

Физическая химия

Научная статья

УДК 544.25 + 544.344

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
N(*n*-АЛКИЛОКСИБЕНЗИЛИДЕН)-*n*'-ТОЛУИДИНОВ С РАСТВОРИТЕЛЯМИ**

Ксения Борисовна Гуревич, Сергей Михайлович Пестов*

*Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова,
кафедра физической химии, Москва, Россия*

ИНФОРМАЦИЯ

История статьи:

Поступила 9.01.2024

Одобрена 29.01.2024

Принята 8.02.2024

Ключевые слова:

жидкие кристаллы,
N(*n*-алкилоксибен-
зилиден)-*n*'-толуидины,
политермы растворимости,
параметры растворимости
Гильдебранда

АННОТАЦИЯ

Исследованы политермы растворимости нематических (смектико-нематических) N(*n*-алкилоксибензилиден)-*n*'-толуидинов (*n*-алкил = C₄H₉, C₉H₁₉, C₁₀H₂₁) в органических растворителях. Используются методы растворимости, термического и визуально-политермического анализа. Определены энтальпии растворимости этих мезогенов в 8 растворителях (*n*-гексан, *n*-гептан, бензол, *n*-ксилол, циклогексан, метилциклогексан, этанол, *n*-пропанол). Для расчета политерм растворимости предложено использовать термодинамические методы, основанные на параметрах растворимости Гильдебранда. Преимуществом предложенной модели является использование минимума экспериментальной информации для ЖК (энтальпия и температура плавления чистого мезогена) и структурной формулы (групповые вклады).

DOI:

10.18083/LCAppl.2024.1.50

Для цитирования:

Гуревич К. Б., Пестов С. М. Термодинамическое описание систем жидкокристаллических N(*n*-алкилоксибензилиден)-*n*'-толуидинов с растворителями // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2024. Т. 24, № 1. С. 50–59.

*Адрес для переписки: pestovsm@yandex.ru

© Гуревич К. Б., Пестов С. М., 2024

Physical Chemistry

Research Article

**THERMODYNAMIC DESCRIPTION OF LIQUID CRYSTALLINE
N(*p*-n-ALKYLOXYBENZYLIDEN)-*p*'-TOLUIDINES WITH ORGANIC SOLVENTS**

Kseniya B. Gurevich, Sergei M. Pestov*

*Russian Technological University (RTU MIREA).
M. V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies,
Department of physical chemistry, Moscow, Russia*

ARTICLE INFO:

ABSTRACT

Article history:

Received 9 January 2024
Approved 29 January 2024
Accepted 8 February 2024

Key words:

liquid crystals,
N(*p*-n-alkyloxybenzyliden)-
p'-toluidenes,
solubility curves,
Hildebrand solubility
parameters

Solubility polytherms of nematic (smectic-nematic) N(*p*-n-alkyloxybenzyliden)-*p*'-toluidenes (n-alkyl = C₄H₉, C₉H₁₉, C₁₀H₂₁) in organic solvents have been studied. Thermal analysis, visual-polythermal and solubility methods were used. The solution enthalpies of these mesogens in 8 solvents (n-hexane, n-heptane, benzene, *p*-xylene, cyclohexane, methylcyclohexane, ethanol, n-propanol) were determined. To calculate the solubility polytherms, thermodynamic methods based on the Hildebrand solubility parameters were used. The advantage of the proposed calculation method is that it requires a minimum of experimental parameters (fusion enthalpy and melting temperature of pure mesogen) and the data obtained from the structural formula (group contribution increments) of a mesogen to evaluate its solubility polytherms.

DOI:

10.18083/LCAppl.2024.1.50

For citation:

Gurevich K. B., Pestov S. M. Thermodynamic description of liquid crystalline N(*p*-n-alkyloxybenzyliden)-*p*'-toluidines with organic solvents. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2024, 24 (1), 50–59 (in Russ.).

*Corresponding author: pestovsm@yandex.ru

© Gurevich K. B., Pestov S. M., 2024

Введение

Жидкие кристаллы (ЖК) применяют в оптоэлектронике с 1973 года, после разработки первых низкоплавких жидкокристаллических материалов (ЖКМ) на основе бензилиденанилинов. Смеси на их основе были успешно использованы в устройствах отображения информации (калькуляторы, часы, приборы). Полученные ЖКМ сохраняли мезофазу даже в области отрицательных температур, (см. напр., [1, 2]). Успехи в области дисплейных технологий [3–6], достигнутые к концу XX века, во многом были обусловлены достижениями в синтезе и успешным внедрением смесей из производных цианобифенилов (группа Дж. Грея), фенилциклогексанов (Р. Айденшинк), фторированных мезогенов. В последние годы активно разрабатываются новые направления, не связанные с дисплеями, например, в области биологии, фармацевтики, биосенсорики [7–10]. Поэтому возникает необходимость создания доступных технологий синтеза индивидуальных ЖК и их очистки. Для разработки ЖКМ на их основе требуется информация о взаимодействии компонентов, их совместимости, возможности возникновения расслаивания или индуцированных фаз.

Традиционно очистку мезогенов проводят перекристаллизацией из органического растворителя (см., напр., [11, 12]). В большинстве патентов для финишной стадии очистки традиционно использовали спирты и алканы, которые, как правило, образуют монотектику в широком диапазоне составов с большинством очищаемых мезогенов [11]. Это приводит к большому расходу растворителя (высокое значение Е-фактора, сопоставимое с фармацевтическим производством) и низкой эффективности очистки.

В последние годы было опубликовано много работ, посвященных исследованию смесей с мезогенным компонентом, имеющих тенденцию к расслаиванию в жидком состоянии [13–15], и систем ЖК – растворитель [16–19]. При разработке ЖКМ в качестве основного подхода до сих пор используют расчеты эвтектических составов по модели идеального раствора (см. напр., [20, 21]), которые дают заметные отклонения от эксперимента даже для систем из гомологов. Таким образом, задача термодинамического описания систем, содержащих мезогены, является практически значимой.

Для описания процессов выделения и очистки сложных органических веществ, содержащих несколько функциональных групп (в том числе используемых в фармакологии), стали широко использовать термодинамические модели, основанные на параметрах растворимости (ПР) Гильдебранда (δ_i) и Хансена [22–25]. В основе данного подхода лежит положение, что лучшим является растворитель, у которого наиболее близкое к очищаемому веществу значение ПР [26–28]. При этом повышается эффективность очистки и уменьшается Е-фактор. Для ЖК впервые параметр растворимости Гильдебранда был упомянут в статье Дэвиса и Портера [29], в которой был предложен *n*-пентанол для очистки холестерилацетата на основании близости значений ПР. Позже на тему расчетов с использованием ПР Гильдебранда были опубликованы работы [30–33]. В работе [30] были проведены расчеты в рамках модели регулярных растворов для оценки растворимости дихроичных красителей в ЖКМ. В работах [19, 31] были обнаружены ограничения в использовании δ_i для прогноза расслаивания в системах цианобифенилы – спирты, которые могли быть устранены при использовании полярных составляющих и вкладов с образованием водородных связей ПР Хансена.

Эксперимент

В качестве мезогенов выбран один из традиционных классов: *N*(*n*-алкилоксибензилиден)-*n*'-толуидины (АОВТ) с общей формулой R-O-C₆H₄-CH=N-C₆H₄-CH₃, где R = C₄H₉ (АОВТ-4), C₉H₁₉ (АОВТ-9), C₁₀H₂₁ (АОВТ-10) квалификации «чда». Выбор этого класса мезогенов обусловлен достаточно простым и удобным синтезом и наличием полимезоморфизма, что делает эти вещества интересными для новых областей применения.

Температуры фазовых переходов в индивидуальных ЖК представлены в табл. 1. Измерения проведены методами дифференциального термического анализа и поляризационной оптической микроскопии. В кристаллических образцах АОВТ-10 реализовалась высокотемпературная кристаллическая форма. Чистоту мезогенов оценивали методом криоскопии [11], при этом суммарное содержание примесей в них не превышало 1 мол. %.

В данной работе были изучены политермы растворимости АОВТ с органическими растворителями разной полярности: *n*-алканами (*n*-C₆H₁₄,

н-С₇H₁₆), циклоалканами (С₆H₁₂, С₆H₁₁-СН₃), ароматическими соединениями (С₆H₆, *para*-С₈H₁₀), спиртами (С₂H₅ОН, 1-С₃H₇ОН). Дополнительная очистка растворителей проведена в соответствии

со стандартными методиками, описанными в [34]. Ранее в работе [35] были получены данные по растворимости некоторых АОВТ в растворителях при температуре 298 К.

Таблица 1. Свойства жидкокристаллических соединений

Table 1. Properties of the studied liquid crystals substances

Мезоген	Температуры фазовых переходов, °С [36]	Энтальпия плавления, кДж/моль
Н-36 (АОВТ-4)	Cr 65,0 S _G 45,0 N 72,0 Iso Cr 63,2 N 72,1 Iso	18,1
Н-58 (АОВТ-9)	Cr 72,0 S _B 64,0 S _A 73,0 N 77,5 Iso Cr 71,7 S_A 73,0 N 77,4 Iso	23,7
Н-59 (АОВТ-10)	Cr 52 S _B 65 S _A 77 N 80 Iso Cr 69,2 S_A 76,8 N 78,2 Iso	36,1

Примечания: полужирным выделены собственные экспериментальные результаты

Результаты и их обсуждение

На рисунках 1–3 приведены экспериментальные данные по растворимости ЖК, которые представлены в спрямляющих координатах:

$-\ln X_1 = a + b/T$, $b = -\Delta_p H/R$, где X_1 – мольная доля мезогена в насыщенном изотропном растворе при температуре T [К], $R = 8,314$ [Дж моль⁻¹К⁻¹], $\Delta_p H$ – энтальпия растворения, a и b – коэффициенты линейной зависимости.

Таблица 2. Энтальпии растворения

Table 2. Solution enthalpies

ЖК	Растворитель	a	b	R^2	$\Delta_p H^0$, кДж/моль	$\Delta \Delta_p H$, кДж/моль
N-(<i>n</i> -бутилоксибензилиден)- <i>n</i> '-толуидин	н-гексан	18,46	-6569,6	0,9895	54,6	3,5
	н-гептан	12,92	-4958,9	0,9856	41,2	0,1
	бензол	9,44	-3209,5	0,9756	26,7	3,7
	<i>n</i> -ксилол	10,49	-3555,2	0,9892	29,6	3,5
	этанол	13,79	-5432,0	0,9707	45,2	5,0
	1-пропанол	13,28	-5129,0	0,9903	42,6	3,2
	циклогексан	23,45	-7766,2	0,9920	64,6	3,3
	метилциклогексан	24,21	-8314,1	0,9946	67,6	3,8
N-(<i>n</i> -нонилоксибензилиден)- <i>n</i> '-толуидин	н-гексан	22,10	-8018,8	0,9949	66,7	2,4
	н-гептан	15,14	-5970,9	0,9819	49,6	0,2
	бензол	16,385	-5600,9	0,9994	46,6	0,8
	<i>n</i> -ксилол	11,05	-4072,4	0,9884	33,9	2,7
	этанол	18,19	-7382,9	0,9791	61,4	6,7
	1-пропанол	12,80	-5583,4	0,9961	46,4	2,5
	циклогексан	20,17	-7134,9	0,9914	59,3	3,4
	метилциклогексан	24,64	-8515,3	0,9909	70,8	4,0
N-(<i>n</i> -децилоксибензилиден)- <i>n</i> '-толуидин	н-гексан	19,915	-7317,1	0,9843	60,8	3,6
	н-гептан	18,51	-6855,5	0,9912	57,0	3,4
	бензол	16,82	-5671,7	0,9989	47,2	1,1
	<i>n</i> -ксилол	13,71	-4792,5	0,9906	39,8	3,4
	этанол	17,30	-7116,9	0,9856	59,2	5,0
	1-пропанол	12,79	-5563,3	0,9901	46,3	3,0
	циклогексан	23,915	-8156,8	0,9964	67,8	2,5
	метилциклогексан	24,21	-8314,1	0,9946	69,1	2,9

Примечание: $\Delta_p H^0$ – энтальпия растворения, $\Delta \Delta_p H$ – погрешность ее определения, R^2 – коэффициент корреляции

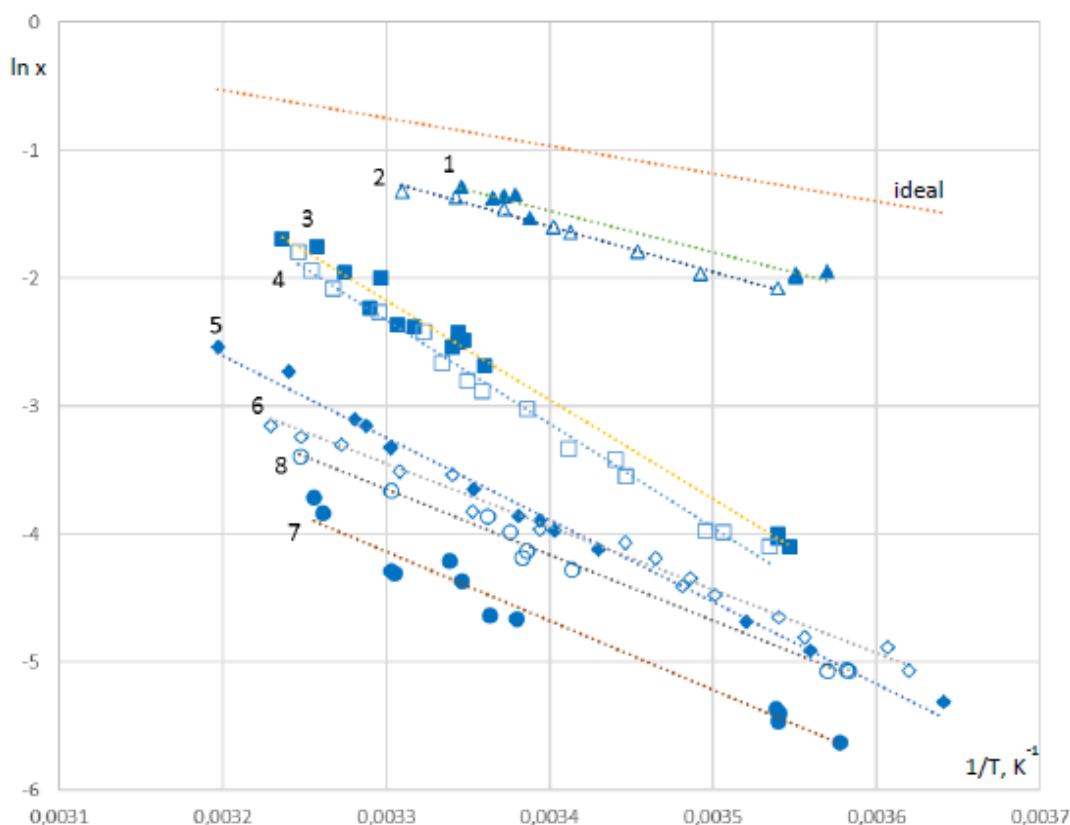


Рис. 1. Растворимость *N*-(*p*-*n*-бутилоксибензилиден)-*p*'-толуидина в растворителях: 1 – бензол, 2 – *p*-ксилол, 3 – циклогексан, 4 – метилциклогексан, 5 – *n*-гексан, 6 – *n*-гептан, 7 – этанол, 8 – 1-пропанол

Fig. 1. Solubility of *N*-(*p*-*n*-butyloxybenzyliden)-*p*'-toluidine in solvents: 1 – benzene, 2 – *p*-xylene, 3 – cyclohexane, 4 – methylcyclohexane, 5 – *n*-hexane, 6 – *n*-heptane, 7 – ethanol, 8 – 1-propanol

Во всех 24 рассмотренных системах энтальпия растворения (табл. 2) значительно превышает энтальпию плавления ЖК (см. табл. 1); для алканов и спиртов она уменьшается с ростом длины алкильной цепи. Как следует из рис. 1–3, мезогены лучше растворяются в ароматических растворителях и хуже всего – в алканах и спиртах, т.е. в растворителях, традиционно выбираемых для перекристаллизации.

Во всех изученных системах растворимость ниже, чем рассчитанные значения в соответствии с моделью идеального раствора (*ideal*). Это значит, что в данных системах наблюдаются положительные отклонения от идеальности. Аналогичный результат был получен ранее и для большинства изученных систем ЖК – растворители (см., напр., [11, 12, 31]). Значит, для их описания допустим подход

с использованием параметра растворимости Гильдебранда, который рассчитывается при температуре 298 К по следующей формуле:

$$\delta_i = ((\Delta_v H_{298}^o - R \cdot T) / V_{298})^{0.5}.$$

Параметры δ_i для ЖК приведены в табл. 3. Энтальпия испарения ЖК ($\Delta_v H_{298}^o$) определена по групповой схеме Лебедева [37]. Мольный объем при 298 К (V_{298}) получен экстраполяцией плотности переохлажденной изотропной жидкости с помощью данных, взятых из [38]. Обычно для ЖК расчет по схеме Федорса [39] приводит к заниженным значениям мольного объема, как получилось в работе [33], хотя значения δ_i , полученные разными методами, в целом близки. ПР Гильдебранда и мольные объемы растворителей для проведения расчетов извлечены из [26, 27].

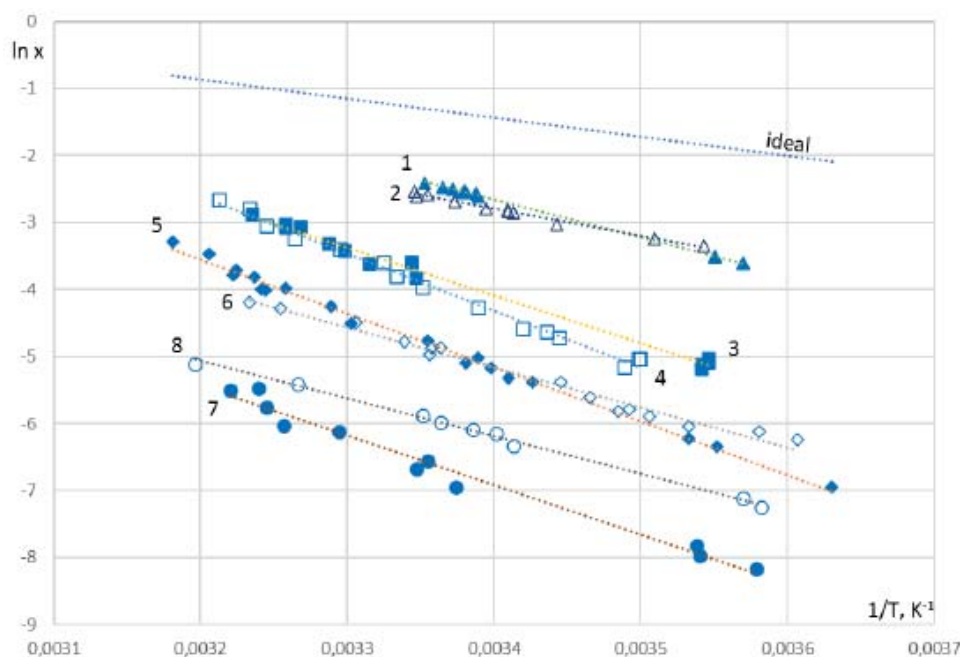


Рис. 2. Растворимость *N*-(*p*-*n*-нонилоксибензилиден)-*p*'-толуидина в растворителях: 1 – бензол, 2 – *p*-ксилол, 3 – циклогексан, 4 – метилциклогексан, 5 – *n*-гексан, 6 – *n*-гептан, 7 – этанол, 8 – 1-пропанол

Fig. 2. Solubility of *N*-(*p*-*n*-nonyloxybenzylidene)-*p*'-toluidine in solvents: 1 – benzene, 2 – *p*-xylene, 3 – cyclohexane, 4 – methylcyclohexane, 5 – *n*-hexane, 6 – *n*-heptane, 7 – ethanol, 8 – 1-propanol

Таблица 3 Термодинамические свойства мезогенов

Table 3. Thermodynamic parameters of mesogens

Мезоген	По данным из [38]	Расчет по схеме Лебедева [37]		Расчет по схеме Федорса [39]		
	V_{298} , см ³ /моль	$\Delta_v H_{298}$, кДж/моль	δ_1 , МПа ^{0,5}	V_{298} , см ³ /моль	$\Delta_v H_{298}$, кДж/моль	δ_1 , МПа ^{0,5}
АОВТ-4	268,4	106,0	19,6	242,4	109,9	21,1
АОВТ-9	345,5	129,8	19,2	322,9	134,6	20,2
АОВТ-10	356,3	134,8	19,1	339,0	139,5	20,1

Для расчета политерм растворимости мезогенов (обозначим как компонент 1) выразим парциальную мольную избыточную энергию Гиббса ЖК-компонента (G_1^E) в рамках модели регулярных растворов:

$$-RT \cdot \ln x_1 = \Delta_{пл} H_1^0 \cdot (1 - T/T_{пл,1}) + G_1^E;$$

$$G_1^E = V_1 \phi_2^2 (\delta_1 - \delta_2)^2,$$

где $\Delta_{пл} H_1^0$, $T_{пл,1}$, V_1 – энтальпия и температура плавления, мольный объем чистого мезогена, x_1 – мольная доля ЖК, ϕ_2 – объемная доля растворителя.

На рисунке 3, а, б приведены экспериментальные и расчетные политермы растворимости АОВТ-10. Соответствие расчетных и экспериментальных значений x_1 можно оценить как хорошее (средняя относительная погрешность – порядка 35 % при растворимости ЖК $x_1 < 5$ мол. %; худшее совпадение оказалось для системы АОВТ-10–C₂H₅OH – относительная погрешность порядка 82 %, хотя это и значительно меньше средней относительной величины 11 800 %, полученное при расчете по модели идеальных растворов). ПР δ_2 для

бензола (18,8) и *n*-ксилола (18,0) находятся ближе к значениям ЖК, чем δ_2 алканов (14,9 и 15,1) и циклоалканов (16,8 и 16,0), что объясняет более высокую растворимость ЖК в них. У спиртов зна-

чения δ_2 (26,0 и 24,6) значительно выше, чем δ_1 , что также объясняет более низкую растворимость ЖК в них.

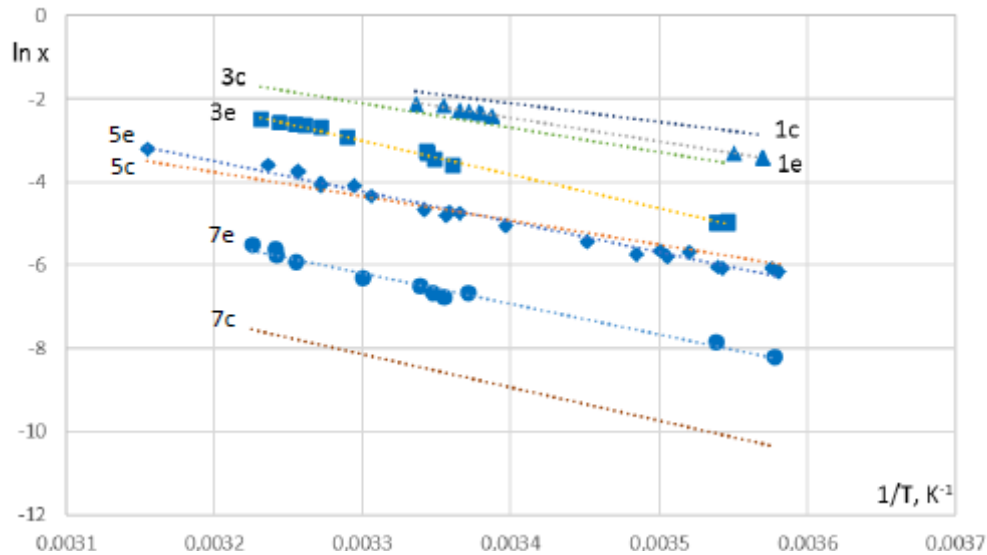


Рис. 3, а. Растворимость *N*-(*p*-*n*-децилоксибензилиден)-*p*'-толуидина в растворителях: 1 – бензол, 3 – циклогексан, 5 – *n*-гексан, 7 – этанол. Экспериментальные данные – 1е, 3е, 5е, 7е, расчетные значения – 1с, 3с, 5с, 7с

Fig. 3, a. Solubility of *N*-(*p*-*n*-decyloxybenzylidene)-*p*'-toluidine in solvents: 1 – benzene, 3 – cyclohexane, 5 – *n*-hexane, 7 – ethanol. Experimental data – 1e, 3e, 5e, 7e, calculated data – 1c, 3c, 5c, 7c

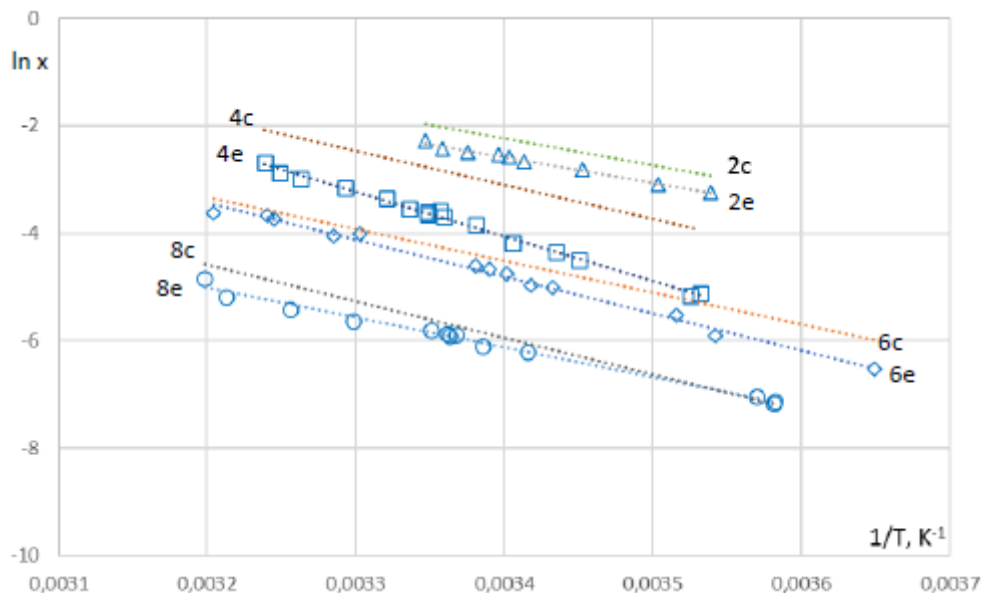


Рис. 3, б. Растворимость *N*-(*p*-*n*-децилоксибензилиден)-*p*'-толуидина в растворителях: 2 – *p*-ксилол, 4 – метилциклогексан, 6 – *n*-гептан, 8 – 1-пропанол. Экспериментальные данные – 2е, 4е, 6е, 8е, расчетные значения – 2с, 4с, 6с, 8с

Fig. 3, b. Solubility of *N*-(*p*-*n*-decyloxybenzylidene)-*p*'-toluidine in solvents: 2 – *p*-xylene, 4 – methylcyclohexane, 6 – *n*-heptane, 8 – 1-propanol. Experimental data – 2e, 4e, 6e, 8e, calculated data – 2c, 4c, 6c, 8c

Выводы

1. Изучены 24 полимеры растворимости $N(n\text{-алкилоксибензилиден})\text{-}n'\text{-толуидинов}$ (АОВТ, n -алкил = бутил, нонил, децил) в восьми растворителях разных классов. Результаты представлены в виде линейной зависимости: $-\ln X_1 = a + b/T$. Определены энтальпии растворения мезогенов. Во всех изученных системах установлены положительные отклонения от модели идеального раствора. Лучшая растворимость АОВТ – в ароматических растворителях.
2. Показана применимость модели регулярных растворов с использованием параметра растворимости Гильдебранда для термодинамического описания систем $N(n\text{-алкилоксибензилиден})\text{-}n'\text{-толуидинов}$ с немезогенами и расчета поли-терм растворимости. Достоинством используемой нами модели является привлечение минимума экспериментальной информации для ЖК (энтальпия и температура плавления чистого мезогена) и структурной формулы, что позволяет проводить расчет остальных параметров по групповой схеме.
3. Предложенная схема расчета может быть использована для экспресс-методики подбора растворителя при очистке мезогенов перекристаллизацией из раствора.

Благодарность: работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА, получившего поддержку Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Соглашения № 075-15-2021-689 от 01.09.2021.

Acknowledgment: the work was performed using the equipment of the Center for Shared Use of the RTU MIREA, supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 075-15-2021-689 dated 01.09.2021).

Список источников / References

1. Cristaldi D.J.R., Pennisi S., Pulvirenti F. Liquid crystal display drivers techniques and circuits. New York : Springer, 2009. 295 p.
DOI: 10.1007/978-90-481-2255-4.
2. The liquid crystal display story. 50 Years of liquid crystal R&D that lead. The way to the future / Ed. by M. Koide. Tokyo: Springer, 2014. 426 p.
DOI: 10.1007/978-4-431-54859-1.
3. Raynes P. TN, STN, and guest–host liquid crystal display devices. *Handbook of Liquid Crystals*, 2 edition / Ed. by J.W. Goodby, P.J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H.F. Gleeson, P. Raynes. Weinheim : Wiley-VCH, 2014, **8**, Ch. 1, 1–18.
DOI: 10.1002/9783527671403.hlc124.
4. Kirsch P. Modern fluoroorganic chemistry. Synthesis, reactivity, applications. Chichester : Wiley-VCH, 2004, 215–237.
5. Lueder E., Knoll P., Lee S.H. Liquid crystal displays – addressing schemes and electro-optical effects, 3 edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2022, 609 p.
6. Chigrinov V.G. Photoalignment and photopatterning. New liquid crystal technology for displays and photonics. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.*, 2020, **15** (2), 7–20.
DOI: 10.32362/2410-6593-2020-15-2-7-20.
7. Liquid crystals: New perspectives / Ed. by P. Pieranski, M.H. Godinho. Hoboken : ISTE Ltd, John Wiley & Sons, 2021, 354 p.
8. Mo J., Milleret G., Nagaraj M. Liquid crystal nanoparticles for commercial drug delivery. *Liq. Cryst. Rev.*, 2017, **5** (2), 69–85.
DOI: 10.1080/21680396.2017.1361874.
9. Sargazi M., Linford M.R., Kaykhani M. Liquid crystals in analytical chemistry: A review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2018, 243–255.
DOI: 10.1080/10408347.2018.1512399.
10. Wang Z., Xu T.-H., Noel A.J.G., Chen Yu.Ch., Lu G. Applications of liquid crystals in biosensing. *Soft Matter.*, 2021, **17** (18), 4675–4702.
DOI: 10.1039/d0sm02088e.
11. Молочко В. А., Пестов С. М. Фазовые равновесия и термодинамика систем с жидкими кристаллами. М.: МИТХТ, 2003. 242 с. [Molochko V.A., Pestov S.M. Phase equilibria and thermodynamics of systems with liquid crystals. Moscow : Mosk. Inst. Tonkoi Khim. Tekhnol., 2003, 242 p. (in Russ.)].
12. Пестов С. М., Климова Э. В., Серафимов Л. А. Термодинамическое моделирование систем жидкий кристалл – немезоген в приближении модели регулярных растворов // *Теоретические основы химической технологии*. 2007. Т. 41, № 1. С. 94–98. [Pestov S.M., Klimova E.V. Serafimov L.A. Thermodynamic modelling of liquid crystal - nonmesogen systems in the approximation of the theory of regular solutions. *Theor. Found. Chem. Eng.*, 2007, **41** (1), 91–95.
DOI: 10.1134/S0040579507010101].
13. Reyes C.G., Baller J., Araki T., Lagerwall J.P.F. Isotropic–isotropic phase separation and spinodal decomposition in liquid crystal–solvent mixtures. *Soft Matter.*, 2019, **15**, 6044–6054. DOI: 10.1039/c9sm00921c.
14. Serrano L.A., Fornerod M.J., Yang Y., Gaisfordb S., Stellacci F., Guldin S. Phase behaviour and applications of a binary liquid mixture of methanol and a thermotropic liquid crystal. *Soft Matter.*, 2018, **14**, 4615–4620, DOI: 10.1039/c8sm00327k.

15. Kalabiński J., Drozd-Rzoska A., Rzoska S.J. Phase equilibria and critical behavior in nematogenic MBBA – isooctane monotectic-type mixtures. *Int. J. Mol. Sci.*, 2023, **24**, 2065. DOI: 10.3390/ijms24032065.
16. Ullrich B., Ilska E., Hoehn N., Vollmer D. Long range particle transport in liquid crystal – alkane mixtures. *Progr. Colloid. Polym. Sci.*, 2006, **133**, 142–146. DOI: 10.1007/2882_068.
17. Chen J.-W., Wang C.-R., Chou T.-R., Chen W.-T., Chao C.-Y. The *n*-alcohols liquid doping effect on the twisted nematic liquid crystals. *Displays*, 2016, **45**, 39–43. DOI: 10.1016/j.displa.2015.11.005.
18. de Groen M., Ramaker B.C., Vlugt Th.J.H., de Loos Th.W. Phase behavior of liquid crystal + CO₂ mixtures. *J. Chem. Eng. Data*, 2014, **59**, 1667–1672. DOI: 10.1021/je500124r.
19. de Groen M., Matsuda H., Vlugt Th.J.H., de Loos Th.W. Phase behavior of liquid crystals with CO₂. *Phys. Chem. B*, 2012, **116** (30), 9101–9106. DOI: 10.1021/jp303426k.
20. Dunmur D., Luckhurst G. Liquid crystals. *Springer Handbook of electronic and photonic materials*, 2 edition / Ed. by S. Kasap, P. Capper. Berlin : Springer, 2017, 917–951.
21. Raynes P. Mixed systems, phase diagrams, and eutectic mixtures. *Handbook of Liquid Crystals*, 2 edition / Ed. by J.W. Goodby, P.J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H.F. Gleeson, P. Raynes. Weinheim : Wiley-VCH, 2014, **1**, Ch. 12, 1–13. DOI: 10.1002/9783527671403.hlc016.
22. Jouyban A. Handbook of solubility data for pharmaceuticals. Boca Raton : CRC Press, 2010, 306 p.
23. Solvent systems and their selection in pharmaceuticals and biopharmaceuticals / Ed. by P. Augustijns. New York : Springer, 2007, 472 p.
24. Perez-Vega S., Ortega-Rivas E., Salmeron-Ochoa I., Sharratt P.N. A system view of solvent selection in the pharmaceutical industry: towards a sustainable choice. *Environ. Dev. Sustain.*, 2013, **15** (1), 1–21. DOI: 10.1007/s10668-012-9365-5.
25. Yoshihiro T., Kiwamu S., Takeshi F., Satoshi Y. Solubilities of organic semiconductors and nonsteroidal anti-inflammatory drugs in pure and mixed organic solvents: Measurement and modeling with hansen solubility parameter. *Chem. Eng. Data*, 2018, **63** (10), 3889–3901. DOI: 10.1021/acs.jced.8b00536.
26. Hansen solubility parameters: a user's Handbook, 2 edition. / Ed. by C. M. Hansen. Boca Raton : CRC Press, 2007. 544 p.
27. Barton A.F.M. Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters. 2 Edition. Boca Raton : CRC Press, 2000, 739 p.
28. Stefanis E., Panayiotou C. Prediction of Hansen solubility parameters with a new group-contribution method. *Int. J. Thermophys.*, 2008, **29**, 568–585. DOI: 10.1007/s10765-008-0415-z.
29. Davis G.I., Porter R.S. Some solubility characteristics of cholesteryl esters. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1970, **6**, 377–391. DOI: 10.1080/15421407008083473.
30. Foitzik J.K., Haase W. Guest-host systems with anthraquinone dyes: thermodynamic and structural features. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1987, **149**, 401–416. DOI: 10.1080/00268948708082995.
31. Pestov S.M., Molotchko V.A., Lidine R.A. Solubilité des cristaux liquides dans les solvants organiques. *Thermochimica Acta*, 1994, **236**, 131–139. DOI: 10.1016/0040-6031(94)80262-9.
32. Price G.J., Shillcock I.M. Inverse gas chromatographic measurement of solubility parameters in liquid crystalline systems. *J. Chromatogr. A.*, 2002, **964** (1–2), 199–204. DOI: 10.1016/S0021-9673(02)00651-9.
33. Araya K., Iwasaki K. Solubility parameters of liquid crystals. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2003, **392**, 49–57. DOI: 10.1080/10587250216179.
34. Armarego W.L.E. Purification of laboratory chemicals, 8 edition. Amsterdam : Butterworth Heinemann, 2017, 1176 p.
35. Pestov S.M., Yaghoubpour S. Application of the hansen solubility parameter for modelling of liquid crystal – solvent systems. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2018, **18** (2), 95–102. DOI: 10.18083/LCAppl.2018.2.95 (in Russ.).
36. Pestov S. Physical properties of liquid crystals / Ed. by V. Vill. // Landolt-Boernstein. *Numerical data and functional relationships in science and technology*. New Series. Berlin-Heidelberg : Springer, 2003, **VIII/5A**, 2054–2151.
37. Лебедев Ю. А., Мирошниченко Е. А. Термохимия парообразования органических веществ. М.: Химия, 1981. 216 с. [Lebedev Yu.A., Miroshnichenko E.A. Thermochemistry of vaporization of organic substances. Moscow : Nauka, 1981, 216 p. (in Russ.)].
38. Klopov V.I., Askarov R.A. Viscosity and density of *p*-(*n*-alkyloxy)benzylidene-*p'*-toluidines in the nematic and isotropic liquid states. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Khim. Khim. Tekhnol.* 1994, **37** (7–9), 110–114 (in Russ.).

39. Fedors R. A method for estimating both the solubility parameters and molar volumes of liquids. *Polymer Engineering and Science*, 1974, **14** (2), 147–154.
DOI: 10.1002/pen.760140211.

Вклад авторов

Гуревич К. Б. – проведение исследований, подготовка иллюстраций.

Пестов С. М. – проведение исследований, подготовка текста статьи.

Contribution of the authors

Gurevich K. B. – conducting research, preparing illustrations.

Pestov S. M. – conducting research, preparing the text of the article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Гуревич К. Б. – ORCID: 0009-0004-9182-2452

Пестов С. М. – ORCID: 0000-0003-1195-0127

Поступила 9.01.2024, одобрена 29.01.2024, принята 8.02.2024

Received 9.01.2024, approved 29.01.2024, accepted 8.02.2024