

УДК 681.785.2

© А. В. Арефьев, Р. Б. Гулиев, О. В. Громов, А. В. Дагаев,
В. В. Курлов, Е. Е. Майоров, И. С. Таюрская, 2022

РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ТЕТРАХЛОРЭТИЛЕНА

В работе рассмотрено применение рефрактометрического прибора УРЛ-1 (РФ) для измерения концентрационной зависимости показателя преломления в водных растворах тетрахлорэтилена. Представленное исследование актуально и перспективно, т.к. выявление оптических параметров у данных сред важно для химических производств. В статье приведен внешний вид лабораторной рефрактометрической установки с УРЛ-1, а также даны технико-эксплуатационные характеристики используемых в сравнительных измерениях рефрактометров. Получены результаты измерений рефрактометрами концентрационной зависимости показателя преломления исследуемых веществ. Сопоставлены данные измерений с результатами, полученными на рефрактометре PR-03-M (K-Patents OY, Финляндия). Погрешность эксперимента не превышала $\Delta k \leq 0.4\%$.

Кл. сл.: погрешность измерений, интерполяция, рефрактометр, показатель преломления, концентрация, полином

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время тетрахлорэтилен (перхлорэтилен) и его водные растворы широко применяются в различных отраслях промышленности и в научных исследованиях [1]. Использование этого химического растворителя относится к машиностроению, металлургии, радиоэлектронике, деревообрабатывающей индустрии, а также к текстильной промышленности, где больше половины всего производимого тетрахлорэтилена применяется в химчистках для сухой чистки одежды [2].

Для контроля состава водных растворов тетрахлорэтилена, удовлетворяющего требованиям технических норм и условиям в конкретных производствах, могут быть эффективно использованы методы и средства рефрактометрии [3]. Рефрактометрические приборы и системы для измерения веществ разного агрегатного состояния используют метод полного внутреннего отражения [4–7]. Существуют рефрактометрические датчики, которые монтируются непосредственно в технологический поток, обеспечивая контроль состава и общий расход исследуемого вещества [8–10].

Рефрактометрия, как инструмент достоверных, информативных и высокоточных измерений, должна опираться на количественные данные по показателю преломления, его температурному коэффициенту, оптическому поглощению в рабочем диапазоне температур и концентраций исследуемого объекта. В научной литературе такая ин-

формация по тетрахлорэтилену и его водным растворам освещена в ограниченном объеме [11–15]. Представленные концентрационные зависимости показателя преломления $n(k)$ при $\lambda = 633$ нм и $t = 20$ °С могут быть дополнены.

Таким образом, выявление оптических свойств водных растворов тетрахлорэтилена в связи с перспективой применения рефрактометрических средств для контроля их состава остается актуальной задачей исследования. Необходимо отметить, что оптико-электронные автоматизированные рефрактометры общего назначения для решения поставленной задачи не пригодны, т.к. требуют процедуры калибровки в исследовании этих веществ. Поэтому представляет интерес исследование оптических свойств тетрахлорэтилена и его водных растворов в лабораторных условиях.

Цель работы — применить рефрактометрическую лабораторную установку для измерения водных растворов тетрахлорэтилена.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существенную научную и практическую значимость как средство контроля состава водных растворов тетрахлорэтилена в различных производствах представляют рефрактометрические технологии. Потребители (юридические лица) должны знать, какой состав хлорсодержащего раствора будет использован для обработки той или иной продукции. Иногда информация по составу про-

дукции, содержащаяся на этикетке, не соответствует действительности. Тогда на помощь приходят лабораторные рефрактометрические методы и средства контроля жидкофазных сред.

В работе необходимо было экспериментально исследовать концентрационную зависимость показателя преломления водных растворов тетрахлорэтилена при $k = 0\text{--}16\%$, $\lambda = 633\text{ нм}$, $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$.

Получение оптических параметров по этим растворам представляет интерес как для производителей, так и для потребителей продукта.

Образцы для исследования были предоставлены сетью срочных химчисток "Лотос".

ОБЪЕКТЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходными компонентами для приготовления исследованных водных растворов были тетрахлорэтилен и дистиллированная вода. В соответствии с требованиями текстильной промышленности при обработке и отделке продукции, концентрация растворов составляла $k = 0\text{--}16\%$. При подготовке растворов использовались сертифицированные электронные весы с погрешностью измерений $\pm 100\text{ мг}$ для рабочей шкалы до 500 г .

Для измерений концентрационной зависимости показателя преломления $n(k)$ использовалась лабораторная рефрактометрическая установка с серийным рефрактометром УРЛ-1 (РФ) и с термо-

статом MLW U2 [16–18]. На рис. 1 приведен внешний вид лабораторной установки. Рефрактометрическая установка давала возможность проводить измерения показателя преломления водных растворов с концентрацией от 0 до 16% при стандартных условиях $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ на длине волны $\lambda = 633\text{ нм}$.

Суммарная погрешность измерений показателя преломления $n(k)$ в исследованном диапазоне концентраций $k = 0\text{--}16\%$ составляла не хуже $\Delta n = 0.0004$. Эта погрешность определялась как погрешностью измерений рефрактометра УРЛ-1 (до $\Delta n = 0.0002$), так и погрешностью концентрации раствора ($\Delta k = 0.0002$). Произведенные измерения демонстрировали температурную стабильность в условиях термостатирования ($\Delta t = 1\text{ }^\circ\text{C}$ для $t = 10\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$).

Для независимой проверки результатов измерений применялся автоматизированный рефрактометр PR-03-M (K-Patents OY, Финляндия), использующий призму, изготовленную из шпинеля. Это позволяло производить измерения на $\lambda = 589.3\text{ нм}$ при температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ с погрешностью $\Delta n = 0.0002$.

Технико-эксплуатационные характеристики лабораторного рефрактометра УРЛ-1 и автоматизированного рефрактометра PR-03-M приведены в табл. 1.

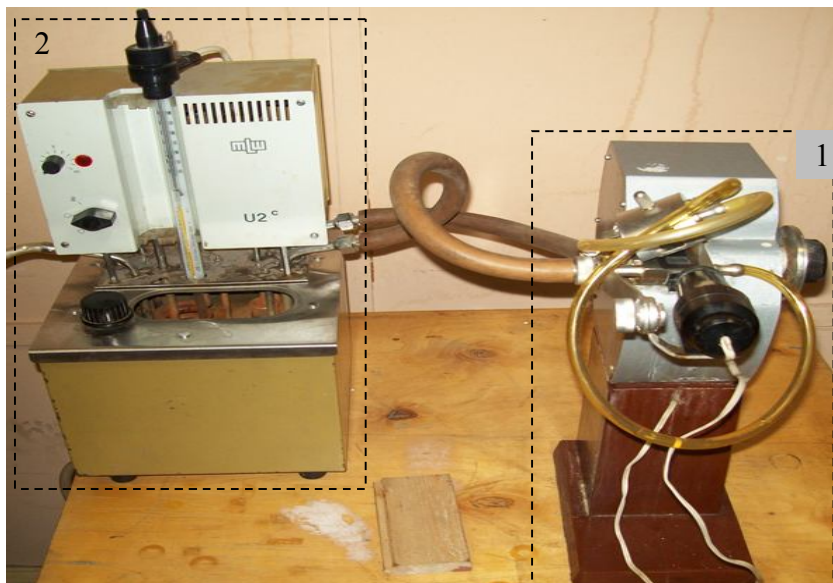


Рис. 1. Лабораторная рефрактометрическая установка для измерений концентрационной зависимости показателя преломления в водных растворах тетрахлорэтилена.

1 — рефрактометр УРЛ-1, 2 — термостат MLW U2

Табл. 1. Техничко-эксплуатационные характеристики лабораторной рефрактометрической установки с УРЛ-1 и рефрактометра PR-03-М

Характеристика	Модель	
	PR-03-М	УРЛ-1
Шкала измерений	n	n
Рабочий диапазон концентраций	1.310–1.540	1.200–1.700
Погрешность измерений	0.0002 n	0.0002 n
Материал кюветной камеры	Титановый сплав	Нерж. сталь
Материал элемента ПВО	Шпинель	Стекло ТФ2
Время измерения	< 5 с	–
Габаритные размеры (мм)	125 × 226 × 267	400 × 180 × 260
Масса, не более (кг)	0.250	7.5
Вывод данных измерений	Жидкокристаллический дисплей	Глаз наблюдателя
Температурный диапазон эксплуатации	–20...+130 °С	+5...+40 °С
Температурный режим хранения и транспортировки	–10...+50 °С	–20...+50 °С

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе получены экспериментальные результаты измерений на УРЛ-1 концентрационной зависимости показателя преломления водных растворов тетрахлорэтилена ($n_{\text{экс}}$).

Они подлежали сравнению с измеренными значениями, полученными на рефрактометре K-Patents ОУ PR-03-М ($n_{\text{К-р}}$).

Экспериментальные данные были представлены полиномом третьей степени:

$$n_{\text{экс}} = -4.9325 \cdot 10^{-8} k^3 + 5.7102 \cdot 10^{-6} k^2 + 0.001312 \cdot k - 1.3330.$$

В табл. 2 приведены результаты измерений, полученные на лабораторной рефрактометрической установке с серийным УРЛ-1 при $\lambda = 633$ нм, $t = 20$ °С и на рефрактометре PR-03-М (K-Patents ОУ) при $\lambda = 589.3$ нм, $t = 20$ °С

Значимость в практической рефрактометрии имеет зависимость $k(n)$. Обычно такую зависимость используют для калибровки рефрактометров различного назначения. Для водных растворов тетрахлорэтилена эти зависимости показаны на рис. 2.

Табл. 2. Экспериментальные результаты измерений показателя преломления водных растворов тетрахлорэтилена

$k, \%$	$n_{\text{экс}}$	$n_{\text{К-р}}$	$\Delta n = n_{\text{экс}} - n_{\text{К-р}}$
0	1.3330	1.3330	0
2	1.3387	1.3390	–0.0003
4	1.3480	1.3478	0.0002
6	1.3524	1.3555	–0.0031
8	1.3592	1.3591	0.0001
10	1.3652	1.3604	0.0048
12	1.3792	1.3798	–0.0006
14	1.3870	1.3883	–0.0013
16	1.3942	1.3950	–0.0008

Зависимость $k(n)$ на рис. 2, а, интерполировалась полиномом:

$$k_{\text{экс}} = 16002 \cdot n_{\text{экс}}^3 - 66584 \cdot n_{\text{экс}}^2 + 92571 \cdot n_{\text{экс}} - 42987.$$

Полученные погрешности измерений для $k_{\text{экс}}(n_{\text{экс}})$ не превышали $\Delta k \leq 0.3$ % и для $k_{\text{К-р}}(n_{\text{К-р}})$ $\Delta k \leq 0.2$ %. Расхождение результатов с двух приборов представлено на рис. 2, б.

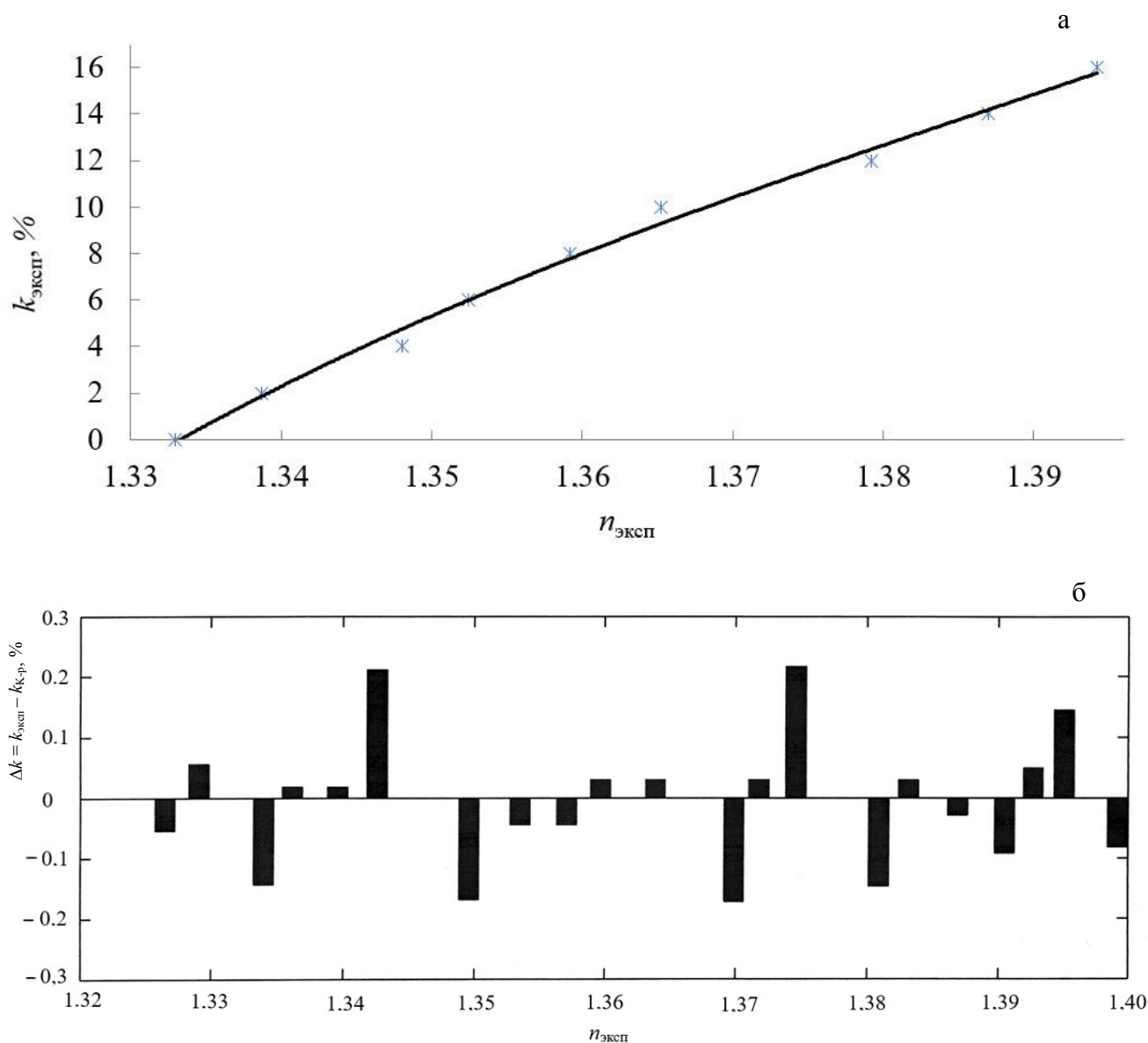


Рис. 2. Результаты определения концентрации водных растворов тетрахлорэтилена в зависимости от показателя преломления.

На а: точки — эксперимент, сплошная линия — расчет; б — сходимость эксперимента ($k_{\text{эксп}}$) и контроля ($k_{\text{к-р}}$)

В целом полученные результаты удовлетворяют требованиям промышленной рефрактометрии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптико-электронные приборы и комплексы используют для контроля исследуемых объектов, где необходима высокая точность измерений. В работе проведены экспериментальные исследования водных растворов тетрахлорэтилена разными

рефрактометрическими приборами для сбора рефрактометрических параметров этих веществ. Показано, что отечественные рефрактометрические технологии не уступают зарубежным, прежде всего, по точности измерений химических веществ и их растворов.

Результаты, полученные в данной статье, могут быть полезными как для производителей химического вещества, так и для разработчиков современных рефрактометрических приборов и датчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы анализа в химии. Л.: Химия, 1983. 352 с.
2. VAISALA: In-line process refractometers (Электронный ресурс). URL: http://www.kpatents.com/dd23_pulp.php (дата обращения 22.03.2022).
3. METTLER TOLEDO: Refracto 30GS. Портативный рефрактометр с расширенным диапазоном измерений (Электронный ресурс). URL: <https://www.mt.com/ru/ru/home.html> (дата обращения 12.03.2022).
4. Акмаров К.А., Артемьев В.В., Белов Н.П., Лапишов С.Н., Майоров Е.Е., Патяев А.Ю., Смирнов А.В., Шерстобитова А.С., Шишова К.А., Яськов А.Д. Промышленные рефрактометры и их применение для контроля химических производств // Приборы. 2012. № 4 (142). С. 1–8. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17718398>
5. Майоров Е.Е. Исследование оптических свойств жидкофазных сред на основе гликолей // Научное обозрение. 2013. № 4. С. 166–176.
6. Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Прокопенко В.Т., Хайдаров Г.Г. Рефрактометрические технологии и их применение для контроля диффузно отражающих объектов в производственном цикле // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 4: Физика, химия. 2013. Вып. 4. С. 24–31.
7. Белов Н.П., Лапишов С.Н., Майоров Е.Е., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. Оптические свойства зеленых щелоков и применение промышленной рефрактометрии для контроля их состава при производстве сульфатной целлюлозы // Оптический журнал. 2014. Т. 81, № 1. С. 53–58. DOI: 10.1364/JOT.81.000039
8. Белов Н.П., Лапишов С.Н., Майоров Е.Е., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. Оптические свойства растворов черных щелоков и рефрактометрические средства контроля концентрации сухого остатка в сульфатном производстве целлюлозы // Журнал прикладной спектроскопии. 2012. Т. 79, № 3. С. 514–516. DOI: 10.1007/s10812-012-9630-2
9. Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Хайдаров А.Г., Абрамян В.К., Зайцев Ю.Е. Разработка оптико-электронного рефрактометрического прибора для контроля состава водных растворов гликолей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 3. С. 33–41.
10. Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Хохлова М.В., Курлов А.В., Черняк Т.А., Фадеев А.О. Компьютерное моделирование оптических спектров диметилсульфида $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ и диметилсульфона $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_2$ для рефрактометрических средств контроля // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 12. С. 35–41.
11. Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Хохлова М.В., Курлов А.В., Черняк Т.А., Кирик Д.И., Капранов Д.Д., Жаркова Т.В. Возможность использования автоматизированных рефрактометрических методов и средств для измерения состава зеленого щелока при производстве сульфатной целлюлозы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 1. С. 42–49.
12. Громов О.В., Майоров Е.Е., Таюрская И.С., Машек А.Ч., Цыганкова Г.А., Удахина С.В. Экспериментальное исследование разработанного автоматизированного рефрактометра для контроля химически агрессивных сред // Научное обозрение. Технические науки. 2021. № 3. С. 21–26. DOI: 10.17513/srts.1352
13. Майоров Е.Е., Туровская М.С., Хохлова М.В., Шаламай Л.И., Константинова А.А., Дагаев А.В., Гулиев Р.Б., Таюрская И.С. Применение гониометрической рефракции для измерения состава щелоков в производстве сульфатной целлюлозы // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 2. С. 129–139.
14. Курлов В.В., Громов О.В., Таюрская И.С., Майоров Е.Е., Арефьев А.В., Гулиев Р.Б. Применение разработанного рефрактометрического датчика в пищевом производстве // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 2. С. 1–12. DOI: 10.25791/pribor.2.2021.1237
15. Майоров Е.Е., Курлов В.В., Громов О.В., Гулиев Р.Б., Дагаев А.В., Таюрская И.С. Применение рефрактометра для контроля напитков торговой марки "LIPTON" // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2021. Вып.6. С. 170–175. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-170-175
16. Михальчевский Ю.Ю., Костин Г.А., Майоров Е.Е., Арефьев В.В., Гулиев Р.Б., Дагаев А.В. Использование рефрактометрии для обеспечения предполетной подготовки воздушных судов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 10. С. 1–7. DOI: 10.25791/pribor.10.2021.1294
17. Михальчевский Ю.Ю., Костин Г.А., Майоров Е.Е., Курлов В.В., Гулиев Р.Б., Дагаев А.В. Оптико-электронный контроль противообледенительных жидкостей для обработки воздушных судов // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2021. Вып.10. С. 170–175. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-170-175
18. Михальчевский Ю.Ю., Костин Г.А., Майоров Е.Е., Арефьев В.В., Хохлова М.В., Удахина С.В. Исследование противообледенительной жидкости оптоэлектронным рефрактометром // Научное приборостроение. 2021. Т. 31, № 4. С. 88–101. URL: <http://iairas.ru/mag/2021/abst4.php#abst7>

*Университет при Межпарламентской Ассамблее
ЕврАзЭС, Санкт-Петербург (Арефьев А.В., Гулиев Р.Б.,
Громов О.В.)*

*Санкт-Петербургский университет технологий
управления и экономики, Санкт-Петербург (Тайурская
И.С.)*

*Ивангородский гуманитарно-технический инсти-
тут (филиал) Санкт-Петербургского государствен-
ного университета аэрокосмического приборострое-
ния, г. Ивангород (Дагаев А.В.)*

Контакты: Майоров Евгений Евгеньевич,
majorov_ee@mail.ru

*Санкт-Петербургский государственный универси-
тет аэрокосмического приборостроения (ГУАП),
Санкт-Петербург (Курлов В.В., Майоров Е.Е.)*

Материал поступил в редакцию 1.04.2022

REFRACTOMETRIC MEANS OF CONTROL OF AQUEOUS SOLUTIONS OF TETRACHLOROETHYLENE

A. V. Arefiev¹, R. B. Guliyev¹, O. V. Gromov¹, A. V. Dagaev²,
V. V. Kurlov³, E. E. Maiorov³, I. S. Tayurskaya⁴

¹University at the EurAsEC inter-parliamentary Assembly, Saint Petersburg, Russia

²Ivangorodskii Humanitarian-Technical Institute (branch of) Saint Petersburg University of Aerospace
Instrumentation, Ivangorod, Russia

³Saint Petersburg state university of aerospace instrumentation (GUAP), Saint Petersburg, Russia

⁴Saint Petersburg university of management technologies and economics, Saint Petersburg, Russia

The paper a refractometric device (URL-1) for measuring the concentration dependence of the refractive index in aqueous solutions of tetrachloroethylene is considered. The presented study is relevant and promising, since the identification of optical parameters in these media is important for chemical industries. The article contains the appearance of a laboratory refractometric installation, as well as technical and operational characteristics of refractometers used in measurements. The results of measurements of the concentration dependence of the refractive index of the studied substances were obtained experimentally, which were compared with reference values from the scientific literature. The data of experimental measurements and reference values are compared with the results obtained on a K-Patents OY PR-03-M refractometer. The error of the experiment did not exceed $\Delta k \leq 0.4\%$.

Keywords: measurement error, interpolation, refractometer, refractive index, concentration, polynomial

INTRODUCTION

At present, tetrachlorethylene (perchlorethylene) and its aqueous solutions are widely used in various industries and in scientific research [1]. This chemical solvent is used in mechanical engineering, metallurgy, radio electronics, woodworking industry, as well as in the textile industry, where more than half of all produced tetrachlorethylene is used for dry cleaning of clothes [2].

To control the composition of aqueous solutions of tetrachlorethylene to meet the requirements of technical standards and conditions in industrial facilities, methods and means of refractometry can be effective-

ly used [3]. Refractometric instruments and systems for measuring substances in different aggregate states use the method of total internal reflection [4–7]. There are refractometric sensors that are mounted directly into the process flow, providing control of the composition and total consumption of the test substance [8–10].

Refractometry, as a tool for reliable, informative and high-precision measurements, should be based on quantitative data on refractive index, its temperature coefficient, and optical absorption in the operating range of temperatures and concentrations of the object under study. In the scientific literature, such information on tetrachlorethylene and its aqueous solutions is

covered to a limited extent [11–15]. The presented concentration dependences of the refractive index $n(k)$ at $\lambda = 633$ nm and $t = 20$ °C can be supplemented.

Thus, the identification of the optical properties of aqueous solutions of tetrachlorethylene in connection with the prospect of using refractometric tools to control solution composition remains an urgent task of research. It should be noted that optoelectronic automated general-purpose refractometers are not suitable for solving the problem, because they require a calibration procedure in the study of these substances. As a result, it's worthwhile to investigate the optical characteristics of tetrachlorethylene and its aqueous solutions in the laboratory.

The goal of this study is to see how well a refractometric laboratory setup works for testing tetrachlorethylene aqueous solutions.

PROBLEM FORMULATION

Refractometric technologies are of significant scientific and practical importance as a means of controlling the composition of aqueous solutions of tetrachlorethylene in various industries. Corporate consumers should be aware of the composition of the chlorine solution that is used to process a product. Sometimes the information on the composition of products contained on the label is not true. Then laboratory refractometric methods and means of monitoring liquid-phase media come to the rescue.

In this work, it was necessary to experimentally study the concentration dependence of the refractive index of aqueous solutions of tetrachlorethylene at $k = 0$ –16%, $\lambda = 633$ nm, $t = 20$ °C.

Obtaining optical parameters of these solutions is of interest to both manufacturers and consumers of the products.

Samples for the study were provided by the network of Lotos urgent dry cleaners (Saint Petersburg, Russia).

OBJECTS AND METHOD OF INVESTIGATION

Tetrachlorethylene and distilled water were the initial components for the preparation of the studied aqueous solutions. According to the requirements in the textile industry for processing and finishing of products, the concentration of solutions was $k = 0$ –16%. When preparing solutions, certified electronic scales with a measurement error of ± 100 mg for a working scale of up to 500 g were used.

The concentration dependence of the refractive index $n(k)$ was measured using a laboratory refractometric setup with a commercial УРЛ-1 (Russia) refractometer and an MLW U2 thermostat [16–18]. Fig. 1

shows the appearance of the laboratory setup. The refractometric setup allowed for measuring the refractive index of aqueous solutions with concentrations from 0 to 16% under standard conditions of $t = 20$ °C at a wavelength of $\lambda = 633$ nm.

Fig. 1. Laboratory refractometric setup for measuring the concentration dependence of the refractive index in tetrachlorethylene aqueous solutions.
1 — refractometer УРЛ-1, 2 — thermostat MLW U2

The total measurement error of the refractive index $n(k)$ in the studied concentration range $k = 0$ –16% was no worse than $\Delta n = 0.0004$. This error was determined both by the measurement error of the УРЛ-1 refractometer (up to $\Delta n = 0.0002$) and by the solution concentration error ($\Delta k = 0.0002$). The performed measurements demonstrated temperature stability under thermostating conditions ($\Delta t = 1$ °C for $t = 10$ –60 °C).

For independent verification of the measurement results, a PR-03-M automated refractometer (K-Patents OY, Finland) equipped with a spinel prism was used. This enabled to perform measurements at $\lambda = 589.3$ nm, $t = 20$ °C with an error of $\Delta n = 0.0002$.

The technical and operational characteristics of the УРЛ-1 laboratory refractometer and the PR-03-M automated refractometer are given in Tab. 1.

Tab. 1. Technical and operational characteristics of the laboratory refractometric set-up with УРЛ-1 and refractometer PR-03-M

EXPERIMENTAL RESULTS

In this work, experimental results of measurements of the concentration dependence of the refractive index of aqueous solutions of tetrachlorethylene ($n_{\text{эклп}}$) were obtained on УРЛ-1.

They were to be compared with the values obtained on a K-Patents OY PR-03-M ($n_{\text{К-р}}$) refractometer.

The experimental data were represented by a polynomial of the third degree:

$$n_{\text{эклп}} = - 4.9325 \cdot 10^{-8} k^3 + 5.7102 \cdot 10^{-6} k^2 + 0.001312 \cdot k - 1.3330.$$

Tab. 2 shows the results of measurements obtained on a laboratory refractometric setup with commercial УРЛ-1 at $\lambda = 633$ nm, $t = 20$ °C and on a PR-03-M refractometer (K-Patents OY) at $\lambda = 589.3$ nm, $t = 20$ °C.

Tab. 2. Experimental results of measurements of the refractive index of aqueous solutions of tetrachlorethylene

The dependence $k(n)$ is of significance in practical refractometry. Typically, this dependence is used to calibrate refractometers for various purposes. For aqueous solutions of tetrachlorethylene, these dependencies are shown in Fig. 2.

Fig. 2. Results of determining the concentration of aqueous solutions of tetrachlorethylene depending on the refractive index.
a: dots — experiment, solid line — calculation;
б — convergence of experiment ($k_{\text{эксп}}$) and reference ($k_{\text{к-р}}$)

Dependence $k(n)$ in Fig. 2, a, was interpolated by a polynomial:

$$k_{\text{эксп}} = 16002 \cdot n_{\text{эксп}}^3 - 66584 \cdot n_{\text{эксп}}^2 + 92571 \cdot n_{\text{эксп}} - 42987.$$

The obtained measurement errors did not exceed $\Delta k \leq 0.3 \%$ for $k_{\text{эксп}}(n_{\text{эксп}})$ and $\Delta k \leq 0.2 \%$ for $k_{\text{к-р}}(n_{\text{к-р}})$. The discrepancy between the results from the two instruments is shown in Fig. 2, б.

In general, the obtained results meet the requirements of industrial refractometry.

CONCLUSION

If high measurement accuracy is required optoelectronic devices and complexes are used to control the objects under study. In this work, experimental studies of aqueous solutions of tetrachlorethylene were carried out using various refractometric instruments to collect the refractometric parameters of these substances. Domestic refractometric technologies are proved to be not inferior to foreign ones, primarily in terms of the accuracy of measurements of chemicals and their solutions.

The results obtained in this article may be useful for chemical manufacturers, as well as for developers of modern refractometric instruments and sensors.

REFERENCES

1. Ioffe B.V. *Refraktometricheskie metody analiza v khimii* [Refractometric methods of analysis in chemistry]. Lenin-grad, Khimiya Publ., 1983. 352 p. (In Russ.).
2. VAISALA: In-line process refractometers. URL: http://www.kpatents.com/dd23_pulp.php (accessed: 22.03.2022).
3. METTLER TOLEDO: *Refracto 30GS. Portativnyi refraktometr s rasshirennym diapazonom izmerenii* [Refracto

30GS. Portable refractometer with extended measurement range]. (In Russ.).

URL: <https://www.mt.com/ru/ru/home.html> (accessed: 12.03.2022).

4. Akmarov K.A., Artem'ev V.V., Belov N.P., Lapshov S.N., Maierov E.E., Patyaev A.Yu., Smirnov A.V., Sherstobitova A.S., Shishova K.A., Yas'kov A.D. [Industrial refractometers and their application for the control of chemical production]. *Pribory [Instrumentations]*, 2012, no. 4 (142), pp. 1–8. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17718398>
5. Maierov E.E. [Study of the optical properties of glycol-based liquid-phase environments]. *Nauchnoe obozrenie [Scientific review]*, 2013, no. 4, pp. 166–176. (In Russ.).
6. Maierov E.E., Mashek A.C., Prokopenko V.T., Khaydarov G.G. [Refractometric technologies and their application for control of diffusively reflecting objects in manufacturing cycle]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 4: Fizika, khimiya [Vestnik SPbSU. Physics and Chemistry]*, 2013, Iss. 4, pp. 24–31. (In Russ.).
7. Belov N.P., Lapshov S.N., Sherstobitova A.S., Yas'kov A.D., Maierov E.E. [Optical properties of green liquors and the use of commercial refractometry to monitor their composition in the production of sulfate cellulose]. *Opticheskii zhurnal [Journal of Optical Technology]*, 2014, vol. 81, no. 1, pp. 53–58.
DOI: 10.1364/JOT.81.000039 (In Russ.).
8. Belov N.P., Lapshov S.N., Maierov E.E., Sherstobitova A.S., Yas'kov A.D. [Optical properties of black liquor and refractometric methods for monitoring the solid residue concentration in sulfate cellulose production]. *Zurnal prikladnoy spektroskopii [Journal of Applied Spectroscopy]*, 2012, vol. 79, no. 3, pp. 514–516.
DOI: 10.1007/s10812-012-9630-2 (In Russ.).
9. Maierov E.E., Mashek A.C., Tsygankova G.A., Khaidarov A.G., Abrahamyan V.K., Zaitsev Yu.E. [Development of optoelectronic refractometric device for monitoring the composition of aqueous solutions of glycols]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics]*, 2016, no. 3, pp. 33–41. (In Russ.).
10. Maierov E.E., Mashek A.C., Tsygankova G.A., Khokhlova M.V., Kurlov A.V., Chernyak T.A., Fadeev A.O. [Computer simulation of the optical spectrum of dimethylsulfoxide ($\text{CH}_3)_2\text{SO}$ and dimethylsulfone ($\text{CH}_3)_2\text{SO}_2$ or refractometric means of control]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics]*, 2016, no. 12, pp. 35–41. (In Russ.).
11. Maierov E.E., Mashek A.C., Tsygankova G.A., Khokhlova M.V., Kurlov A.V., Chernyak T.A., Kirik D.I., Kapralov D.D., Zharkova T.V. [The possibility of using the automated refractometry methods and means for measuring the composition of the green liquor in the production of sulphate pulp]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics]*, 2017, no. 1, pp. 42–49. (In Russ.).
12. Gromov O.V., Maierov E.E., Tayurskaya I.S., Mashek A.C., Tsygankova G.A., Udakhina S.V. [Experimental study of the developed automated refractometer for the

- control of chemically aggressive media]. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki* [Scientific Review. Technical science], 2021, no. 3, pp. 21–26. DOI: 10.17513/srts.1352 (In Russ.).
13. Maiorov E.E., Turovskaya M.S., Khokhlova M.V., Shalamay L.I., Konstantinova A.A., Dagaev A.V., Guliyev R.B., Tayurskaya I.S. [The application of refractometry using a goniometer to measure the composition of the liquor in the production of kraft pulp]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya Tula State University. Technical sciences], 2020, no. 2, pp. 129–139. (In Russ.).
 14. Kurlov V.V., Gromov O.V., Tayurskaya I.S., Maiorov E.E., Arefiev A.V., Guliyev R.B. [Application of the developed refractometric sensor in food production]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], 2021, no. 2, pp. 1–12. DOI: 10.25791/pribor.2.2021.1237 (In Russ.).
 15. Maiorov E.E., Kurlov V.V., Gromov O.V., Guliyev R.B., Dagaev A.V., Tayurskaya I.S. The use of a refractometer for monitoring drinks of the "LIPTON" trademark. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya Tula State University. Technical sciences], 2021, no. 6, pp. 170–175. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-170-175 (In Russ.).
 16. Mikhachevsky Yu.Yu., Kostin G.A., Maiorov E.E., Arefiev A.V., Guliyev R.B., Dagaev A.V. [The use of refractometry to ensure the pre-flight preparation of aircraft]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], 2021, no. 10, pp. 1–7. DOI: 10.25791/pribor.10.2021.1294 (In Russ.).
 17. Mikhachevsky Yu.Yu., Kostin G.A., Maiorov E.E., Kurlov V.V., Guliyev R.B., Dagaev A.V. [Optoelectronic control of de-icing liquids for aircraft handling]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya Tula State University. Technical sciences], 2021, no. 10, pp. 170–175. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-170-175 (In Russ.).
 18. Mikhachevsky Y.Y., Kostin G.A., Maiorov E.E., Arefiev A.V., Khokhlova M.V., Udachina S.V. [Study of de-icing liquid using an optoelectronic refractometer]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Scientific Instrumentation], 2021, vol. 31, no. 4, pp. 88–101. DOI: 10.18358/np-31-4-i88101 (In Russ.).

Contacts: Maiorov Evgeniy Evgen'evich,
majorov_ee@mail.ru

Article received by the editorial office on 1.04.2022