

## Совместный однонаправленный массоперенос уксусной кислоты и йода в экстракционной системе при возникновении самопроизвольной межфазной конвекции

*Е.А. Шевченко, С.А. Ермаков, А.Г. Титов, Л.А. Мостов, У.Ф. Кравченко*

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*

**Аннотация:** В статье рассматриваются закономерности индивидуального и совместного однонаправленного массопереноса двух компонентов с различными поверхностно-активными свойствами в экстракционной системе четыреххлористый углерод – 4%-ый раствор йодистого калия на плоской границе раздела фаз при возникновении самопроизвольной межфазной конвекции. Обнаружено взаимовлияние потоков переносимых веществ на интенсивность массопереноса друг друга в условиях самопроизвольной межфазной конвекции при однонаправленном массопереносе компонентов. При совместном однонаправленном массопереносе уксусной кислоты и йода в условиях самопроизвольной межфазной конвекции происходит увеличение коэффициента массопередачи йода по сравнению с его индивидуальным массопереносом.

**Ключевые слова:** самопроизвольная межфазная конвекция, эффект Марангони, совместный массоперенос, экстракция, коэффициент массопередачи, уксусная кислота, йод, тетрахлоруглерод, интенсивность массопередачи.

### Введение

Межфазная конвекция возникает из-за местных изменений в поверхностном натяжении и может проявлять себя по-разному. Ячеистая конвекция (циркуляционные ячейки), волны на поверхности раздела фаз, местные всплески — наиболее часто используемые термины для описания различных типов возмущений. Их можно разделить на две категории: неупорядоченная межфазная конвекция (неустойчивые нарушения) и межфазная конвекция упорядоченного типа (упорядоченная неустойчивость потоков или эффект Марангони). Так называемые эрупции представляют собой возмущения первой категории, а ячеистая конвекция (называемая также конвективной неустойчивостью или стационарной неустойчивостью, неустойчивостью с циркуляционными ячейками) является характерным примером возмущений второй категории.

---

При возникновении межфазной конвекции любого типа скорость массопередачи увеличивается в разы, поэтому создание условий для возникновения самопроизвольной межфазной конвекции может быть использовано для интенсификации массообменных процессов.

В настоящее время существует достаточно большое количество экспериментальных и теоретических работ по исследованию массопереноса в условиях самопроизвольной межфазной конвекции [1-10]. Однако большинство этих работ посвящено исследованию массопереноса одного компонента. Очень часто на практике в процессах экстракции участвуют одновременно два или несколько компонентов, поэтому целью настоящего исследования является получение информации о процессе совместного однонаправленного массопереноса двух компонентов в условиях возникающей на поверхности раздела фаз неустойчивости Марангони.

### Эксперимент

Нами проведено исследование однонаправленного совместного массопереноса двух компонентов и индивидуального массопереноса этих компонентов на примере экстракционной системы: тетрахлоруглерод – 4%-ный водный раствор йодистого калия. В качестве переносимых компонентов использовали йод и уксусную кислоту, массоперенос осуществлялся из органической фазы в водную.

Эксперимент проводили в термостатированной ( $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ ) цилиндрической ячейке при перемешивании фаз двухлопастной двухъярусной мешалкой (скорость перемешивания составляла 60 об/мин). Поверхность раздела фаз составляла  $0,12 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ , объем каждой фазы  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ . Изменение концентраций переносимых веществ во времени контролировали путем отбора проб и их анализа фотометрией (спектрофотометр Shimadzu UV 1800). Диапазон начальных концентраций  $\text{CH}_3\text{COOH}$  в тетрахлоруглероде 0,3; 0,6; 1; 2 моль/л, начальная концентрация

---

$J_2$  в  $CCl_4$  0,3 моль/л. Полученные экспериментальные данные были обработаны при помощи программы Microsoft Excel и для анализа были представлены в виде графических зависимостей в координатах коэффициент массопередачи ( $K_m$ ) – движущая сила ( $\Delta C$ ).

### Результаты

На рис. 1, 3, 5, 7 показаны зависимости  $K_m = f(\Delta C)$  для индивидуального массопереноса уксусной кислоты и для совместного одностороннего с йодом массопереноса уксусной кислоты. В случае одностороннего с йодом массопереноса происходит незначительное увеличение коэффициента массопередачи кислоты по сравнению с индивидуальным переносом.

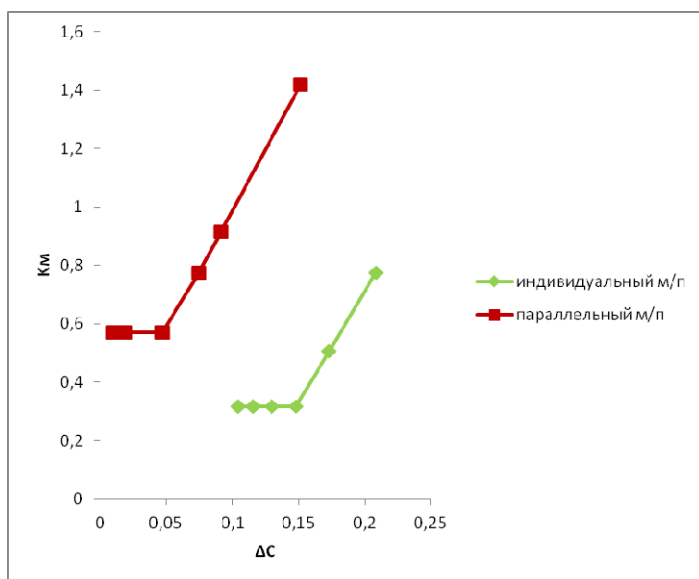


Рис. 1. – Индивидуальный и параллельный с йодом массоперенос уксусной кислоты при начальной концентрации кислоты 0,3 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

В опытах по индивидуальному массопереносу йода (рис. 2, 4, 6, 8) было обнаружено, что массоперенос йода протекает в диффузионном режиме, т.е. эффект Марангони не возникает. Однако, при наличии в системе уксусной кислоты, массоперенос йода происходит с возникновением режима межфазной конвекции.

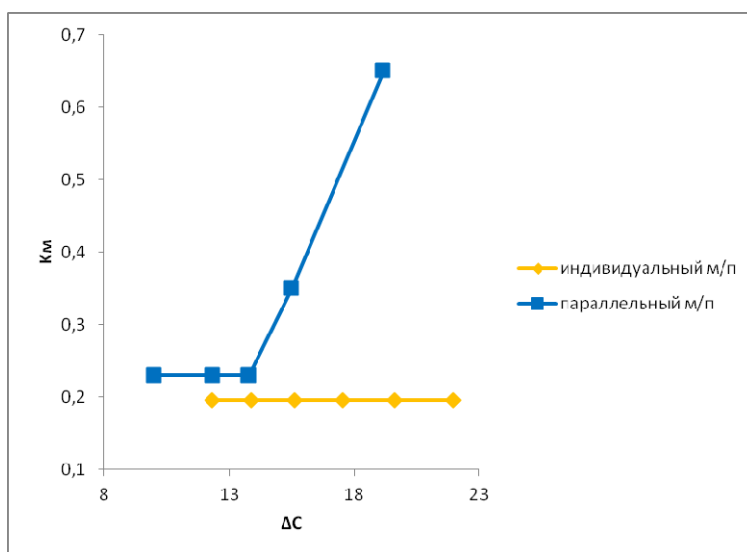


Рис. 2. – Индивидуальный и параллельный с кислотой массоперенос йода при начальной концентрации кислоты 0,3 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

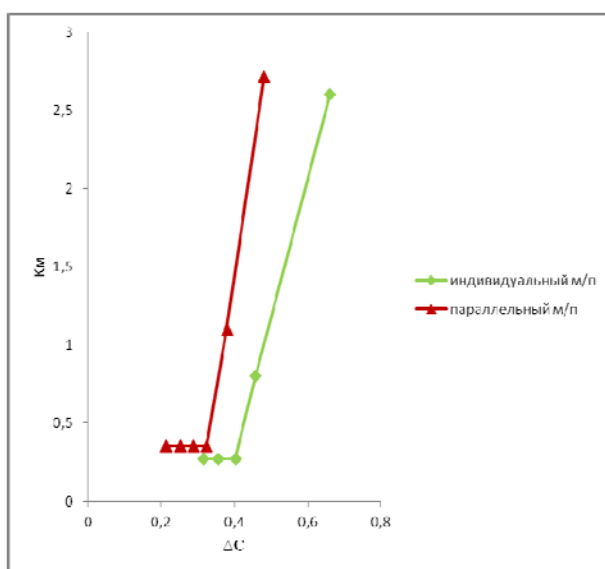


Рис. 3. – Индивидуальный и параллельный с йодом массоперенос уксусной кислоты при начальной концентрации кислоты 0,6 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

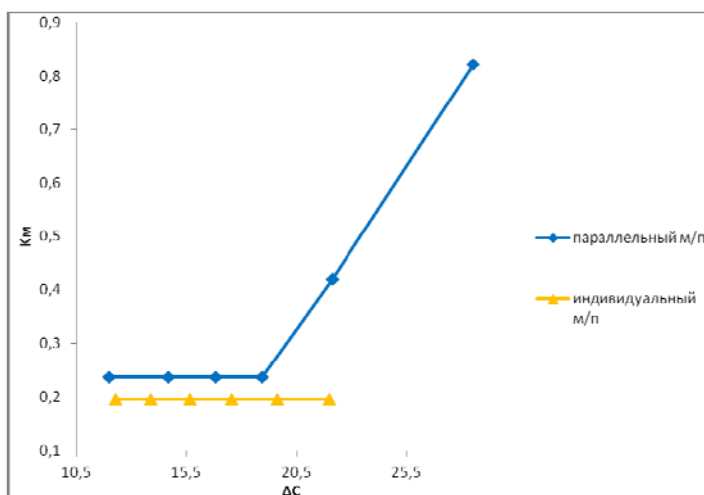


Рис. 4. – Индивидуальный и параллельный с кислотой массоперенос йода при начальной концентрации кислоты 0,6 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

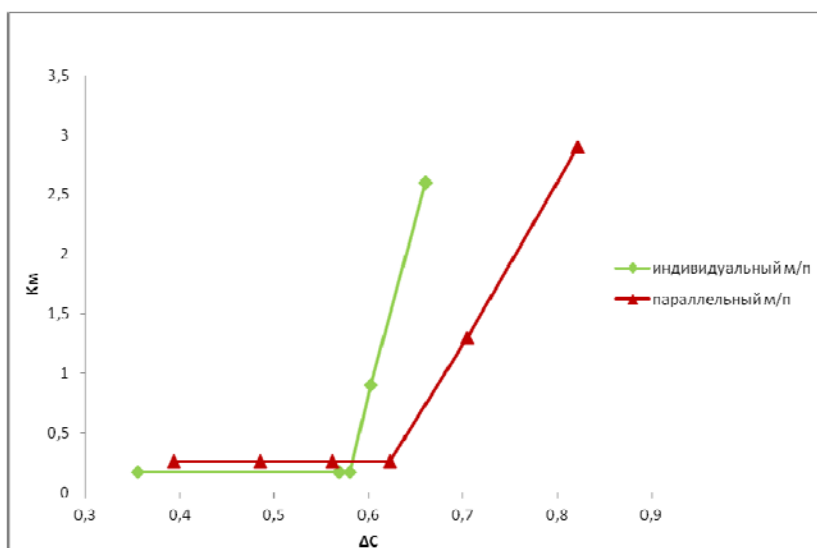


Рис. 5. – Индивидуальный и параллельный с йодом массоперенос уксусной кислоты при начальной концентрации кислоты 1 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

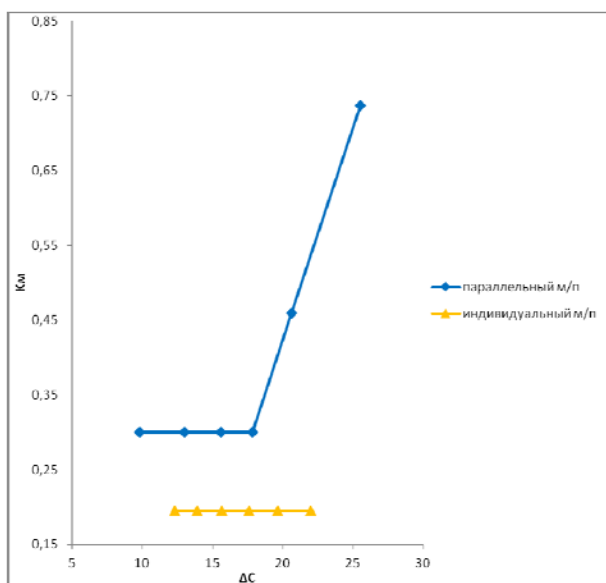


Рис. 6. – Индивидуальный и параллельный с кислотой массоперенос йода при начальной концентрации кислоты 1 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

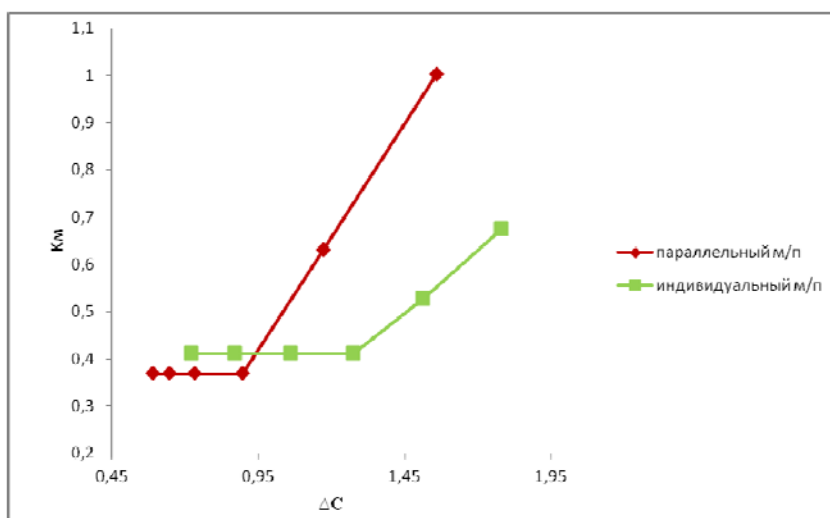


Рис. 7. – Индивидуальный и параллельный с йодом массоперенос уксусной кислоты при начальной концентрации кислоты 2 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

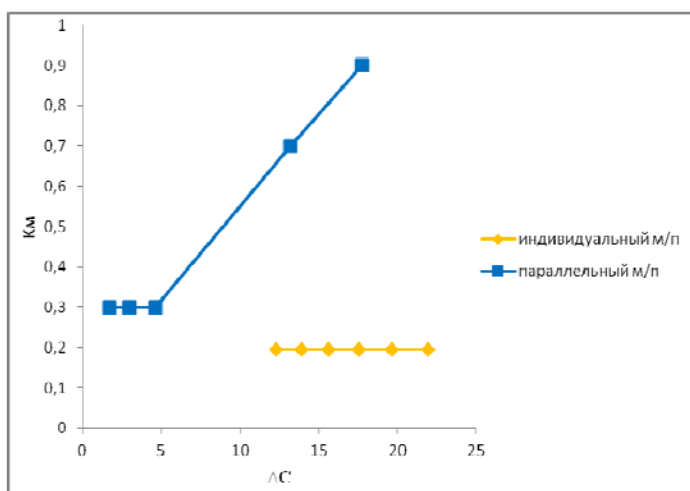


Рис. 8. – Индивидуальный и параллельный с кислотой массоперенос йода при начальной концентрации кислоты 2 моль/л и начальной концентрации йода 0,3 моль/л.

#### Выводы:

1. Отмечено взаимовлияние потоков переносимых веществ на интенсивность массопереноса друг друга в условиях самопроизвольной межфазной конвекции при однонаправленном массопереносе компонентов.

2. При совместном однонаправленном массопереносе уксусной кислоты и йода коэффициент массопередачи  $K_m$  уксусной кислоты незначительно увеличивается по сравнению с индивидуальным переносом кислоты.

3. При совместном однонаправленном массопереносе уксусной кислоты и йода коэффициент массопередачи  $K_m$  йода значительно увеличивается по сравнению с индивидуальным переносом. Массоперенос йода при одностороннем переносе с уксусной кислотой протекает с возникновением самопроизвольной межфазной конвекции, при индивидуальном переносе йода эффект Марангони не возникает.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 16-38-00378, проекта № АААА-А16-116021010128-3.

## Литература

1. Мостов Л.А., Ермаков С.А., Ермаков А.А., Артамонова Н.А. Кинетика массопереноса йода в условиях самопроизвольной межфазной конвекции через плоскую границу раздела фаз // Журнал прикладной химии. 2011. Т. 84. №12. С.1968-1971.

2. Ермаков А. А., Головина И. Г., Валитов Р. Б. Встречный массоперенос ПАВ в режиме самопроизвольной поверхностной конвекции // Журнал прикладной химии. 1986. Т.59. № 2. С. 450-453.

3. Мостов Л.А., Ермаков С.А., Ермаков А.А. Идентификация режимов массопереноса вещества в условиях самопроизвольной межфазной конвекции в системе жидкость-жидкость // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2012. Т. 55. С. 111-114.

4. Ермаков А.А., Назаров В.И., Крылов В.С. Исследование эффектов диффузионного и гидродинамического взаимодействия при многокомпонентной массопередаче в системах жидкость/жидкость // Журнал прикладной химии. 1986.Т. 56. № 10. С. 2337-2343.

5. Островский М.В., Абрамзон А.А., Барсуков И.И. Влияние самопроизвольной поверхностной конвекции на коэффициент массопереноса // Известия ВУЗов СССР. Химия и химическая технология. 1973. Т. 41. №6. С. 955-960.

6. Huidong Zheng, Weifeng Ren, Kunxiong Chen, Yao Gu, Zhengshuai Bai, Suying Zhao. Influence of Marangoni convection on mass transfer in the n-propyl acetate/acetic acid/water system // Chemical engineering science. 2014. №111. pp. 278-285.

7. Xue-Yi You, Le-Dao Zhang, Jing-Ru Zheng. Marangoni instability of immiscible liquid-liquid stratified flow with a planar interface in the presence of interfacial mass transfer // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2014. V. 45. №3. pp. 772-779.

---





8. Тарасов В.В., Ларин Г.Г. Массопередача при периодических возмущениям межфазной границы системы жидкость/жидкость // Теоретические основы химической технологии .2000. Т. 34. № 2. С. 188-194.

9. Пикков Л.М., Рабинович Л.М. О расчете скорости массопереноса в жидкости при наличии эффекта Марангони // Теоретические основы химической технологии. 1989. Т.23. №2. С. 166-170.

10. Тарасов В.В., Чжан Дунсян, Хуан Хуннчин. Управление скоростью экстракции с помощью вынужденных течений Марангони // Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. № 7. С. 1132-1137.

11. Дресвянникова Е.В. Лекомцев П.Л., Савушкин А.В. Возможности регулирования процессов тепловлажностной обработки в массообменных аппаратах при воздействии электрического поля // Инженерный вестник Дона, 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2235/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2235/).

12. Ворохобин И.С., Вязенова И.А., Таранушич В.А. Физико-химический анализ системы  $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-KNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 25 градусах С // Инженерный вестник Дона, 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2281/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2281/).

### References

1. Mostov L.A., Ermakov S.A, Ermakov A.A., Artamonova N.A. Zhurnal prikladnoj himii. 2011. Т. 84. №12. pp.1968-1971.

2. Ermakov A. A., Golovina I. G., Valitov R. B. Zhurnal prikladnoj himii. 1986. Т.59. № 2. pp. 450-453.

3. Mostov L.A., Ermakov S.A., Ermakov A.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Himija i himicheskaja tehnologija. 2012. Т. 55. pp. 111-114.

4. Ermakov A.A., Nazarov V.I., Krylov B.C. Zhurnal prikladnoj himii. 1986.Т. 56. № 10. pp. 2337-2343.

5. Ostrovskij M.V., Abramzon A.A., Barsukov I.I. Izvestija VUZov SSSR. Himija i himicheskaja tehnologija. 1973. Т. 41. №6. pp. 955-960.

---



6. Huidong Zheng, Weifeng Ren, Kunxiong Chen, Yao Gu, Zhengshuai Bai, Suying Zhao. Chemical engineering science. 2014. №111. pp. 278-285.
7. Xue-Yi You, Le-Dao Zhang, Jing-Ru Zheng. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2014. V. 45. №3. pp. 772–779.
8. Tarasov V.V., Larin G.G. Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii .2000. T. 34. № 2. pp. 188-194.
9. Pikkov L.M., Rabinovich L.M. Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii. 1989. T.23. №2. pp. 166-170.
10. Tarasov V.V., Chzhan Dunsjan, Huan Hunnchin. Zhurnal prikladnoj himii. 2003. T. 76. № 7. pp. 1132-1137.
11. Dresvjannikova E.V., Lekomcev P.L., Savushkin A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2235/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2235/).
12. Vorohobin I.S., Vjazenova I.A., Taranushich V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2281/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2281/).