров (постоянная прибора) был равен 2500 см². Таким образом, используемые в расчетах геометрические характеристики в среднем соответствовали размерам аппаратов, используемым в экспериментах.

Результаты расчетов $D_{H_2}^{эф}$ и $D_{N_2}^{эф}$ для начального распределения концентраций компонентов приведены ниже. ЭКД балластных газов не вычислялись по следующим соображениям. По начальному распределению концентраций газа – 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 газа – разбавителя может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Расчеты эффективных коэффициентов диффузии основных компонентов (водорода и азота) в системах с различными газами-разбавителями и равновесными концентрациями газов при $P = 0,101$ МПа и $T = 298,0$ К:

1. $0,5H_2 + 0,5He - 0,5N_2 + 0,5He$; $D_{H_2}^{эф} = 1,17$, $D_{N_2}^{эф} = 0,79$ см²/с;
2. $0,5H_2 + 0,5Ne - 0,5N_2 + 0,5Ne$; $D_{H_2}^{эф} = 1,00$, $D_{N_2}^{эф} = 0,57$ см²/с;
3. $0,5H_2 + 0,5Ar - 0,5N_2 + 0,5Ar$; $D_{H_2}^{эф} = 0,85$, $D_{N_2}^{эф} = 0,45$ см²/с;
4. $0,5H_2 + 0,5Kr - 0,5N_2 + 0,5Kr$; $D_{H_2}^{эф} = 0,74$, $D_{N_2}^{эф} = 0,38$ см²/с;
5. $0,5H_2 + 0,5Xe - 0,5N_2 + 0,5Xe$; $D_{H_2}^{эф} = 0,68$, $D_{N_2}^{эф} = 0,35$ см²/с.

Как видно, из приведенных данных влияние балластных газов на диффузию основных весьма значительно (практически значение ЭКД изменяется в два раза).

Отсюда следует, что при необходимости оказать влияние на диффузию в системе с балластным газом достаточно подобрать подходящий газ – разбавитель, который позволит либо интенсифицировать, либо оставить без изменения, либо замедлить диффузионный процесс.

Таким образом, результаты данного исследования могут быть использованы при нахождении диффузионных характеристик компонентов, в определении режима смешения, а также в оценке влияния газа – разбавителя на массообмен в различных технологических процессах, происходящих в закрытых резервуарах, колоннах и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кульжанов Д.У. Экспериментальное исследование диффузии некоторых трехкомпонентных газовых смесей в различных системах отсчета: Дис... канд. физ.-мат. наук. – Алма-Ата, 1982. – 150 с.
- 2 Жаврин Ю.И., Косов В.Н., Кульжанов Д.У. и др. Исследование влияния природы и концентрации газа – разбавителя на диффузию двух основных компонентов // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2006. – № 6 (250). – С. 25-30.
- 3 Toor H.L. Diffusion in three – component gas mixture // A.I. Chem. E. Journal. – 1957. – V. 3, № 2. – P. 198-207.
- 4 Косов Н.Д., Новосад З.И. Определение количества газа, переносимого гидродинамическим потоком при взаимной диффузии // ЖТФ. – 1969. – Т. 39, № 3. – С. 582-586.
- 5 Жаврин Ю.И., Жаврин В.Ю., Косов В.Н., Поярков И.В. Расчет многокомпонентного массопереноса в двухколбовом аппарате с применением языка программирования Delphi // Вестник КазНУ. Серия физическая. – 2006. – № 2 (22). – С. 72-79.
- 6 Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
- 7 Солоницын Б.П. Исследование температурной зависимости коэффициентов взаимной диффузии газов стационарным проточным методом: Автореферат дис. ...канд. физ.-мат. наук. – Алма – Ата, 1979. – 23 с.
- 8 Селезнев В.Д., Ивакин Б.А., Лойко А.Э. и др. Диффузия в бинарной смеси разреженных и плотных газов // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во Стандартов, 1982. – Вып. 17. – С. 24-43.
- 9 Жаврин Ю.И., Косов Н.Д., Новосад З.И. Измерение взаимных коэффициентов диффузии метана в некоторые газы с применением хроматографического метода анализа // Прикладная и теоретическая физика. – Алма-Ата, 1973. – Вып. 5. – С. 149-153.
- 10 Косов В.Н., Жаврин Ю.И. Коэффициенты диффузии некоторых бинарных и трехкомпонентных газовых смесей, содержащих фреон-12 // Теплофизические свойства веществ и материалов. – М.: Изд-во Стандартов, 1989. – Вып. 28. – С. 112-122.

REFERENCES

- 1 Kul'zhanov D.U. Experimentalnoe issledovanie diffuzii nekotorykh trekhkomponentnykh gasovykh smesey v razlichnykh sistemakh otscheta: Dis... cand. fiz.-mat. Nauk. – Almaty, 1982. – 150 s.
- 2 Zhavrin Yu.I., Kossov V.N., Kul'zhanov D.U. i dr. Issledovanie vliyaniya prirody i kontcentratscii gasa-razbavitelya na diffuziyu dvukh osnovnykh komponentov // Izvestiya NAN RK, seriya fiz.-mat. – Almaty. – 2006. – № 6 (250). – S. 25-30.
- 3 Toor H.L. Diffusion in three – component gas mixture // A.I. Chem. E. Journal. – 1957. – V. 3, № 2. – P. 198-207.
- 4 Kosov N.D., Novosad Z.I. Opredelenie kolichestva gasa, perenosimogo gidrodinamicheskim potokom pri vzaimnoy diffuzii // Zhur. Tekh. Fiz. – T. 39, № 3. – S. 582-586.
- 5 Zhavrin Yu.I., Zhavrin V.Yu., Poyarkov I.V. Raschet mnogokomponentnogo massoperenosa v dvuchkolbovom apparate s primeneniem yazyka programmirivaniya Delphi // Vestnik KazNU, seriya fiz. – 2006. – № 2 (22). – S. 72-79.
- 6 Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gasov i zhidkostey. – M.: Nauka, 1972. – 720 s.
- 7 Solonitsyn B.P. Issledovanie temperaturnoy zavisimosti koeffitientov vzaimnoy diffuzii gasov statcionarnym protocnym metodom: Avtoreferat dis... cand. fiz.-mat. nauk. – Alma-Ata, 1979. – 23 s.
- 8 Seleznev V.D., Ivakin B.A., Loyko A.E. i dr. Diffuziya v binarnoy smesi razrezhenykh i plotnykh gasov // Teplofizicheskie svoystva veshchestv i materialov. – M.: Izd-vo Standartov, 1982. – Vyp. 17. – S. 24-43.
- 9 Zhavrin Yu.I., Kosov N.D., Novosad Z.I. Izmerenie vzaimnykh koeffitientov diffuzii metana v nekotorye gasy s primeneniem khromatograficheskogo metoda analiza // Prikladnaya i teoreticheskay fizika. – Alma-Ata, 1973. – Vyp. 5. – S. 149-153.
- 10 Kosov V.N., Zhavrin Yu.I. Koeffitienty diffuzii nekotorykh gasovykh smesey, sodержaschikh freon-12 // Teplofizicheskie svoystva veshchestv i materialov. – M.: Izd-vo Standartov, 1989. – Vyp. 28. – S. 112-122.

Резюме

Ю. И. Жаврин¹, В. Н. Косов², О. В. Федоренко¹, В. Мұкамеденқызы¹, Я. В. Искакова¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
²Абай атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

БАЛЛАСТЫ ГАЗ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ КӨПҚҰРАМДЫ ДИФФУЗИЯ

Газ жүйелеріндегі екі немесе одан да көп негізгі араласатын газдар үшінші балласты газбен біркелкі араластырылған болса (араласатын газ концентрациясының градиенті нөлге тен), соңғысы жабық диффузиялық аппараттың ішінде байқалатын диффузиялық бароэффект әсерінен гидродинамикалық ағынмен тасымалдануы мүмкін.

Балласты газы бар үшқұрамды қоспалардағы диффузияны зерттеу барысында гидродинамикалық тасымалдаудың маңызды рөлі көрсетілген. Сондықтан да араласушы газдың диффузияға әсерін зерттеу аса қызығушылықты тудырады. Бұл көпқұрамды диффузияның дербес жағдайы тәжірибе жүргізушілерді тәжірибенің оңайлығымен ғана емес, сонымен қатар алынған нәтижелерді Стефан-Максвелл теңдеуі негізінде алынған дәл есептеу мәліметтерімен салыстыруға мүмкіндік беретіндігімен қызықтырады.

Мақалада есептеу нәтижелері көрсетілген және үшқұрамды жүйелердегі $H_2+X_1-N_2+X_1$ әртүрлі араласушы-газ табиғатының әсеріне баға берілген, мұндағы араласушы-газдар He, Ne, Ar, Kr, Xe әр жүйедегі барлық компоненттердің тең молярлы концентрациясы екіқолбалы диффузиялық аппаратта қолданылады. Диффузиялық процестердің есептері қалыпты атмосфералық қысым және 298,0 К температурада жүргізілді. Газдардың өзара әсерлесу диффузия коэффициентінің (ӨДК) сандық мәндері әдебиеттерден алынды.

Араласушы-газ табиғатының екі негізгі компоненттің диффузиялық араласу қарқындылығына әсері көрсетілді.

Тірек сөздер: газдар, қоспалар, диффузия, көпқұрамды диффузия, диффузияның тиімді коэффициенттері.

Summary

Yu. I. Zhavrin¹, V. N. Kossov², O. V. Fedorenko¹, V. Mukamedenkyzy¹, Ya. V. Iskakova¹

⁽¹⁾Al-Farabi kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

⁽²⁾Abay kazakh national pedagogical university, Almaty, Kazakhstan)

MULTICOMPONENT DIFFUSION IN THE SYSTEMS CONTAINING A BALLAST GAS

In gas mixtures when the third one equally dilutes two or more main diffused gases, i.e. ballast gas (the concentration gradient of diluent gas is equal to zero), the latter can be transferred by the hydrodynamic flow due to the diffusion baroeffect occurring in the closed diffusion apparatuses.

Study of diffusion in ternary gas mixtures with a ballast gas has shown that the role of hydrodynamic transfer is great, therefore research of the influence of diluent gas on the diffusion of two main represents the real interest. This particular case of multicomponent diffusion attracts observers not only the simplicity of experiment statement but and the opportunity to compare the obtained data with the results of the calculations found for the reason of the exact solution of the Stephan-Maxwell equations.

In the paper calculation results are represented and the estimation of the influence of different diluted gas nature in three-component gas systems $H_2 + X_1 - N_2 + X_1$ where X_1 is the diluted gases, viz. He, Ne, Ar, Kr and Xe, at equimolar concentrations of all components in each system in respect to a two-flask apparatus is given. Calculations of the diffusion process have been carried out at normal atmospheric pressure and at temperature 298.0 K. Interdiffusion coefficients (IDC) of gases pairs which numerical values have been taken from the literature references have been used.

The influence of the solvent gas nature and its concentration on the intensity of diffusion mixing of two basic components is shown.