

УДК 544.344

DOI: 10.17072/2223-1838-2019-4-320-330

О.С. Кудряшова¹, А.М. Елохов^{1,2}¹Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия**ИЗУЧЕНИЕ ТРОЙНЫХ РАССЛАИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ МЕТОДОМ СЕЧЕНИЙ**

Представлены результаты изучения фазовых равновесий в тройных системах с расслаиванием с помощью метода сечений. Показаны возможности и преимущества данного метода при определении положения бинодальной кривой, нод и критической точки области расслаивания. Приведены фазовые диаграммы систем с расслаиванием и монотектикой, с замкнутой областью расслаивания, а также псевдотройной системы, одним из компонентов которой является техническое ПАВ.

Ключевые слова: метод сечений; тройные системы; расслаивание; фазовая диаграмма**O.S. Kudryashova¹, A.M. Elokhov^{1,2}**¹Institute of Natural Science, Perm State University, Perm, Russia³Perm State University, Perm, Russia**STUDY OF THE TRIPLE STRATIFYING SYSTEMS BY THE SECTION METHOD**

The results of the study of phase equilibria in triple systems with delamination using the section method are presented. The possibilities and advantages of the method in determining the position of the binodal curve, nodes and the critical point of the delamination area are shown. The phase diagrams for the systems with delamination and monotectic, with a closed-loop delamination region, as well as pseudotriple system, one component of which is technical-grade surfactant, are presented.

Keywords: section method; triple systems; delamination; phase diagram

Метод сечений, обоснование и развитие которого принадлежит профессорам Р.В. Мерцлину и Н.И. Никурашиной, позволяет при минимальном и наиболее легко выполнимом эксперименте построить как бинодальную кривую, так и полную совокупность нод в тройной расслаивающейся системе [1]. Этот метод активно используется учеными Саратовского и Пермского университетов [2–7]. Различные способы нахождения нод области расслаивания жидких систем отличаются друг от друга применяющимися приемами, но основа их одна и та же – первичное нахождение либо состава равновесных фаз, либо одной из них, если известен состав смеси, из которой после установления равновесия эта фаза выделена. Построение по этим данным нод является действием вторичным и производится максимально по трем точкам. Эти методы имеют общие недостатки:

- случайное нахождение отдельных нод, что не позволяет выяснить особенности области расслаивания, и может привести к ошибкам;
- необходимость построения нод по двум точкам в тех методах, где такое построение используется для отыскания состава одной из равновесных фаз. Это может привести, особенно при длинной экстраполяции, к ошибке в составе второй равновесной фазы. Когда составы равновесных фаз определяются независимо друг от друга, построение ноды лишается своего значения для целей первичного определения состава равновесных фаз и может быть использовано только для построения диаграмм состояния;
- многие методы нуждаются в первичном построении бинодальной кривой,

например с помощью метода титрования, который не может гарантировать точность получаемых результатов. Вторичное определение равновесных фаз будет сопровождаться ошибкой, вызванной неточным определением положения бинодальной кривой на диаграмме состояния.

Всех этих недостатков можно избежать, если первично определять не составы равновесных фаз, а ноды. Чтобы построить ноду, надо экспериментально найти на области расслаивания ряд гетерогенных смесей, которые располагаются на одной и той же ноде. Это будут двухфазные смеси, фазы которых имеют одинаковое значение физического свойства. Найти состав таких смесей методом подбора практически невозможно. Необходимо предварительно построить функциональную кривую, связывающую концентрацию одного из компонентов исходных смесей, расположенных на сечениях, со свойством равновесных фаз. Полный состав смеси по концентрации одного компонента найти нельзя. Необходимо дополнительно определить либо концентрацию второго компонента, либо массовое соотношение концентраций двух других компонентов. Последнее достигается выбором сечения треугольника состава с заданным массовым соотношением компонентов. Выбирать сечения надо с таким расчетом, чтобы они пересекали по возможности большее число нод и равномерно бинодальную кривую.

В качестве измеряемого свойства фаз может быть выбрано любое физическое или химическое свойство, которое должно легко и точно измеряться и не требовать больших количеств исследуемых фаз. Таким требованиям удовлетворяет показатель преломления жидкой фазы,

измеряемый на рефрактометре с точностью до $2 \cdot 10^{-4}$ и требующий минимальное количество исследуемой фазы.

В статье приведены примеры изученных тройных расслаивающихся систем различных типов изотермическим методом сечений.

Система неопентилгликоль (НПГ) – формиат натрия – вода [8–10]

С целью разработки физико-химических основ процесса кристаллизации НПГ из водно-органических смесей изучена растворимость в системе НПГ – формиат натрия – вода при 0, 20, 30 и 50°C.

Исследовано двадцать одно сечение треугольника состава. Одиннадцать сечений исходили из вершины, отвечающей формиату натрия, на сторону НПГ – вода в точки с содержанием НПГ 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0; 74,5; 80,0; 83,0 и 85,0 масс.%. Три сечения исходили из вершины, отвечающей НПГ, на сторону формиат натрия – вода в точки с

содержанием формиата натрия 2; 5 и 10 масс.%. Семь сечений исходили из водной вершины на сторону НПГ – формиат натрия с соотношением компонентов 15 : 85, 30 : 70, 50 : 50, 80 : 20, 90 : 10, 95 : 5 и 98 : 2 соответственно.

Вид функциональных кривых показателя преломления жидкой фазы зависит от того, какие фазовые области пересекает сечение. Для сечений, проходящих через область расслаивания, характер функциональной зависимости показателя преломления показан на рис. 1а. Для сечений, совпадающих с направлением нод в полях кристаллизации формиата натрия и НПГ, функциональная зависимость показателя преломления имеет вид, представленный на рис. 1б. Для сечений, рассекающих ноды в полях кристаллизации твердых фаз (образование в системе гидратов), вид функциональной зависимости показателя преломления изображен на рис. 1в, г.

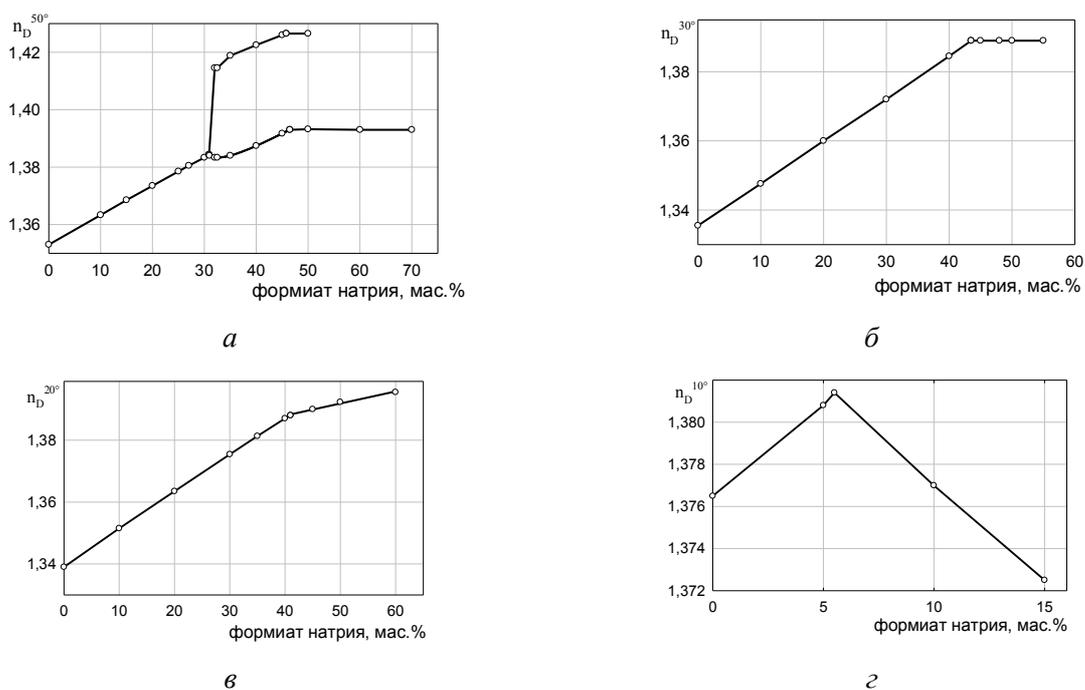


Рис. 1. Функциональная зависимость показателя преломления жидкой фазы от состава смесей-навесок в разных сечениях

Подробно рассмотрим фазовые равновесия в системе при 50°C. При этой температуре в системе происходит образование двух трехфазных моновариантных состояний: эвтонического E (формиат натрия + неопентилгликоль + E) и монотектического (формиат натрия + I_1 + I_2) (рис. 2).

Рассмотрим построение нод в области расслаивания системы при 50°C. Сечения 1–4 пересекают ветвь бинодальной кривой I_2K , сечения 5 и 6 – ветвь KI_1 (K – критическая точка). Навески сечений 1–4 в момент перехода через бинодальную кривую состоят целиком из фазы L_2 . Навески сечений 5 и 6 в момент их гомогенизации состоят из фазы L_1 . Функциональные кривые показателя преломления равновесных фаз состоят из пяти ветвей: по две для фаз L_1 и L_2 (область расслаивания и монотектика), одна для гомогенных смесей (рис. 3).

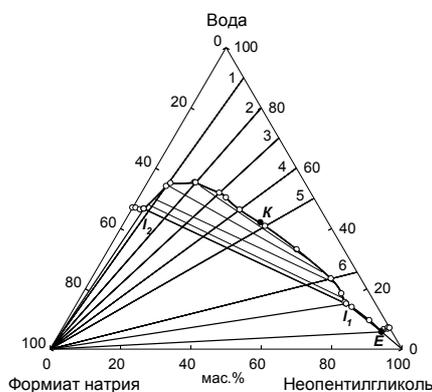


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы НПП – формиат натрия – вода при 50°C

Концентрация формиата натрия в смесях, располагающихся на бинодальной кривой, в точке ее пересечения с каждым из сечений определена путем экстраполяции ветвей показателя преломления жидких фаз навесок гомогенной области и области расслаивания. Пересечение ветвей показателя преломления фаз области расслаивания с горизонтальными пря-

мыми, отвечающими показателю преломления равновесных фаз в монотектической области, позволило определить концентрацию формиата натрия в смесях, лежащих на предельной ноде I_1I_2 . Из приведенного характера функциональных кривых вытекает возможность проверки правильности определения состава смесей на бинодальной кривой: показатели преломления равновесных фаз любой смеси, расположенные на функциональных кривых, должны иметь по абсциссам одинаковые значения.

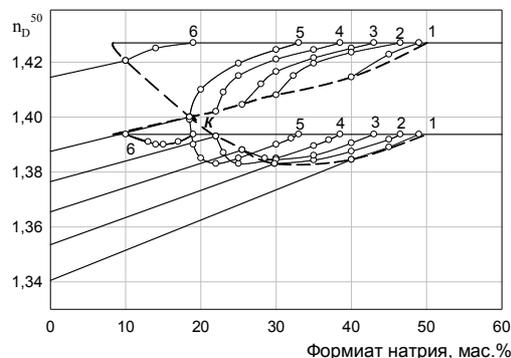


Рис. 3. Функциональные кривые сечений системы НПП – формиат натрия – вода при 50°C.

Массовое соотношение НПП : вода в сечениях составляет: 1 – 10:90; 2 – 20:80; 3 – 30:70; 4 – 40:60; 5 – 50:50; 6 – 74,5:25,5

Поскольку для каждого сечения строятся две функциональные кривые, по показателям преломления фаз L_1 и L_2 , то на диаграмме получаем два пучка линий, отвечающих показателю преломления фаз расслаивающихся смесей. В силу описанных выше особенностей процесса гомогенизации смесей функциональные кривые показателя преломления фазы L_1 (верхняя часть графика, рис. 3) для сечений 1–4 заканчиваются несколько раньше, так как небольшое количество фазы L_1 в смесях вблизи бинодальной кривой не дает возможности измерить ее показатель преломления. Анало-

гичная картина наблюдается для функциональных кривых показателя преломления фазы L_2 (нижняя часть графика, рис. 3) для сечений 5,6. Для того чтобы достроить недостающие части функциональных кривых нужно найти эти показатели преломления для фаз L_1 и L_2 . Экспериментально это сделать нельзя, а экстраполяция может привести к значительной ошибке. Нужные значения определяются достаточно точно, если построить кривую соответствия, то есть функциональную кривую, связывающую между собой показатели преломления равновесных фаз. Строится такая кривая в прямоугольной системе координат, откладывая по оси ординат показатель преломления одной, а по оси абсцисс – другой равновесной фазы, так что каждой ноде области расслаивания будет отвечать единственная точка кривой (рис. 4).

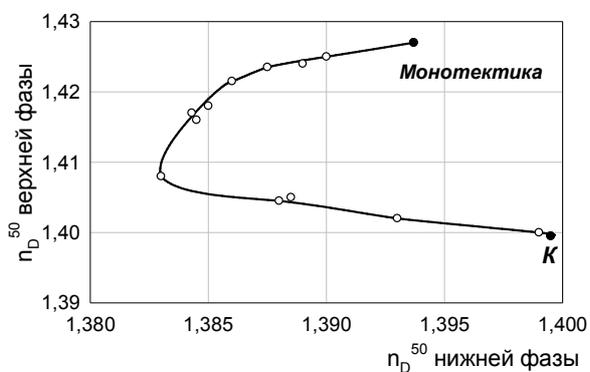


Рис. 4. Кривая соответствия тройной системы НПГ – формиат натрия – вода при 50°C

В данном случае кривая соответствия начинается в точке, отвечающей показателям преломления. Из принципа построения кривой соответствия следует, что если в системе установилось равновесие, то тогда независимо от выбора сечений будет строиться единая кривая соответствия. Если же для разных сечений не получается единой кривой, то это указывает на

то, что в системе либо не установилось равновесие, либо полученное состояние образовалось в результате необратимой химической реакции. Из приведенной кривой соответствия получены значения показателей преломления тех равновесных фаз, которые расположены на недостроенных ветвях контуров области расслаивания. Найдя на кривой соответствия положение точек, для которых известны показатели преломления из построенных функциональных кривых соответствующих сечений, можно найти показатели преломления равновесных им фаз. Так как в каждом сечении точки, лежащие на бинодальной кривой, должны находиться на одних и тех же абсциссах, то не представляет никаких затруднений построить недостающие ветви функциональных кривых.

Соединяя точки, лежащие на бинодальной кривой для фаз L_1 и L_2 , получаем два контура, соприкасающиеся между собой в критической точке K , расположенной в их экстремумах – максимуме нижнего и минимуме верхнего контура (рис. 3). Размер верхнего контура может быть не равен размеру нижнего контура, так как скорости изменения физического свойства по обеим ветвям бинодальной кривой различны.

Диаграмма на рис. 3 используется для построения нод области расслаивания. Так как фазы L_2 смесей, расположенных на одних и тех же нодах, характеризуются одинаковыми показателями преломления, то каждая горизонтальная линия на нижнем контуре будет отвечать той или иной ноде. С другой стороны, каждая нода строится и на поле верхнего контура, но по показателю преломления фазы L_1 смесей-навесок. Проводя изолинию показателя преломления, находим концентрацию формиата

та натрия в смесях, находящихся на сечениях 1–6. Для построения ноды в треугольнике состава эти точки переносятся на соответствующие сечения. Проведя через них прямую линию и экстраполируя ее до пересечения с бинадальной кривой, получим ноду. Так, достаточно короткими экстраполяциями могут быть найдены составы равновесных фаз каждой ноды.

Одним из преимуществ метода сечений является возможность корреляции между изотермой растворимости и изотермой физического свойства (рис. 5). Изотерма показателя преломления позволила уточнить координаты эвтоник и предельной ноды области расслаивания.

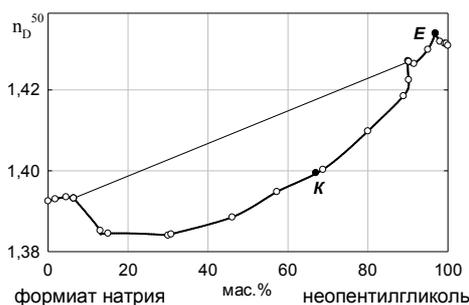


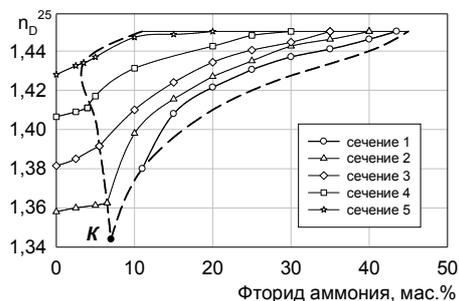
Рис. 5. Изотерма показателя преломления системы НПГ – формиат натрия – вода при 50°C

Система оксифос Б – фторид аммония – вода [11]

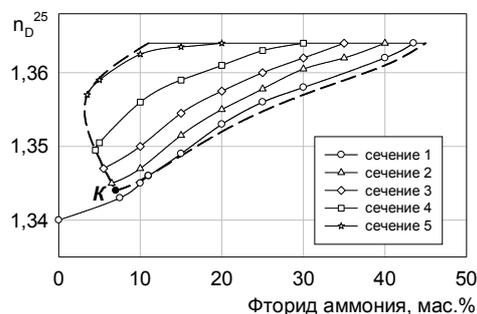
С целью оптимизации концентрационных параметров процесса экстракции изучена растворимость в системе оксифос Б – фторид аммония – вода при 25°C. Фактически эта система является условно трехкомпонентной, поскольку оксифос Б представляет собой смесь гомологов и имеет в составе технологические примеси. Топология фазовых диаграмм систем оксифос Б – фторид аммония – вода и НПГ –

формиат натрия – вода аналогична, поэтому ход исследования и рассуждения, описанные выше, справедливы в обоих случаях.

Для построения фазовой диаграммы системы оксифос Б – фторид аммония – вода при 25°C исследованы шесть сечений, пять из которых проведены на сторону вода – оксифос Б в точки с содержанием оксифоса Б (масс. %): 5, 20, 40, 60 и 80, шестое сечение – из вершины оксифоса Б на сторону вода – фторид аммония с соотношением компонентов 70 : 30 масс.%. На рис. 6 представлены функциональные кривые сечений 1–5, построенные по показателям преломления органических (а) и водных (б) фаз, а также контур бинадальной кривой. Все они состоят из трех ветвей, соответствующих областям: гомогенной, расслаивания и моно-тектической.



а



б

Рис. 6. Функциональные кривые сечений системы оксифос Б – фторид аммония – вода при 25°C.

Соотношение оксифос Б : вода в сечениях (мас.%): 1 – 5 : 95; 2 – 20 : 80; 3 – 40 : 60; 4 – 60 : 40; 5 – 80 : 20

Монотонная кривая соответствия системы (рис. 7) свидетельствует об установлении обратимого равновесия и отсутствии образования химических соединений. Начинается она в критической точке, в которой показатель преломления водной и органической фазы равен (1,3440), и заканчивается в точке, отвечающей показателям преломления жидких фаз в области монотектического равновесия (1,3640 и 1,4500).

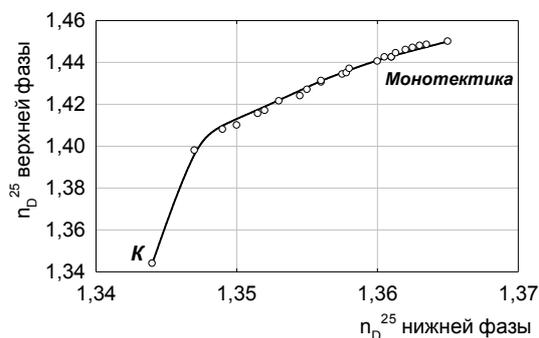


Рис. 7. Кривая соответствия системы оксифос Б – фторид аммония – вода при 25°C

Как видно из рис. 9, значительную часть фазовой диаграммы занимают области расслаивания и монотектического равновесия. Ноды области расслаивания, построенные с помощью функциональных кривых сечений 1–5 (рис. 8), расходятся в направлении двойной системы вода – фторид аммония. В фазах, обогащенных ПАВ, достаточно высока концентрация воды и соли, что позволяет осуществлять экстракцию гидрофильных соединений.

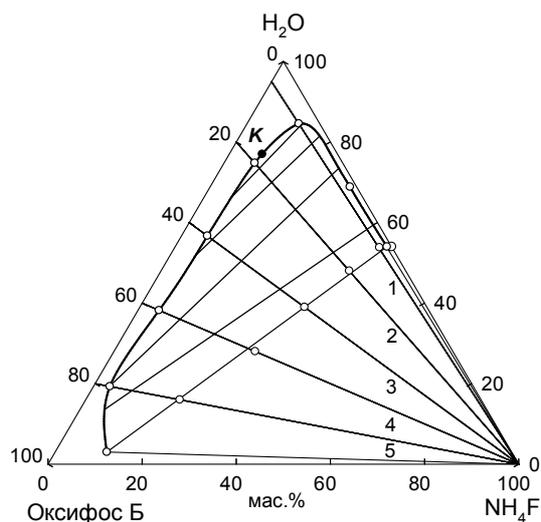


Рис. 8. Фазовая диаграмма системы оксифос Б – фторид аммония – вода при 25°C

Система антипирин – пирокатехин – вода [12]

С целью оптимизации температурно-концентрационных параметров процесса экстракции изучена растворимость в трехкомпонентной системе антипирин – пирокатехин – вода изотермическим методом сечений при 50 и 25°C. Двойные оконтуривающие системы вода – антипирин и вода – пирокатехин относятся к системам эвтонического типа. В системе антипирин – пирокатехин наблюдается химическое взаимодействие компонентов. Она является преобладающей, поскольку расслаивание в ней вызвано ограниченной растворимостью сольватов – продуктов химического взаимодействия компонентов.

При 50°C растворимость пирокатехина равна 73,0 масс.%, антипирин – 79,2 масс.%. Особенностью фазовой диаграммы системы при 50°C является наличие области расслаивания с замкнутой бинодальной кривой, которая окружена областью ненасыщенных растворов, и двух критических точек (рис. 10).

Рассмотрим построение нод в области рас-

слаивания ограниченной замкнутой бинадальной кривой с помощью сечений, проведенных из вершины пирокатехина на сторону антипирин – вода в точки с содержанием антипирина (мас.%) 10; 20; 33,5; 50.

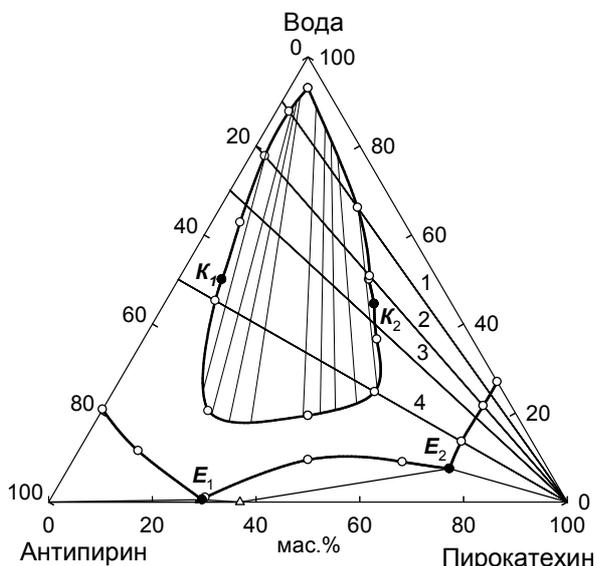


Рис. 10. Фазовая диаграмма системы антипирин–пирокатехин – вода при 50°C

Концентрация пирокатехина в смесях, располагающихся на бинадальной кривой, в точках ее пересечения с каждым из сечений, определяется путем экстраполяции ветвей показателя преломления фаз навесок гомогенной области и области расслаивания. Поскольку для каждого сечения строятся две функциональные кривые, по свойствам фаз L_1 и L_2 , то на диаграмме, как и в предыдущей системе, получим два пучка линий, отвечающих показателю преломления фаз расслаивающихся смесей (рис. 11). В силу особенностей процессов гомогенизации и гетерогенизации смесей функциональные кривые показателя преломления фазы L_1 для сечений 1–3 (левая верхняя часть графика) и фазы L_2 сечений 3, 4 (правая нижняя часть графика) заканчиваются несколько раньше, так как небольшое количество

соответствующей фазы в смесях вблизи бинадальной кривой не дает возможность замерить ее показатель преломления. Аналогичная картина наблюдается для функциональных кривых показателя преломления сечения 4 (фаза L_2 , левая нижняя часть графика) и сечений 1, 2 (фаза L_1 , правая верхняя часть графика). Для того чтобы достроить недостающие части функциональных кривых, нужно найти эти показатели преломления фаз L_1 и L_2 с помощью кривой соответствия (рис. 12).

В данном случае кривая соответствия начинается и заканчивается в критических точках K_1 и K_2 . Для ее построения использованы показатели преломления равновесных фаз смесей в изученных сечениях. Из приведенной кривой соответствия получены значения показателей преломления тех равновесных фаз, которые расположены на недостроенных ветвях контуров области расслаивания. Характерный вид кривой соответствия с точкой возврата подтверждает принадлежность изученной системы к системам с химическим взаимодействием компонентов. Антипирин и пирокатехин при 50°C образуют соединение с молекулярным соотношением 1:1 и температурой плавления 58,8°C. [6].

Соединяя точки, лежащие на бинадальной кривой для фаз L_1 и L_2 , получаем четыре контура, соприкасающиеся между собой в двух критических точках K_1 и K_2 , расположенных в их экстремумах – максимумах нижних и минимумах верхних контуров (рис. 11). Диаграмма на рис. 11 использована для построения нод области расслаивания, которое аналогично описанному выше.

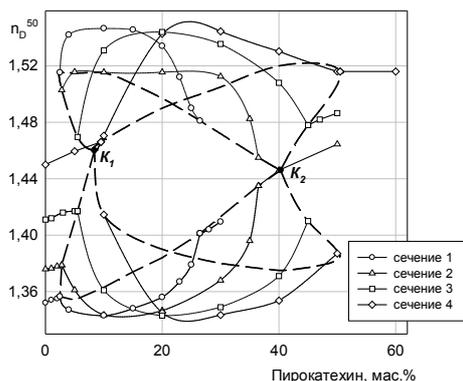


Рис. 11. Функциональные кривые сечений системы

антипирин – пирокатехин – вода при 50°C.

Соотношение антипирин : вода в сечениях

(масс.%): 1 – 10 : 90; 2 – 20 : 80; 3 – 33,5 : 66,5;

4 – 50 : 50

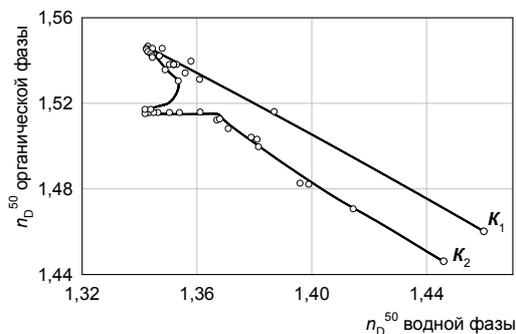


Рис. 12. Кривая соответствия системы антипирин – пирокатехин – вода при 50°C

Выводы

Приведенные в статье примеры наглядно показали преимущества метода сечений при исследовании систем с расслаиванием. Использование этого метода позволяет не только определить совместную растворимость компонентов, независимо от их природы, и построить фазовую диаграмму системы при изученной температуре, но и определить состав равновесных фаз в области расслаивания без использования аналитических методов анализа. Фазовые диаграммы расслаивающихся систем позволяют теоретически рассчитать и оптимизировать параметры процессов разделения,

обосновать путь разделения компонентов раствора в зависимости от свойств жидкофазной системы и схему расположения аппаратуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (задание 5.6881.2017/8.9).

Список литературы

1. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. – Саратов: Саратовск. ун-т, 1969. 122 с.
2. Смотров М.П., Жаркова И.С., Черкасов Д.Г. Диаграмма растворимости тройной системы нитрат калия-вода-н-буксидэтанол при 25°C // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2012. Т.12, № 2. С. 26–31.
3. Ilin K.K., Cherkasov D.G. Liquid-liquid equilibrium of the ternary system water + propan-1-ol ^ dodecane at 298.15 K // ELDATA. 1999. Vol. 5, № 2. P. 107–116.
4. Ильин К.К., Демахин А.Г. Взаимодействие в системе перхлорат лития – пропиленкарбонат – ацетонитрил при 25°C // Журнал общей химии. 1999. Т. 69, № 5. С.733–736.
5. Леснов А.Е., Головкина А.В., Кудряшова О.С., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – полиэтиленгликолевые эфиры моноэтаноламидов синтетических жирных кислот – хлорид аммония // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 8. С. 1200–1204.
6. Исаева Ю.И., Елохов А.М., Денисова С.А., и др. Растворимость и экстракция ионов металлов в системах неорганическая кислота – хлорид алкилбензилдиметиламмония – вода // Журнал физической химии. 2019. Т. 93, № 2. С. 220–224.
7. Денисова С.А., Кудряшова О.С., Елохов А.М., Леснов А.Е. Растворимость и экстракция ионов металлов в системах бис(алкилполиоксиэтилен)фосфат калия

- (или хлорид алкилбензилдиметиламмония) – тиоцианат калия (или аммония) – вода при 25°C // Журнал неорганической химии. 2019. Т. 64, № 6. С. 655–659.
8. Кудряшов С.Ф., Васянин А.Н., Кудряшова О.С., Шеина М.В. Кристаллизация многоатомных спиртов неостроения из водно-органических реакционных смесей // Избранные главы физико-химического анализа: В 2 ч. Пермь: Перм. ун-т. ЕНИ при Перм. ун-те, 2003. Ч.1. С. 79.
 9. Котельникова М.В., Кудряшова О.С. Растворимость систем неопентилгликоль – формиат натрия – метанол – вода // Журнал физической химии. 2006. Т. 80, №11. С. 1780–1785.
 10. Kudryashova O.S., Kudryavtsev P.G., Kotelnikova M.V. Processes of neopentylglycol extraction from water organic mixtures. // Journal Scientific Israel - Technological Advantages. 2015. V. 17, № 2. P. 85–121.
 11. Кудряшова О.С., Останина Н.Н., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые равновесия в системах вода – оксифос Б – неорганический высаливатель // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2013. № 2 (10). С. 9–15.
 12. Денисова С.А., Кудряшова О.С., Леснов А.Е., Сазонова Е.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системе антипирин – пирокатехин – вода // Журнал общей химии. 2007. Т. 77. № 11. С. 1794–1798.
 3. Ilin, K.K. and Cherkasov, D.G. (1999) Liquid-liquid equilibrium of the ternary system water + propan-1-ol + dodecane at 298.15 K, *ELDA-TA*. Vol. 5. pp. 107–116.
 4. Ilyin, K.K. and Demakhin, A.G. (1999) “Interaction in the lithium perchlorate – propylene carbonate – acetonitrile system at 25°C”, *Journal of General Chemistry*. Vol. 69. pp. 733–736. (In Russ.)
 5. Lesnov, A.E., Golovkina, A.V., Kudryashova, O.S. and Denisova, S.A. (2016) “Phase and extraction equilibria in water – polyethyleneglycol ethers of monoethanolamides of synthetic fatty acid – ammonium chloride systems”, *Russian Journal of Physical Chemistry A*. Vol. 90. pp. 1587–1591.
 6. Isaeva, Yu.I., Elokhov, A.M., Denisova, S.A., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2019) “Solubility and Extraction of Metal Ions in Inorganic Acid – Alkylbenzyltrimethylammonium Chloride – Water Systems”, *Russian Journal of Physical Chemistry A*. V. 93. pp. 255–259.
 7. Denisova, S.A., Kudryashova, O.S., Elokhov, A.M. and Lesnov, A.E. (2019) “Solubility and Extraction of Metal Ions in the Potassium Bis(Alkylpolyoxyethylene)phosphate (or Alkylbenzyltrimethylammonium Chloride) – Potassium (or Ammonium) Thiocyanate – Water Systems at 25°C”, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. Vol. 64. pp. 810–814.
 8. Kudryashov, S.F., Vasyanin, A.N., Kudryashova, O.S. and Sheina, M.V. (2003) “Crystallization of polyols of neostructure from water-organic reaction mixtures”, *Izbrannyye glavy fiziko-khimicheskogo analiza* [Selected chapters of physicochemical analysis], Perm University, Perm. (In Russ.).
 9. Kotelnikova, M.V. and Kudryashova, O.S. (2006) “Solubility in the Neopentylglycol – Sodium Formate – Methanol – Water System”, *Russian Journal of Physical Chemistry*. Vol. 80. pp. 1780–1785.
 10. Kudryashova, O.S., Kudryavtsev, P.G. and Kotelnikova, M.V. (2015) “Processes of neopentylglycol extraction from water organic mixtures”, *Journal Scientific Israel – Technological Advantages*. Vol. 17. pp. 85–121.

References

1. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969), *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnyh sistem*. [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multi-component systems], Saratov University, Saratov. (In Russ.).
2. Smotrov, M.P., Zharkova, I.S. and Cherkasov, D.G. (2012) “The solubility diagram of the potassium nitrate – water – n-butoxyethanol ternary system at 25°C, Bulletin of Saratov University. New Series. Series “Chemistry. Biology. Ecology”. Vol. 12. pp. 26–31.

11. Kudryashova, O.S., Ostanina, N.N., Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2013) "Phase equilibria in water – oxophos B – inorganic salting-out agent systems", *Bulletin of Perm University. Series "Chemistry"*. no. 2 (10). pp. 9–15. (In Russ.)

12. Denisova, S.A., Kudryashova, O.S., Lesnov, A.E. and Sazonova, E.A. (2007) "Phase and extraction equilibria in the antipirin – pyrocatechol – water system", *Russian Journal of General Chemistry*. Vol. 77. pp. 1855–1858.

Об авторах

Кудряшова Ольга Станиславовна, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гетерогенных равновесий, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета 614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4. oskudr@psu.ru

Елохов Александр Михайлович, кандидат химических наук, доцент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15. elhalex@yandex.ru

About the authors

Kudryashova Olga Stanislavovna, Doctor of Chemistry, Professor, chief research, research laboratory of heterogeneous equilibria, Natural Science Institute of Perm State University 614990, 4, Genkel st., Perm, Russia. oskudr@psu.ru

Elokhov Aleksandr Mikhailovich, Candidate of Chemistry, docent, Department of inorganic chemistry, chemical technology and technosphere safety, Perm State University 614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia. elhalex@yandex.ru

Информация для цитирования:

Кудряшова О.С., Елохов А.М. Изучение тройных расслаивающихся систем методом сечений // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, вып. 4. С. 320–330. DOI: 10.17072/2223-1838-2019-4-320-330.

Kudriashova O.S., Elokhov A.M. *Izuchenie troinykh rasslaivaiushchikhsia sistem metodom sechenii* [Study of the triple stratifying systems by the section method] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2019. Vol. 9. Issue 4. P. 320–330 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2019-4-320-330.