

УДК 544.25 + 544.344

С. М. Пестов, С. Ягубпур

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРА РАСТВОРИМОСТИ ХАНСЕНА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ – РАСТВОРИТЕЛЬ

Московский технологический университет,

Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова, кафедра физической химии,
пр-т Вернадского, д. 86, 119571 Москва, Россия. E-mail: pestovsm@yandex.ru

*Системы нематических (смектико-нематических) жидкокристаллических *p*-бутилоксифенил *p*'-н-алкилоксибензоатов (*n*-алкил = гексил, гептил, нонил, децил) и *p*-алкилоксибензилиден-*p*'-толуидинов (*n*-алкил = бутил, гексил, нонил) с растворителями разных классов были исследованы методами термического анализа, поляризационной микроскопии, визуально-политермического анализа и методом растворимости. Определены растворимости жидких кристаллов в органических растворителях при 298 К. Для предсказания типа фазовых диаграмм предложены термодинамические методы, основанные на параметрах растворимости Хансена, которые рассчитаны с использованием метода групповых вкладов. Предложены экспресс-схемы (треугольник Тиса, приведенный радиус) для подбора растворителей для кристаллизационной очистки мезогенов.*

Ключевые слова: жидкие кристаллы, фенилбензоаты, алкилоксибензилиден-толуидины, фазовые диаграммы, растворимость, параметр растворимости Хансена, приведенный радиус, треугольник Тиса.

DOI: 10.18083/LCAppl.2018.2.95

S. M. Pestov, S. Yaghoubpour

APPLICATION OF THE HANSEN SOLUBILITY PARAMETER FOR MODELLING OF LIQUID CRYSTAL – SOLVENT SYSTEMS

Moscow Technological University, Institute of fine chemical technologies, Department of physical chemistry,
86 Vernadskogo Pr., Moscow, 119571, Russia. E-mail: pestovsm@yandex.ru

*Systems of nematic (smectic-nematic) liquid crystalline *p*-butyloxyphenyl *p*'-*n*-alkyloxybenzoates (*n*-alkyl = hexyl, heptyl, nonyl, decyl) and *p*-*n*-alkyloxybenzyliden-*p*'-toluidenes (*n*-alkyl = butyl, hexyl, nonyl) with solvents of different classes were studied. Systems were investigated by thermal analysis, polarizing microscopy, visual-polothermal and solubility methods. Solubilities of liquid crystals in solvents at 298 K were obtained. Thermodynamic methods based on the Hansen solubility parameters were used to predict the phase diagram type. Group-contribution scheme to calculate the Hansen solubility parameters of liquid crystals was used. Express-schemes (Teas triangle, distance) for selection of solvent to purify mesogens were proposed.*

Key words: liquid crystals, phenylbenzoates, alkyloxybenzyliden-toluidenes, phase diagrams, solubility, the Hansen solubility parameter, distance, Teas triangle.

Введение

Жидкие кристаллы (ЖК) нашли широкое применение как в устройствах отображения информации (см., напр., [1–5]), так и вне сферы дисплейных технологий [6–8]. Новые области практического использования жидкокристаллических материалов (ЖКМ) нуждаются в высокочистых компонентах ЖКМ, для получения которых необходимы доступные технологии их очистки, что, в свою очередь, требует дополнительной информации о типе межмолекулярного взаимодействия компонентов.

Типичной финишной стадией очистки мезогенов является кристаллизация из органического растворителя (см., напр., [9, 10]). На практике в качестве растворителей традиционно используют спирты и алканы, которые образуют широкую область расслаивания с очищаемыми мезогенами. Это приводит к большому расходу растворителя и низкой эффективности очистки. Экспериментальное изучение, а также моделирование систем жидких кристалл – немезоген важно для определения типа взаимодействия компонентов в таких системах [9–14]. К сожалению, в материаловедении ЖКМ до сих пор доминируют подходы, основанные на расчетах по модели идеальных растворов (см., напр., [15, 16]), которые в лучшем случае адекватно описывают только бинарные системы [9].

В технологических расчетах процессов выделения и очистки сложных органических веществ широко используют термодинамические

модели, основанные на параметрах растворимости Гильдебранда и Хансена. В основе этих методов лежит положение, что лучшим является растворитель, у которого наиболее близкое к очищаемому веществу значение параметра растворимости [17–20]. В данной работе предложено использовать экспресс-схему на основе параметра растворимости Хансена для предсказания типа взаимодействия и соответственно типа фазовой диаграммы.

Эксперимент

В качестве мезогенов были выбраны традиционные классы ЖК: фенилбензоаты (**ФБ**) с общей формулой $R_1O-C_6H_4-COO-C_6H_4-O-C_4H_9$ (где C_6H_4 – 1,4-фенилен, $R_1 = C_6H_{13}, C_7H_{15}, C_9H_{19}, C_{10}H_{21}$) и *n*-алкилоксибензилиден-*n*'-толуидины (**БТ**) $R_2O-C_6H_4-CH=N-C_6H_4-CH_3$ ($R_2 = C_4H_9, C_6H_{13}, C_9H_{19}$). Интерес к серии мезогенов (**БТ**) был обусловлен тем, что в последние годы активно проводилось изучение строения этого класса мезогенов [21–24].

Жидкие кристаллы квалификации «ч.д.а.» (производитель: завод РИАП, Киев) были дополнительно очищены двукратной перекристаллизацией из органического растворителя. Температуры фазовых переходов в индивидуальных ЖК были получены с использованием стандартных методик ДТА и поляризационной микроскопии [9] и представлены в табл. 1. Чистоту мезогенов определяли методом криоскопии [9], суммарное содержание примесей не превышало 1 мол. %.

Таблица 1. Физические свойства мезогенов

Table 1. Physical properties of mesogens

Обозначение	Формула	Температуры фазовых переходов, °C [29]
1	2	3
ФБ-6/4	$C_6H_{13}O-Ph-COO-Ph-OC_4H_9$	Cr 64,3 N 88,7 I
ФБ-7/4	$C_7H_{15}O-Ph-COO-Ph-OC_4H_9$	Cr 67,7 N 86,0 I
ФБ-9/4	$C_9H_{19}O-Ph-COO-Ph-OC_4H_9$	Cr 62,0 S _A 72,4 N 87,2 I
ФБ-10/4	$C_{10}H_{21}O-Ph-COO-Ph-OC_4H_9$	Cr 63,3 S _A 80,6 N 89,3 I
БТ-4	$CH_3-Ph-N=CH-Ph-OC_4H_9$	Cr 64,2 S _G 45,0 N 72,0 I
БТ-6	$CH_3-Ph-N=CH-Ph-OC_6H_{13}$	Cr 57,4 S _G 44,0 S _B 53,0 N 76,0 I
БТ-9	$CH_3-Ph-N=CH-Ph-OC_9H_{19}$	Cr 71,7 S _B 64,0 S _A 73,0 N 77,5 I

Т-х-диаграммы систем ФБ – немезоген были изучены методами термического анализа [9]. Ранее [25] были исследованы полимеры растворимости ФБ и проведены тесты на наличие монотектики. В данной работе были получены полимеры растворимости БТ. В качестве немезогенов были использованы органические растворители разной полярности: *n*-алканы (гексан, октан, декан), циклогексан, ароматические (бензол, толуол, *o*-ксилол), хлорзамещенные (хлороформ, тетрахлорметан, хлорбензол), сложные эфиры (этилацетат, *n*-бутилацетат), спирты (пропанол-2, пропанол-1, бутанол-1), ацетон, 1,4-диоксан, ацетонитрил. Очистка растворителей проводилась по стандартным методикам [26–28].

Результаты и их обсуждение

В большинстве систем ЖК (I) – немезоген (II) наблюдаются положительные отклонения от идеальности [9, 30–32]. Ранее [9] была показана применимость параметра растворимости Гильдебранда для описания систем с ЖК [32–34].

В данной работе предложена схема групповых вкладов Стефаниса [20] для расчета параметров растворимости Хансена (δ – общий параметр растворимости, δ_d , δ_p , δ_h – составляющие, отвечающие за дисперсионное, полярное взаимодействия и водородную связь). Рассчитанные параметры для мезогенов, а также их мольный объем при 298 К приведены в табл. 2. Данные для немезогенов взяты из [18, 19] и приведены в табл. 3.

Таблица 2. Термодинамические свойства мезогенов

Table 2. Thermodynamic parameters of mesogens

Мезоген	V_{298} , см ³ /моль	δ , МПа ^{0,5}	δ_d , МПа ^{0,5}	δ_p , МПа ^{0,5}	δ_h , МПа ^{0,5}
ФБ-6/4	355,5	19,5	20,0	7,7	1,7
ФБ-7/4	372,4	19,4	20,0	7,5	1,6
ФБ-9/4	403,3	19,2	19,9	6,8	1,4
ФБ-10/4	420,3	19,1	19,9	6,5	1,3
БТ-4	268,0	19,6	20,8	5,3	3,4
БТ-6	287,9	19,8	20,7	4,7	1,7
БТ-9	344,3	19,2	20,7	3,8	1,4

Таблица 3. Термодинамические свойства немезогенов

Table 3. Thermodynamic parameters of non-mesogens

№	Немезоген	V_{298} , см ³ /моль	δ , МПа ^{0,5}	δ_d , МПа ^{0,5}	δ_p , МПа ^{0,5}	δ_h , МПа ^{0,5}
1	2	3	4	5	6	7
2	<i>n</i> -Гексан	131,60	14,9	14,9	0	0
3	<i>n</i> -Гептан	147,47	15,1	15,3	0	0
4	<i>n</i> -Октан	163,45	15,6	15,5	0	0
5	<i>n</i> -Декан	195,87	15,7	15,7	0	0
6	Циклогексан	108,72	16,8	16,8	0	0,2
7	Бензол	89,43	18,8	18,4	0	2,0
8	Толуол	106,86	18,2	18,0	1,4	2,0
9	<i>o</i> -Ксилол	121,19	18,0	17,8	1,0	3,1
10	Хлороформ	80,67	19,0	17,8	3,1	5,7
11	Тетрахлорметан	97,13	17,8	17,8	0	0,6
12	Хлорбензол	102,27	19,4	19,0	4,3	2,0
13	Этилацетат	98,47	18,6	15,8	5,3	7,2
14	<i>n</i> -Бутилацетат	132,00	17,4	15,8	3,7	6,3
15	Пропанол-1	75,17	24,6	16,0	6,8	17,4
16	Пропанол-2	76,90	23,5	15,8	6,1	16,4

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
17	Бутанол-1	92,01	23,1	16,0	5,7	15,8
18	Ацетон	74,03	20,3	15,5	10,4	7,0
19	1,4-Диоксан	85,21	20,4	19,0	1,8	7,4
20	Ацетонитрил	52,85	24,3	15,3	18,0	6,1

В рамках модели с использованием параметра растворимости Хансена используют «приведенный радиус» (R_a) [20]. При увеличении разницы в типах межмолекулярного взаимодействия компонентов величина R_a увеличивается и соответственно растворимость мезогенов (x_1) при

температуре 298 К уменьшается (рис. 1). В качестве примера представлена зависимость растворимости BT-9 от приведенного радиуса при 298 К

$$R_a^2 = 4 \cdot (\delta_{d(1)} - \delta_{d(2)})^2 + (\delta_{p(1)} - \delta_{p(2)})^2 + (\delta_{h(1)} - \delta_{h(2)})^2.$$

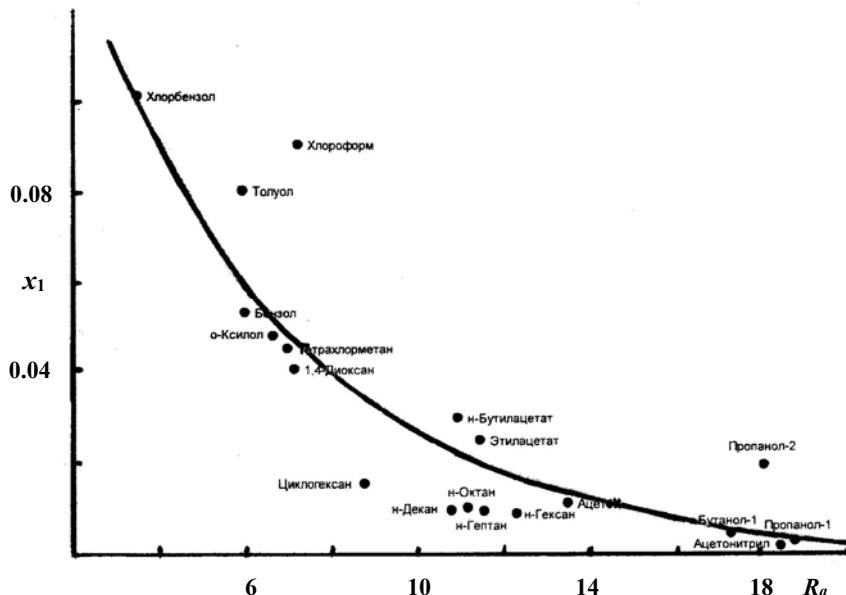


Рис. 1. График зависимости мольной доли (x_1) БТ-9 при 298 К от R_a

Fig. 1. Solubility of BT-9 (molar part) at 298 K vs. R_a

Можно видеть, что данная схема позволяет определить растворимость мезогенов в насыщенных растворах, основываясь на минимуме исходной информации – структурной формуле молекул. Альтернативой может быть использование треугольника Тиса (Teas), вершинами в котором являются приведенные параметры f_i , где f_d отвечает за дисперсионные

взаимодействия, f_p – за полярные взаимодействия и f_h отвечает за образование водородной связи:

$$f_d = \frac{\delta_d}{\delta_d + \delta_p + \delta_h}; f_p = \frac{\delta_p}{\delta_d + \delta_p + \delta_h}; f_h = \frac{\delta_h}{\delta_d + \delta_p + \delta_h}.$$

Ниже (рис. 2 и 3) показаны треугольники растворимости Тиса для фенилбензоатов и бензилиденанилинов.

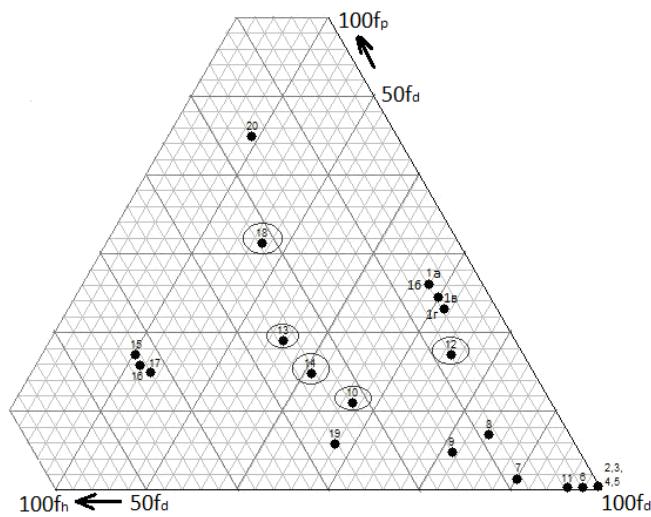


Рис. 2. Треугольник растворимости фенилбензоатов (1a-*г*: ФБ-6/4, ФБ-7/4, ФБ-9/4, ФБ-10/4; номера растворителей соответствуют номерам в табл. 3)

Fig. 2. Teas triangle for phenylbenzoates solubility (1a-*g*: PhBz-6/4, PhBz-7/4, PhBz-9/4, PhBz-10/4; numbers for solvents are the same as ones in table 3)

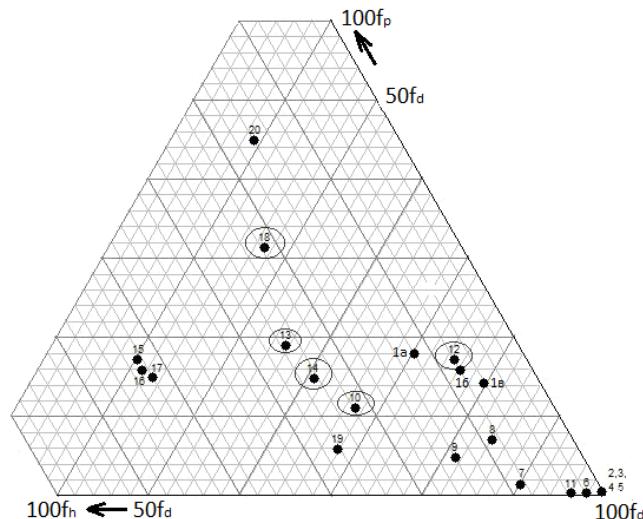


Рис. 3. Треугольник растворимости бензилиденанилинов (1a-*г*: БТ-4, БТ-6, БТ-9; номера растворителей соответствуют номерам в табл. 3)

Fig. 3. Teas triangle for benzylidenanilines solubility (1a-*g*: BT-4, BT-6, BT-9; numbers for solvents are the same as ones in table 3)

Как следует из рис. 2 и 3, мезогены хуже всего растворяются в алканах и спиртах (на треугольниках расстояние между ними большое, что характеризует разное соотношение типов межмолекулярного взаимодействия). С увеличением длины алкильной цепи (рис. 3, 1a – БТ-4 и

1*в* – БТ-9) уменьшается расстояние между координатами мезогена и алканов, это означает, что растворимость БТ в алкане увеличивается; аналогично с уменьшением длины алкильной цепи увеличивается расстояние.

Для сравнения растворимости и типа взаимодействия компонентов были изучены Т-х-диаграммы систем. В качестве объектов выбраны системы ЖК из класса фенилбензоатов (рис. 2) с хлорбензолом (12) и 1,4-диоксаном (19). Отметим, что из приведенных растворителей хлорбензол

расположен ближе к мезогенам. Растворители, в которых у мезогенов высокая растворимость, отмечены кружком (образование расслаивания в этих растворителях маловероятно). Полученные Т-х-диаграммы систем с ФБ-7/4 приведены на рис. 4 и 5.

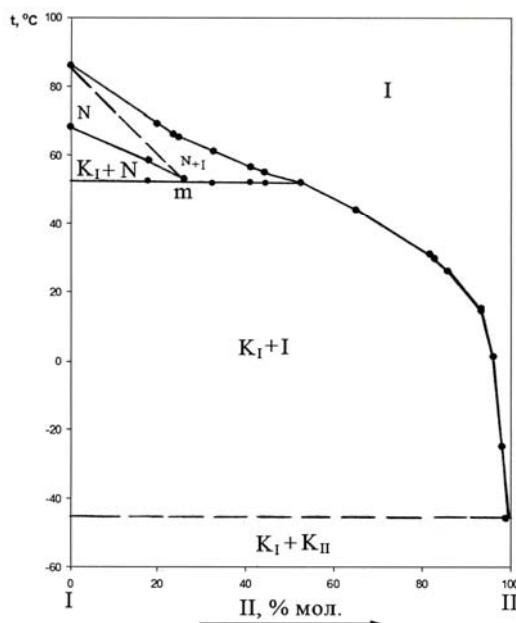


Рис. 4. Т-х-диаграмма системы ФБ-7/4 (I) – хлорбензол (II)

Fig. 4. T-x-diagram of PhBz-7/4 (I) – chlorbenzene (II) system

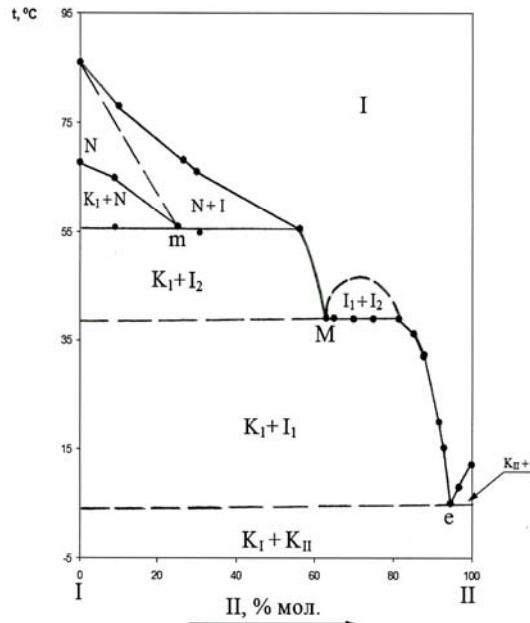


Рис. 5. Т-х-диаграмма системы ФБ-7/4 (I) – 1,4-диоксан (II)

Fig. 5. T-x-diagram of PhBz-7/4 (I) – 1,4-dioxane (II) system

Плавление кристаллических смесей в системах происходит по эвтектической реакции. Границный нематический раствор образуется по метатектической реакции. В системе ФБ-7/4 – 1,4-диоксан наблюдается небольшая область расслаивания на 2 изотропных раствора ($I_1 + I_2$). Это подтверждает положение, что с увеличением

расстояния между точками компонентов на треугольнике Тиса увеличивается вероятность появления расслаивания в системе. Изученные системы относятся к типам 1 и 2а по классификации систем нематический ЖК – немезоген [9]. Координаты нонвариантных точек приведены в таблице 4.

Таблица 4. Координаты нонвариантных точек в системах ЖК (I) – растворитель (II)

Table 4. Coordinates of invariant points in LC (I) – solvent (II) systems

Система ЖК (I) – НМ (II)	Температура, °C/ конц. немезогена, мол. %			Тип системы
	Эвтектика (e)	Метатектика (m)	Монотектика (M)	
ФБ-7/4 – хлорбензол	-46,4 / 98,9	53,0 / 26,3	–	1
ФБ-7/4 – 1,4-диоксан	5,0 / 94,6	56,1 / 25,2	39,7±0,2 / 63,1	2а

Таким образом, взаимное расположение компонентов на треугольнике Тиса или приведенный радиус могут быть использованы в качестве экспресс-метода подбора растворителя для технологии очистки ЖК или определения взаимной смешиваемости компонентов.

Выводы

1. Показана применимость модели с использованием параметра растворимости Хансена для термодинамического описания систем ЖК – немезоген.
2. Параметры растворимости Хансена могут быть определены по групповой схеме с использованием минимума экспериментальной информации – структурной формулы молекул.
3. Предложенные схемы (приведенный радиус и треугольник Тиса) могут быть использованы для определения взаимной смешиваемости компонентов (прогноз расслаивания), а также для экспресс-методики подбора растворителя для очистки мезогенов кристаллизацией из раствора.

Список литературы / References

1. 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.
2. Wilkinson T. Applications of liquid crystals in telecommunications. *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. 11, 1–28.
3. Томилин М. Г., Невская Г. Е. Фотоника жидких кристаллов. СПб : СПб. Политех. ун-т, 2011. 741 с. [Tomilin M.G., Nevskaia G.E. Photonics of liquid crystals. SPb : SPb. Polytech. Univ., 2011, 741 p. (in Russ.)].
4. Пестов С. М., Томилин М. Г. Увеличение углов обзора в дисплеях на жидких кристаллах // *Оптический журнал*. 2012. Т. 79, № 9. С. 66–80. [Pestov S.M., Tomilin M.G. Increasing the viewing angles in displays based on liquid crystals. Review. *Journal of Optical Technology*, 2012, **79** (9), 576–587. DOI: 10.1364/JOT.79.000576].
5. Bushby R.J., Kelly S.M., O'Neill M. Liquid crystalline semiconductors : Materials, properties and applications. Dordrecht : Springer, 2013, 271 p.
6. Liquid crystals beyond displays: chemistry, physics and applications / Ed. by Quan Li. Hoboken : Wiley, 2012, 573 p.
7. Nanoscience with liquid crystals. From self-organized nanostructures to applications / Ed. by Quan Li. Cham : Springer, 2014, 420 p.
8. Ermakov S., Beletskii A., Eismont O., Nikolaev V. Liquid crystals in biotribology. Cham : Springer, 2016, 211 p.
9. 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.)].
10. Пестов С. М., Серафимов Л. А., Климова Э. В. 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., Serafimov L.A., Klimova E.V. Thermodynamic modeling of liquid crystal – nonmesogen systems in the approximation of the theory of regular solutions. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2007, **41** (1), 91–95. DOI: 10.1134/S0040579507010101].
11. 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.
12. 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.
13. Chen L.G., Shanks R. Thermoplastic polymer-dispersed liquid crystals prepared from solvent-induced phase separation with predictions using solubility parameters. *Liq. Cryst.*, 2007, **34** (12), 1349–1356.
14. 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.
15. Dunmur D., Luckhurst G. Liquid crystals. *Springer Handbook of electronic and photonic materials* / Ed. by: S. Kasap, P. Capper. Berlin : Springer, 2006, 917–951.
16. 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.
17. Уэйлес С. Фазовые равновесия в химической технологии в 2 ч. : пер. с англ. М. : Мир, 1989. Ч. 1. 304 с.; Ч. 2. 360 с. [Walas S. Phase equilibria in chemical engineering. Boston : Butterworth, 1985, 671 p.].
18. Hansen C.M. Hansen solubility parameters: A user's Handbook, 2 ed. Boca Raton : CRC Press, 2007, 544 p.
19. Barton A.F.M. Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters. Boca Raton : CRC Press, 1983, 289 p.

20. 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.
21. Kuz'mina L.G., Navasardyan M.A., Churakov A.V., Howard J.A.K. X-ray diffraction study of *n*-(alkyl-oxybenzylidene)-*n*'-toluidines. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2016, **638** (1), 60–67. **DOI:** 10.1080/15421406.2016.1221953.
22. Kuz'mina L.G., Kucherepa N.S., Rodnikova M.N. X-ray diffraction study of *p*-(alkoxybenzylidene)-*p*'-toluidines $C_2H_5O-C_6H_4-CH=N-C_6H_4-CH_3$ and $C_4H_9O-C_6H_4-CH=N-C_6H_4-CH_3$. *Crystallography Reports*, 2008, **53** (6), 1016–1022. **DOI:** 10.1134/S1063774508060175.
23. Kuz'mina L.G., Kucherepa N.S., Rodnikova M.N. X-ray diffraction study of *p*-(alkoxybenzylidene)-*p*'-toluidines $C_5H_{11}O-C_6H_4-CH=N-C_6H_4-CH_3$ and $C_8H_{17}O-C_6H_4-CH=N-C_6H_4-CH_3$. *Crystallography Reports*, 2008, **53** (6), 1023–1029. **DOI:** 10.1134/S1063774508060187.
24. Kuz'mina L.G., Kucherepa N.S., Syrbu S.A. X-ray diffraction study of *p*-(alkoxybenzylidene)-*p*'-toluidines: Crystal and molecular structure of $C_{10}H_{21}O-C_6H_4-CH=N-C_6H_4-CH_3$. *Crystallography Reports*, 2010, **55** (1), 28–34. **DOI:** 10.1134/S1063774510010074.
25. Пестов С. М., Ягубпур С. Термодинамическое описание систем с жидкокристаллическими фенилбензоатами // Жидк. крист. и их практич. использ. 2018. Т. 18, № 1. С. 30–36. [Pestov S.M., Yaghoubpour S. Thermodynamic modelling of systems containing liquid crystalline phenylbenzoates. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2018, **18** (1), 30–36.]
26. Armarego W.L.E., Chai C.L.L. Purification of laboratory chemicals. 5 edition. Amsterdam : Butterworth Heinemann, 2003, 609 p.
27. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография. М. : Мир, 1976. 541 с. [Gordon A.J., Ford R.A. The Chemist's Companion: A Handbook of Practical Data, Techniques and References. New York : Wiley, 1972, 540 p.].
28. Вайсбергер А., Проскауэр Э., Риддик Дж., Тупс Э. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки. М. : Изд. ин. лит., 1958. 518 с. [Organic solvents. Physical properties and methods of purification / Ed. by A. Weissberger. N.Y. : Interscience, 1955, 519 p.].
29. Pestov S. Physical properties of liquid crystals. *New Series* : Landolt-Börnstein. Numerical data and functional relationships in science and technology / Ed. by V. Vill. Berlin-Heidelberg : Springer, 2003, Group VIII, **5A**, 2805 p.
30. Huang J.-C. Liquid crystal solutions at infinite dilution : Enthalpy–entropy compensation of solutes transfer properties between phases. *Fluid Phase Equilibria*, 2014, **372**, 1–6. **DOI:** 10.1016/j.fluid.2014.03.021.
31. Huang J. Liquid crystal solutions at infinite stimal dilution : Correlation of enthalpy of solution in different phases. *Fluid Phase Equilibria*, 2015, **391**, 49–53. **DOI:** 10.1016/j.fluid.2015.02.006.
32. Pestov S.M., Molotchkov V.A., Lidine R.A. Solubilité des cristaux liquides dans les solvants organiques. *Thermochimica Acta*, 1994, **236**, 131–139.
33. Foitzik J.K., Haase W. Guest-host systems with anthraquinone dyes: thermodynamic and structural features. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1987, **149**, 401–416.
34. Araya K., Iwasaki K. Solubility parameters of liquid crystals. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2003, **392**, 49–57.

Поступила в редакцию 9.01.2018 г.
Received 9 January 2018