

УДК 535.3:536.423.4

В.А. Арбузов, Н.С. Буфетов, О.З. Алюкаева

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ
(НА ПРИМЕРЕ БРОМИДА ЛИТИЯ)**

V.A. Arbuzov, N.S. Bufetov, O.Z. Aliukaeva

Kutateladze Institute of Thermal Physics, Siberian Branch, RAS
1 Academician Lavrentyev Ave., Novosibirsk, 630092, Russia.

**THE DETERMINATION OF DENSITY AND CONCENTRATION
OF AQUEOUS SOLUTIONS OF SALTS BY OPTICAL WAY
(LITHIUM BROMIDE AS AN EXAMPLE)**

Представлены результаты исследования методики определения плотности и концентрации водных растворов солей на примере раствора бромида лития. При этом используются изменения показателя преломления в зависимости от плотности раствора. Получены значения показателя преломления для раствора LiBr в зависимости от концентрации и температуры для монохроматического излучения с длинами волн 660 и 532 нм.

АБСОРБЦИЯ, ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ВОДНОГО РАСТВОРА, БРОМИД ЛИТИЯ, РЕФРАКТОМЕТРИЯ.

The results of investigation into a technique for determination of density and concentration of aqueous solutions of salts through a lithium bromide solution as an example have been presented, using changes of a refractive index that depend on solution density. Refractive index values for LiBr solution depending on concentration and temperature for monochromatic radiation at wavelengths of 660 and 532 nm were obtained.

ABSORPTION, REFRACTIVE INDEX, AQUEOUS SOLUTION CONCENTRATION, LITHIUM BROMIDE, REFRACTOMETRY.

Эффективность работы абсорбционных аппаратов и ректификационных колонн зависит от компонентов [1], участвующих в массообменных процессах. Бесконтактным методам мониторинга концентрации отдается предпочтение, особенно при необходимости контроля агрессивных сред.

В данной работе на примере водного раствора литиевой соли бромида водорода — LiBr исследуется возможность определения концентрации этой соли в воде посредством измерения показателя преломления методами оптической гониометрии. Соль LiBr широко используется в качестве абсорбента водяных паров в абсорбционных тепловых машинах: тепловых насосах и холодильниках.

Методы и результаты исследований

Методика проведения измерений показателя преломления достаточно подробно представлена в работе [2]. Определение показателя преломления необходимо для предварительных оценок характеристик измерительной системы и, в частности, чувствительности. Растворы были приготовлены на основе дистиллированной воды и кристаллического LiBr марки ХЧ.

Метод измерения основан на зависимости показателя преломления от концентрации ξ и температуры T среды. Исследовалась возможность реализации метода в заданных диапазонах указанных величин. С этой целью были получены значения

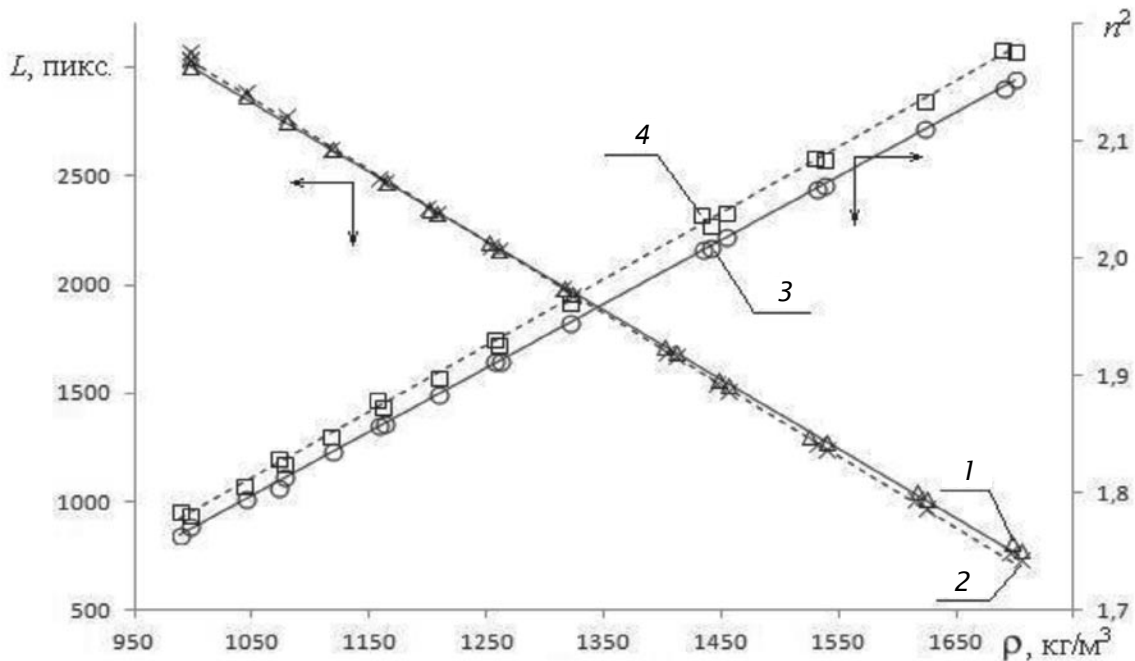


Рис. 1. Зависимости расстояния между центрами изображений крестовидной диафрагмы (1, 2) и квадрата показателя преломления раствора (3, 4) от плотности раствора для двух длин волн: $\lambda = 660$ нм (1, 3) и $\lambda = 532$ нм (2, 4)

показателя преломления n при различных концентрациях раствора ($0 \leq \xi \leq 60$ %) и температурах ($20 \leq T \leq 40$ °C) для монохроматического излучения с длинами волн λ , равными 660 и 532 нм, по методике, описанной в работе [2]. Концентрация определялась по измеренным величинам плотности ρ и температуры T раствора на основе табличных данных [3].

На рис. 1 показана полученная зависимость квадрата показателя преломления от плотности раствора в выбранном диапазоне концентраций и температур при заданных длинах волн светового поля. Эта зависимость представляется линейными функциями, с величинами достоверности аппроксимации R^2 , для $\lambda = 660$ и 532 нм соответственно [4] в следующем виде:

$$n_{660}^2 = 5,4537 \cdot 10^{-4} \rho + 1,2254, R^2 = 0,9998;$$

$$n_{532}^2 = 5,6433 \cdot 10^{-4} \rho + 1,2205, R^2 = 0,9989.$$

При выборе параметров оптической схемы гониометра использовались результаты анализа, полученные в работе [5]. Был изготовлен макет измерительного прибора, схема которого представлена на рис. 2.

Принцип действия устройства аналогичен гониометру, но с некоторыми изменениями, которые позволяют работать с системами, находящимися под вакуумом. Для исследований использовался макет установки, предназначенной для измерений и регистрации изменений концентрации в процессе абсорбции в реальных массообменных абсорбционных аппаратах.

Наибольшая чувствительность в выбранной оптической схеме гониометра достигается, во-первых, при большом угле падения луча на грань призмы в пределах, исключающих виньетирование выходного светового поля; во-вторых, при значении угла при вершине стеклянной призмы, приблизительно равном 30°; в-третьих, при показателе преломления материала призмы, превышающем показатель преломления тестируемой жидкости при всех ее возможных концентрациях.

Отличие данной системы от системы гониометра состоит в использовании матрицы веб-камеры 7 в качестве измерителя. С ее помощью на компьютер 8 передается два изображения крестовидной диафрагмы 2: одно прошло через кювету, минуя призму,

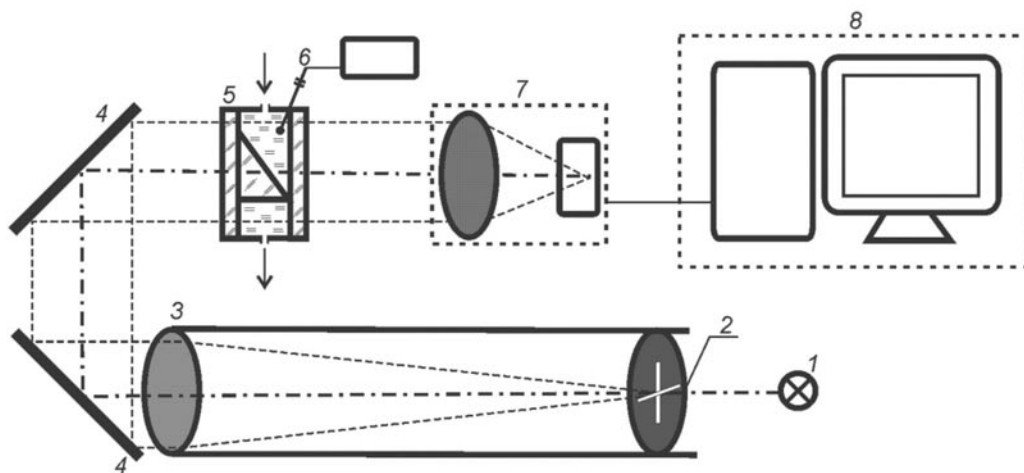


Рис. 2. Схема измерительной установки:

1 – монохроматический осветитель; 2 – крестовидная диафрагма; 3 – коллиматор; 4 – поворотные зеркала, расположенные под углом 45°; 5 – кювета с призмой и исследуемым водным раствором (LiBr); 6 – термопара; 7 – веб-камера с матрицей 640 × 480 (3,89 × 2,92 мм); 8 – персональный компьютер (ПК)

другое прошло через кювету и призму 5. Характеристикой преломления в этом случае будет расстояние L (в пикселях матрицы) между двумя изображениями.

На рис. 3 приведены зависимости расстояния между прямым и испытанным пре-

ломление изображениями от концентрации раствора при различных температурах. С изменением температуры происходит «расслоение» зависимости. Это отчетливо видно на увеличенном фрагменте рис. 3, а (рис. 3, б). «Расслоение» кривой $L(\xi)$ при изменении

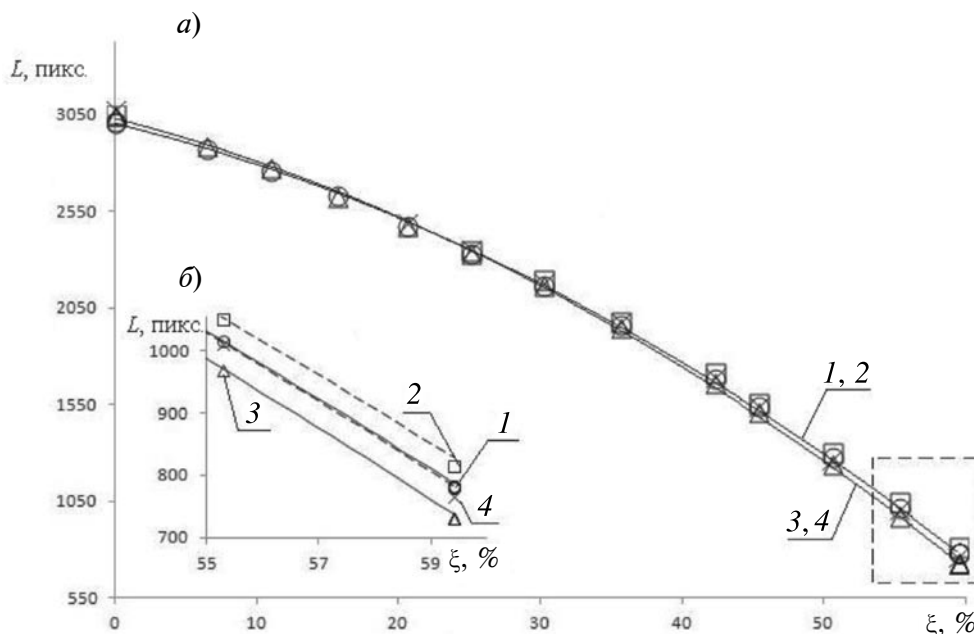


Рис. 3. Зависимости расстояния между изображениями крестовидной диафрагмы от концентрации водного раствора (а, б) при разных температурах T и двух значениях длины волны λ монохроматического излучения; T , °C: 23,8 ± 0,6 (1, 3), 39,2 ± 1,5 (2, 4); λ , нм: 660 (1, 2), 532 (3, 4); б – фрагмент графика, соответствующий области 55,0 – 59,5 %



температуры создает некоторые экспериментальные неудобства: перед измерениями требуется дополнительная калибровка зависимостей $L(\xi)$ при разных температурах.

Поскольку характеристикой преломления является расстояние L , то по аналогии с зависимостью $n^2(\rho)$ на рис. 1 представлена экспериментально полученная кривая $L(\rho)$. Видно, что функция $L(\rho)$, в отличие от $L(\xi)$, не зависит от температуры. Поэтому для практического определения плотности водного раствора соли при измерениях на данной установке можно рекомендовать использование формул линейной зависимости типа

$$\rho = aL + b, \quad (1)$$

для калибровки после каждой юстировки оптической системы. Конкретно для приводимых здесь данных (для длин волн 600 и 532 нм):

$$\rho_{660} = -0,31606L + 1947,2;$$

$$\rho_{532} = -0,30613 \cdot L + 1923,9.$$

Следует отметить, что значения величины достоверности аппроксимации очень близки к единице: для $\lambda = 660$ нм она составляет $R^2 = 0,99959$, а для $\lambda = 532$ нм — $R^2 = 0,99963$.

При практическом применении метода

требуется по полученным значениям L , на основании калибровочных данных типа (1), определять плотность раствора, находящегося в кювете. С помощью зависимости $\xi = f(T, \rho)$ [3] восстанавливаются значения концентрации.

Применение данной методики в комплексе с используемой аппаратурой для двух длин волн излучения в разных спектральных областях, обеспечивает значение чувствительности метода при определении плотности не хуже $0,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{пикс}^{-1}$ и концентрации — $0,02 (\%) \cdot \text{пикс}^{-1}$.

Итак, в результате проведенных исследований получены значения показателя преломления водного раствора бромида лития в диапазоне его концентраций от 0 до 60 % для двух длин волн монохроматического излучения: $\lambda = 660$ и 532 нм.

Показано, что зависимость показателя преломления от концентрации и температуры обобщаются с помощью одной переменной — плотности водного раствора ρ .

Создан действующий макет прибора и разработана методика определения концентрации водного раствора бромида лития оптическим методом. Предлагаемая методика обладает высокой чувствительностью и оперативностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Накоряков, В.Е.** Исследование нестационарного совместного теплообмена при неизотермической абсорбции [Текст] / В.Е. Накоряков, Н.С. Буфетов, Р.А. Дехтярь // Труды Института перспективных исследований; Под ред. В.Е. Накорякова и др. — Новосибирск, 2003. — С. 3-34-3-41.

2. **Арбузов, В.А.** Определение концентрации бромистого лития в водном растворе по коэффициенту преломления [Текст] / В.А. Арбузов, Н.С. Буфетов, Т.Ю. Ляшенко // Труды X Международной конференции «Оптические методы исследования потоков», 23-26 июня 2009 г., Москва. — М.: МЭИ, 2009. — С. 310-313.

3. **Löver, H.** Termodinamischen und physicalische

Eigenschaften der wässrigen Lithiumbromid Lösung [Text]: Dissertation / H. Löver. — Karlsruhe, 1960. — 97 p.

4. **Ландсберг, Г.С.** Оптика: Учебное пособие для вузов [Текст] / Г.С. Ландсберг; 6-е изд., стереотип. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.

5. **Алюкаева, О.З.** Создание методики определения плотности и концентрации водных растворов солей оптическим способом (на примере лития бромида) [Текст] / О.З. Алюкаева // Всероссийский конкурс «Научное инновационные проекты молодых ученых»: Материалы работ победителей и лауреатов конкурса, 2012 г., Санкт-Петербург. — СПб: Изд-во Политехнич. ун-та, 2012. — С. 80-95.

REFERENCES

1. **Nakoriakov V.E., Bufetov N.S., Dekhtiar' R.A.** Issledovanie nestatsionarnogo sovmestnogo teploobmena pri neizotermicheskoi absorbtzii.

Trudy Instituta perspektivnykh issledovaniy, Novosibirsk, 2003, pp. 3-34-3-41. (rus)

2. **Arbuzov V.A., Bufetov N.S., Liashenko T.Yu.**

Opređenje kóntsentratsii bromistogo litiia v vodnom rastvore po koeffitsientu prelómneniia. Trudy Kh Mezhdunarodnoi konferentsii «Opticheskie metody issledovaniia potokov», Moscow, MEI, 2009, pp. 310–313. (rus)

3. **Löver H.** Termodinamischen und physikalische Eigenschaften der wässrigen Lithiumbromid Lösung. Karlsruhe, 1960, 97 p.

4. **Landsberg G.S.** Optika.: Uchebnoe posobie

dlia vuzov. Moscow, Fizmatlit, 2003, 848 p. (rus)

Aliukaeva O.Z. Sozdanie metodiki opredeleniia plotnosti i kóntsentratsii vodnykh rastvorov solei opticheskim sposobom (na primere litiia bromida). Vserossiiskii konkurs «Naukoemkie innovatsionnye proekty molodykh uchenykh»: Materialy rabot pobeditelei i laureatov konkursa, St.-Petersburg, Polytechnical University Publishing House, 2012, pp. 80–95. (rus)

БУФЕТОВ Николай Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института теплофизики им. С.С. Кутеладзе СО РАН.

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1
bufetov@itp.nsc.ru

АРБУЗОВ Виталий Анисифорович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Института теплофизики им. С.С. Кутеладзе СО РАН.

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1
arbuzov@itp.nsc.ru

АЛЮКАЕВА Ольга Зарифовна – лаборант Института теплофизики им. С.С. Кутеладзе СО РАН.

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1
aliukaeva@yandex.ru