



УДК 535.3:536.423.4

В.А. Арбузов^{1,2}, Н.С. Буфетов^{1,3}, О.З. Алюкаева²

¹ Институт теплофизики СО РАН, Россия,
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1, E-mail: bufetov@itp.nsc.ru

² Новосибирский государственный технический университет, Россия,
630092, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, E-mail: oit@ref.nstu.ru

³ Новосибирский государственный университет, Россия,
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2, E-mail: poly@admin.nsu.ru

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

Представлены результаты исследования методики по определению плотности и концентрации водных растворов солей на примере раствора бромистого лития, используя изменения показателя преломления в зависимости от плотности раствора. Получены значения показателя преломления для раствора LiBr от концентрации и температуры для монохроматического излучения с длиной волны $\lambda=0,66$ мкм и $\lambda=0,532$ мкм при изменении концентрации от 0 до 60 %.

АБСОРБЦИЯ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ЛИТИЯ БРОМИДА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ,
ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ РЕФРАКТОМЕТРИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных характеристик массообменных процессов, происходящих в абсорбционных аппаратах и ректификационных колоннах, является изменение концентрации компонентов [1], участвующих в этих процессах. Наиболее приемлемыми методами контроля за концентрацией являются бесконтактные, к которым относятся оптические способы, легко поддающиеся автоматизации, в результате чего становятся достаточно оперативными и в то же время могут обладать высокой точностью. В данной работе анализируются возможности определения концентрации солей, в частности, литиевой соли бромистой кислоты (LiBr), одной из наиболее широко используемых 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 [2]. Растворы были приготовлены на основе дистиллированной воды и LiBr марки ХЧ. Концентрация определялась по измеренной плотности и температуры раствора на основе таблиц [3]. Результаты измерений показателя преломления для 2-х длин волн монохроматического излучения при комнатной температуре в зависимости от концентрации и плотности раствора приведены на рис.1.

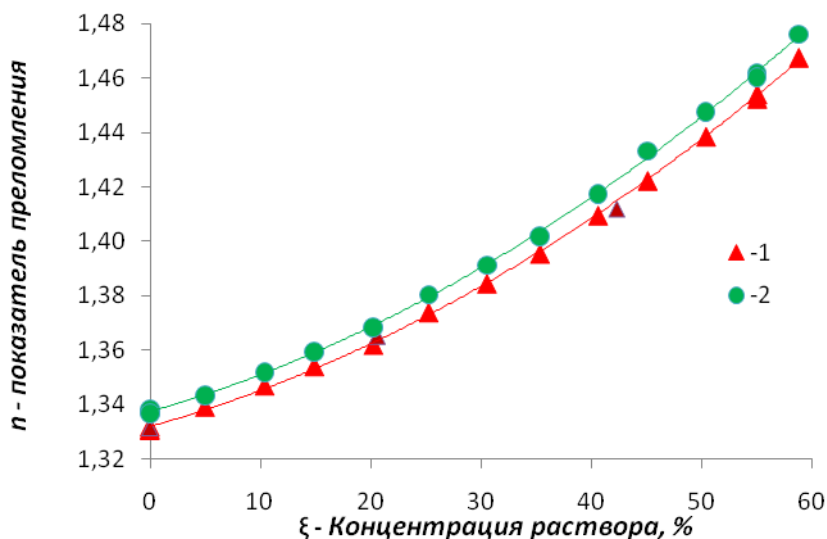


Рис. 1 Зависимость показателя преломления от концентрации раствора для различных длин волн: 1) $\lambda = 0,66$ мкм; 2) $\lambda = 0,532$ мкм

Линии тренда второго порядка с хорошей точностью (величины достоверности аппроксимации для точек 1 - $R^2=0,99963$, для точек 2 - $R^2=0,99957$) описывают эти зависимости, а вторая производная для кривой $\lambda = 0,532$ мкм превышает аналогичную для $\lambda = 0,66$ мкм менее, чем на 3%. Ниже приводятся уравнения линий тренда n_z - для зеленого и n_k - для красного цветов при температуре $21 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

$$n_z = 2,031857 \cdot 10^{-05} \xi^2 + 1,155047 \cdot 10^{-03} \xi + 1,337388,$$

$$n_k = 1,975025 \cdot 10^{-05} \xi^2 + 1,127243 \cdot 10^{-03} \xi + 1,331930.$$

Дальнейшие исследования проводились на макете установки, предназначенной для измерения и определения концентрации и её изменения в процессе абсорбции в реальных массообменных абсорбционных аппаратах. За основу была принята известная схема [2] для определения показателя преломления с помощью гониометра. Схема макета и его вид приведены на рисунках 2 и 3 соответственно.

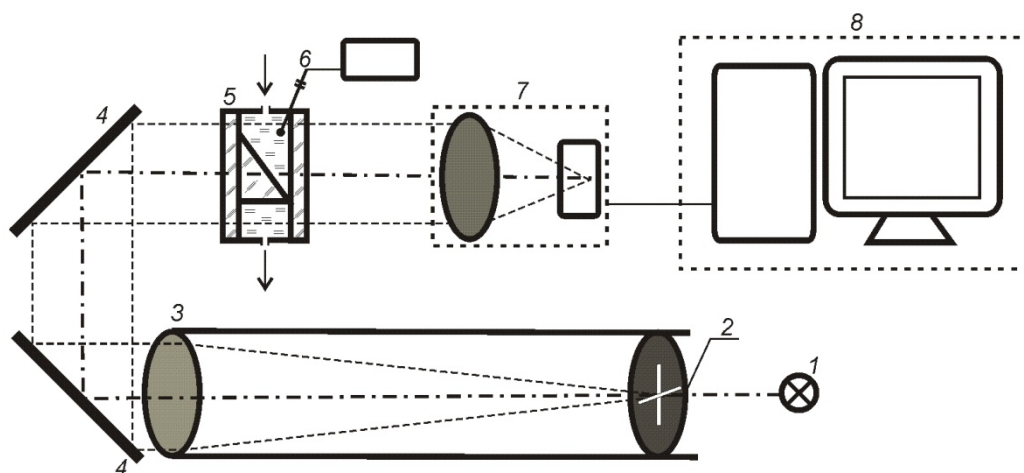


Рис. 2. Схема измерительной установки:

1 – монохроматический осветитель (лазер); 2 – крестовидная диафрагма; 3 – коллиматор; 4 – поворотные зеркала расположенные под углом 45° ; 5 – кювета с призмой и исследуемым водным раствором (LiBr); 6 – термопара; 7 – Web-камера; 8 – ПК



Рис. 3. Общий вид установки

В процессе эксперимента производилось обязательное измерение температуры раствора, находящегося в измерительной кювете. В отличие от измерений гониометром, в этом случае на камере фиксировались 2 изображения «креста»: первое (слева) – прямое и второе (справа) – прошедшее через призму. В зависимости от разности показателей преломления стеклянной призмы и раствора изменялось расстояние между изображениями, которое определялось в пикселях.

На рис. 4 приведена сборка фотографий изображения «крестов» при различных концентрациях раствора, залитого в измерительную кювету.



Рис. 4. Отклонения изображения для различных концентраций раствора

Ввиду некоторого несовершенства юстировки прибора при прямом и преломленном прохождении изображения освещенность получается различной, что хорошо заметно на графике освещенности вертикальных элементов (рис. 5) При определении горизонтальных координат элементов «крестов» была сделана статистическая оценка погрешности нахождения расстояний между ними. Так воспроизводимость при определении координаты опорного (прямого) «креста» имеет среднее квадратическое отклонение (СКО) равное 1,2 пикселя, преломленного (правого) – 0,6. Таким образом, средняя погрешность при определении расстояния между «крестами» оценивается не более 2-х пикселей.

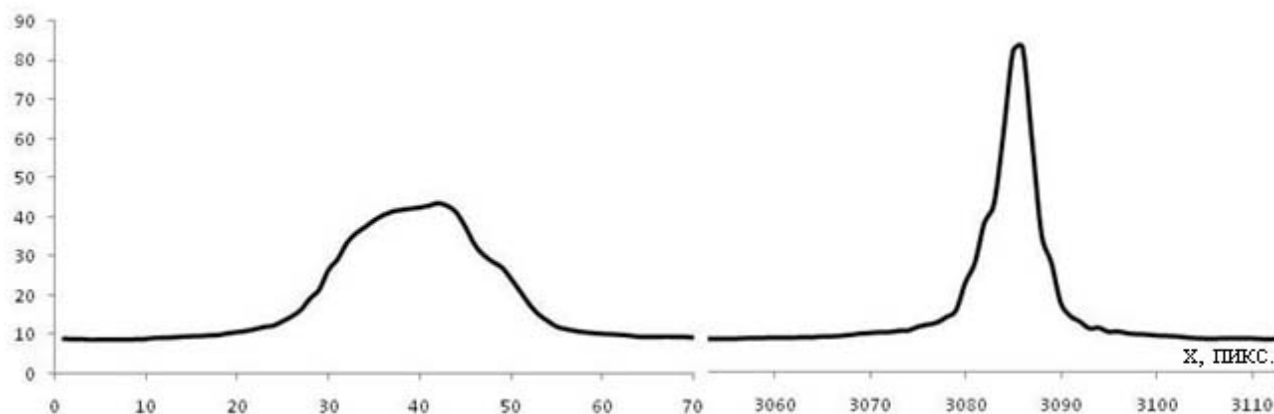


Рис. 5. Интенсивность освещенности вертикальных элементов «крестов»

На рис. 6,а приведены зависимости расстояний между «преломленным» изображением и прямым от концентрации раствора при различных температурах раствора. При повышении температуры происходит расслоение зависимости (расстояние между пиками увеличивается). Это отчетливо видно на увеличенном фрагменте этого рисунка (рис. 6,б)

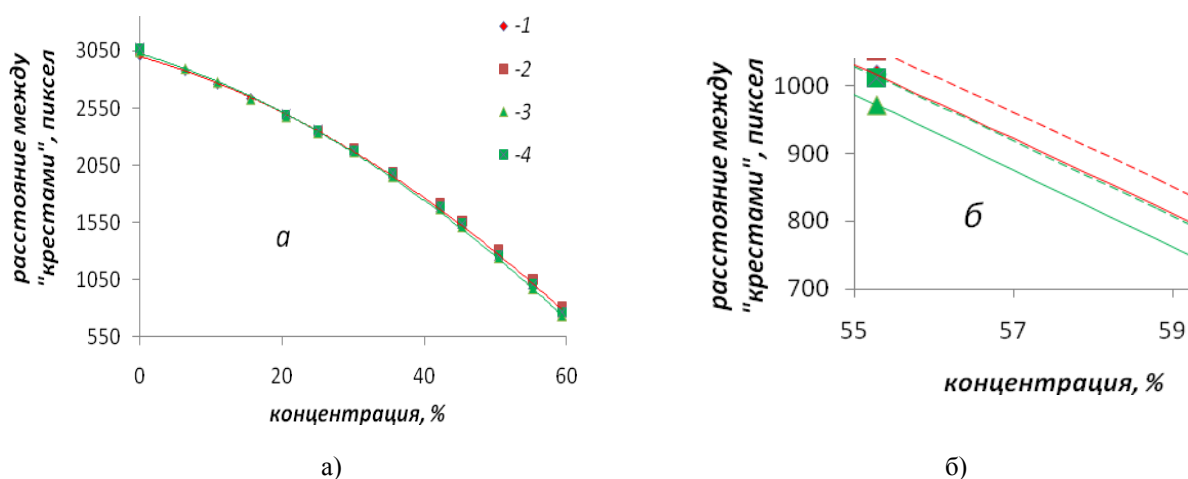


Рис. 6. а) – зависимости расстояний между изображениями в зависимости от концентрации, при температурах $T_1 = 23,8 \pm 0,6^\circ\text{C}$ и $T_2 = 39,2 \pm 1,5^\circ\text{C}$; б) – фрагмент графика 6,а в области $55 \div 59,5\%$. 1 – красный лазер, T_1 , 2 – красный лазер, T_2 , 3 – зеленый лазер, T_1 , 4 – зеленый лазер, T_2

Известно [4], что плотность вещества оказывает определяющее влияние на его показатель преломления n . Поэтому с целью обобщения зависимости n от концентрации и температуры и использования в дальнейшем для определения концентрации раствора результаты были представлены как зависимость плотности раствора ρ от расстояния между изображениями «креста». Результаты этого обобщения приведены на рис. 7. Видно, что расслоение от температуры исчезло. Поэтому для практического определения плотности раствора на данной установке можно рекомендовать использование следующих формул, полученных при построении линий тренда.

$$\begin{aligned} \rho_{кр} &= -0,31606 x + 1947,16596, \\ \rho_{зел} &= -0,30613 x + 1923,90493, \end{aligned} \quad (1)$$

(величины достоверности аппроксимации для точек (красного лазера) – $R^2 = 0,99959$, а для зеленого лазера – $R^2 = 0,99963$)

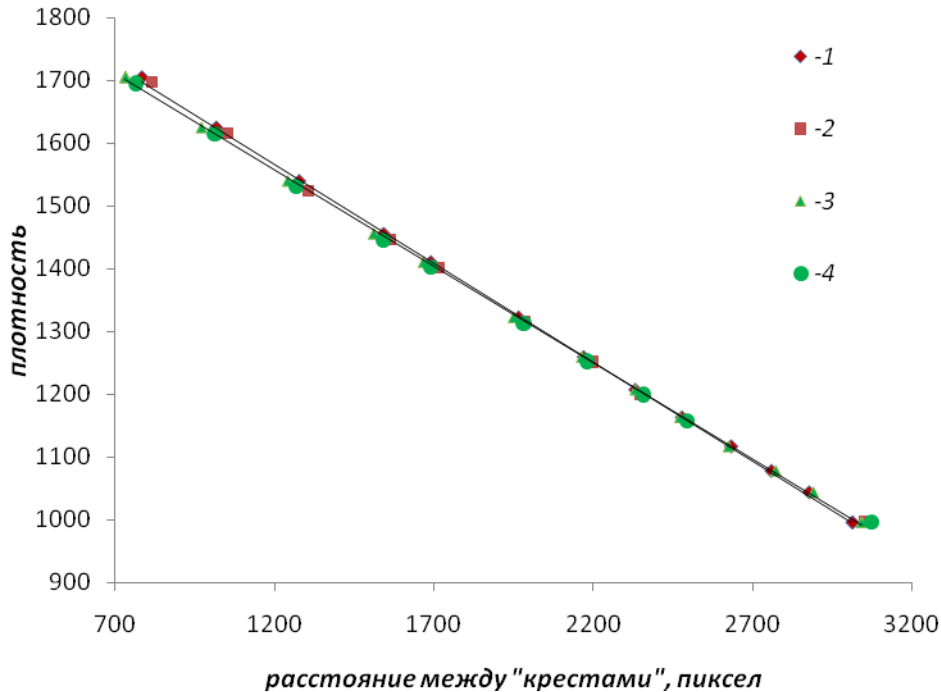


Рис. 7. Зависимость плотности от расстояния между изображениями: 1 – красный лазер, T_1 , 2 – красный лазер, T_2 , 3 – зеленый лазер, T_1 , 4 – зеленый лазер, T_2

На основании таблиц [3] зависимостей $\xi = f(T, \rho)$ восстанавливаются значения концентрации раствора.

Использование данной методики в комплекте с используемой аппаратурой обеспечивает чувствительности метода для обоих лазеров при определении плотности не хуже $0,32 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{пикс}$ и концентрации – $0,02\%/\text{пикс}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенных исследований получены показатели преломления водного раствора бромистого лития в диапазоне его концентрации от 0 до 60% для двух длин волн монохроматического излучения: красного - $\lambda=0,66 \text{ мкм}$ и зеленого - $\lambda=0,532 \text{ мкм}$.

2. Показано, что зависимость показателя преломления от концентрации и температуры обобщаются с помощью одной переменной – плотности раствора.

3. Создан действующий макет прибора и разработана методика определения концентрации водного раствора бромистого лития оптическим методом, обладающая высокой чувствительностью и оперативностью

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 09-08-00882-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Накоряков В.Е., Буфетов Н.С., Дехтярь Р.А.** Исследование нестационарного совместного тепломассопереноса при неизотермической абсорбции // Труды Института перспективных исследований / Под ред. В.Е. Накорякова и др. – Новосибирск, 2003. С. 3-34 – 3-41.
2. **Арбузов В.А., Буфетов Н.С., Ляшенко Т.Ю.** Определение концентрации бромистого лития в водном растворе по коэффициенту преломления // Труды X Международной конференции «Оптические методы исследования потоков», 23–26 июня, 2009 г., Москва. М.: МЭИ. – С. 310–313.
3. **Löwer Н.** Termodinamischen und physicalische Eigenschaften der wässrigen Lithiumbromid Lösung, Dissertation, Karlsruhe, 1960.
4. **Ландсберг Г.С.** Оптика // Учебное пособие: Для вузов. 6-е изд. стереот.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

V.A.Arbuzov^{1,2}, N.S.Bufetov^{1,3}, O.Z.Alukaeva²

¹*Institute of thermophysics of S.S.Kutateladze of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Russia, 1, Acad. Lavrentyev ave., Novosibirsk, 630090, Russia,
E-mail: arbuzov@itp.nsc.ru*

²*Novosibirsk state technical university, Russia, 630092,
Novosibirsk, 20, K. Marks str., E-mail: oit@ref.nstu.ru*

³*Novosibirsk state university, Russia, 630090, Novosibirsk, 2, Pirogov str.,
E-mail: poly@admin.nsu.ru*

DEFINITION OF DENSITY AND CONCENTRATION OF WATER SOLUTIONS OF SALTS IN THE OPTICAL WAY (THE EXAMPLE OF LITHIUM BROMIDE)

Optical method definition the water density and concentration of lithium bromide solutions using changes of a refraction index are presented. Values of the refraction index for LiBr solution in depending from concentration and temperature for wave lengths $\lambda=0,66$ micron and $\lambda=0,532$ micron are received at change of concentration from 0 to 60 %.

ABSORPTION, LITHIUM BROMIDE CONCENTRATION IN WATER SOLUTION, REFRACTION INDEX, OPTICAL REFRACTOMETRY