

УДК 532.783:548.3

С. А. Сырбу¹, О. Ю. Дицина¹, М. Р. Киселев²

**ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ СВЯЗИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СИСТЕМЫ *p-n*-ПРОПИЛОКСИБЕНЗОЙНАЯ КИСЛОТА – *p-n*-ПРОПИЛОКСИ-
n'-ЦИАНОБИФЕНИЛ**

¹Кафедра неорганической и аналитической химии, Ивановский государственный университет,
ул. Ермака, 39, 153025 Иваново, Россия. E-mail: syrbye@yandex.ru

²Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН,
Ленинский проспект, 31, 119991 Москва, Россия. E-mail: kisselev@physhe.ac.ru

*Методами поляризационной термомикроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии исследованы мезоморфные свойства системы: *p-n*-пропилоксибензойная кислота – *p-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенил. Методом политермической дилатометрии изучены объемные свойства системы. Проведен анализ температурных и концентрационных зависимостей объемных свойств системы. Установлено образование супрамолекулярных структур между *p-n*-пропилоксибензойной кислотой и *p-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенилом за счет водородного связывания. Методом диэлектрической калориметрии исследованы диэлектрические свойства системы. В области существования нематической фазы обнаружены две субфазы, отличающиеся мезоморфными и физическими свойствами.*

Ключевые слова: жидкие кристаллы, мезоморфные свойства, объемные свойства, диэлектрические свойства, поляризационная термомикроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия, политермическая дилатометрия, диэлектрическая калориметрия, фазовая диаграмма, нематические субфазы, цепочечные ассоциаты, супрамолекулярные структуры, водородная связь, H-комплексы.

DOI: 10.18083/LCAppl.2016.3.30

S. A. Syrbu¹, O. Yu. Ditsyna¹, M. R. Kiselev²

**HYDROGEN BOND INFLUENCE ON PHYSICAL PROPERTIES
OF *p-n*-PROPYLOXYBENZOIC ACID – *p-n*-PROPYLOXY-*p'*-CYANOBIPHENYL SYSTEM**

¹Inorganic and Analytical Chemistry Department, Ivanovo State University,
39 Ermak St., Ivanovo, 153025, Russia. E-mail: syrbye@yandex.ru

²Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences,
31 Leninsky Pr., Moscow, 119991, Russia. E-mail: kisselev@physhe.ac.ru

*Mesomorphic properties of *p-n*-propyloxybenzoic acid – *p-n*-propyloxy-*p'*-cyanobiphenyl system were studied by polarizing thermomicroscopy and differential scanning calorimetry. Bulk properties of the system were investigated by polythermal dilatometry method. Analysis of temperature and concentration dependencies of bulk properties was performed. Formation of chained supramolecular associates between *p-n*-propyloxybenzoic acid and *p-n*-propyloxy-*p'*-cyanobiphenyl due to hydrogen bonding was established. Dielectric properties of the system were investigated by the dielectric calorimetry method. Two subphases were found in the region of nematic phase existence. These subphases possess different mesomorphic and physical properties.*

Key words: liquid crystals, mesomorphic properties, bulk properties, dielectric properties, polarizing thermomicroscopy, differential scanning calorimetry, polythermal dilatometry, dielectric calorimetry, phase diagram, nematic subphases, chained associates, supramolecular structure, hydrogen bond, H-complex.

Введение

Быстрое развитие техники предъявляет новые требования к жидкокристаллическим материалам. Однако молекулярный дизайн мезогенов постепенно утрачивает свой потенциал. Это обусловлено тем, что круг потенциальных синтонов для конструирования каламитных мезогенов ограничен и хорошо известен. Появившиеся мезогены иной химической природы (например, дискотические, металломезогены и др.) не всегда дают возможность создания жидкокристаллических материалов с заданными свойствами. В то же время использование механических смесей мезогенов, позволивших получить огромное число материалов для электрооптики и термографии, также практически себя исчерпало.

Выход из сложившейся ситуации заключается в переходе от традиционного молекулярного конструирования к супрамолекулярной химии как химии программируемых высоко-селективных нековалентных взаимодействий. С этой точки зрения жидкие кристаллы могут рассматриваться как типичные объекты супрамолекулярной химии, поскольку говорить о мезоморфизме можно только по отношению к достаточно населенному супрамолекулярному ансамблю [1].

Достаточно часто межмолекулярная водородная связь определяет не только структуру наноматериала, но и мезоморфное поведение. Подобные взаимодействия реализуются в жидкокристаллических карбоновых кислотах и системах на их основе [2, 3]. По данным ИК-спектроскопии, межмолекулярная водородная связь в производных карбоновых кислот достаточно сильна и составляет 6–8 ккал/моль. Благодаря своему строению и способности к образованию прочных водородных связей, молекулы данных соединений могут обеспечить геометрическую анизотропию и термическую стабильность вновь полученного жидкокристаллического соединения. Именно поэтому во многих исследованиях производные бензойных и коричных кислот стали исходными веществами для создания новых мезоморфных наноматериалов [4]. Новые супрамолекулярные материалы проявляют уникальные мезоморфные и физические свойства.

В данной работе проведено изучение влияния водородной связи на физические свойства системы: *n-n*-пропилоксибензойная кислота – *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенил.

Экспериментальная часть

n-n-пропилокси-*n'*-цианобифенил (3-АОЦБ) марки «ч.д.а.» был дополнительно очищен двойной перекристаллизацией из этилового спирта и имел следующую температуру фазового перехода в режиме нагревания, °С: Cr •75,46 I. *n-n*-пропил-оксибензойная кислота (3-АОБК) была очищена аналогичным способом и имела следующие температуры фазовых переходов в режиме нагревания, °С: Cr1•119,03 Cr2•145,82 N1•150,00 N2•153,95 I. Смеси веществ готовили гравиметрическим методом, гомогенизировали при температуре выше температуры просветления и медленно охлаждали до полной кристаллизации. Исследованные смеси имели следующие концентрации 3-АОБК, мол. %: 10,038; 19,738; 30,026; 39,980; 50,260; 59,898; 69,991; 80,000; 89,963.

Мезоморфные свойства системы были изучены методами поляризационной термомикроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Исследования методом поляризационной термомикроскопии проводились на поляризационном микроскопе «Полам Р-211» с видеокамерой и термостолком, который позволял изменять скорость нагрева от 0,1 °С/мин до 3,5 °С/мин, работал в широком интервале температур (0–350 °С) и длительное время поддерживал заданную температуру. Градуировку термодпары термостолка проводили по веществам с известными температурами плавления. Точность измерения температуры составляла ±0,1°.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) проводилась на приборе «Q100» фирмы *Intertech Corporation* (USA) в интервале температур 20÷200 °С в атмосфере Ar. Масса образцов составляла 3÷4 мг. Применялся режим нагревания. Скорость процесса составила 2,5 град/мин. Точность измерения температуры составляла ±0.01 °С.

Измерение плотности индивидуальных компонентов и смесей на их основе проводили дилатометрическим методом [5] с погрешностью 0,0005 г/см³. На основе данных дилатометрии были рассчитаны значения таких физических

параметров, как избыточный молярный объем V^E , свободный молярный объем $V_{св.}$, коэффициенты молекулярной упаковки P .

Измерение диэлектрической проницаемости исследуемого вещества проводили методом диэлькометрии на частоте 1000 Гц.

Ориентацию образца осуществляли постоянным магнитным полем напряженностью 450 мТ. Ячейка для измерения диэлектрической проницаемости, представляющая собой плоский конденсатор площадью 0,44 см² и расстоянием между обкладками 0,0245 см, термостатировалась с точностью 0,1 °С. Определение диэлектрической

проницаемости проводили при напряжении на ячейку 1,2 В.

Обсуждение результатов

С помощью методов поляризационной термомикроскопии и дифференциально-сканирующей калориметрии были получены значения температур фазовых переходов, идентифицированы фазы и двухфазные области. На основе полученных экспериментальных данных построена фазовая диаграмма системы 3-АОБК – 3-АОЦБ, которая представлена на рис. 1.

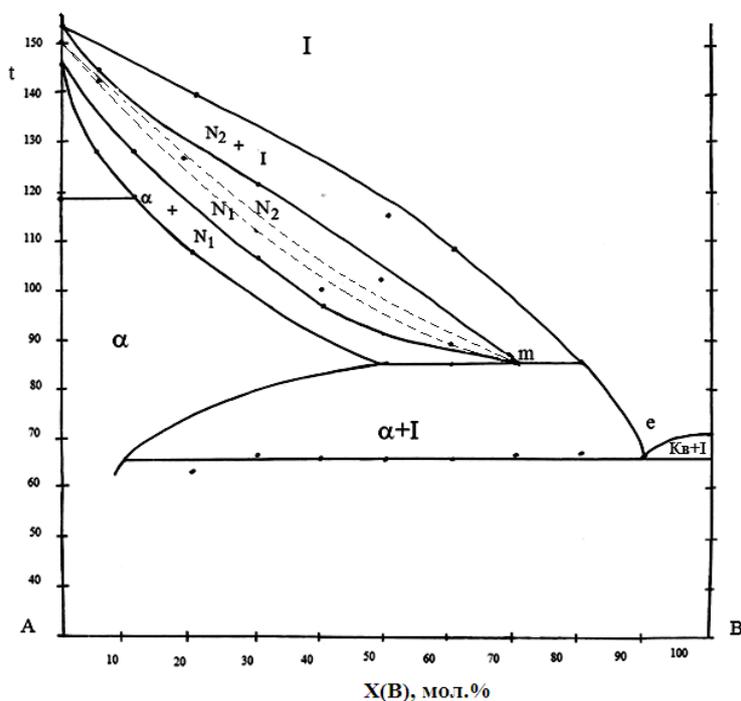


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы 3-АОБК (А) – 3-АОЦБ (В), где α – твердый раствор на основе 3-АОБК – 3-АОЦБ; K_B – кристаллическая фаза 3-АОЦБ; I – изотропножидкая фаза; N_1 и N_2 – нематические субфазы; e – точка эвтектики; m – точка метатектики

По типам Розебома изучаемая система относится к семейству систем с граничным нематическим раствором, образованных энантиотропным нематическим жидким кристаллом (3-АОБК) и монотропным нематогеном (3-АОЦБ) [6].

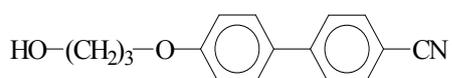
Следует отметить, что метод ДСК позволил определить температуру фазового перехода одной твердофазной полиморфной модификации *n-n*-пропилоксибензойной кислоты в другую. Эта температура составила 119,0 °С. 3-АОБК в отличие от 3-АОЦБ является энантиотропным

мезогеном, тогда как 3-АОЦБ является монотропным жидким кристаллом, образующим нематическую фазу только при резком охлаждении препарата.

Установлено, что исследуемая система имеет две точки неинвариантного равновесия: метатектическую и эвтектическую. Граничный нематический раствор, содержащий 70 мол. % *n-n*-пропилокси-*n*'-цианобифенила, образуется при температуре 85,4 °С по метатектической реакции: $\alpha + I \rightleftharpoons N$.

Изотропный раствор, содержащий 90 мол. % *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенила, образуется по эвтектической реакции: $\alpha + \beta \rightleftharpoons I$ при температуре 67,3 °С. Расширение интервала существования нематической фазы до 20 °С наблюдается в системе в диапазоне составов от 30 до 50 мол. % *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенила, тогда как у индивидуального нематогена – *n-n*-пропилоксибензойной кислоты этот интервал составляет 9 °С.

В работе А. В. Завьялова [7] описан синтез и свойства индивидуального мезогена, имеющего две функциональные группы –ОН и –СN и, таким образом, способного к обоим типам взаимодействий. Это 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенил:

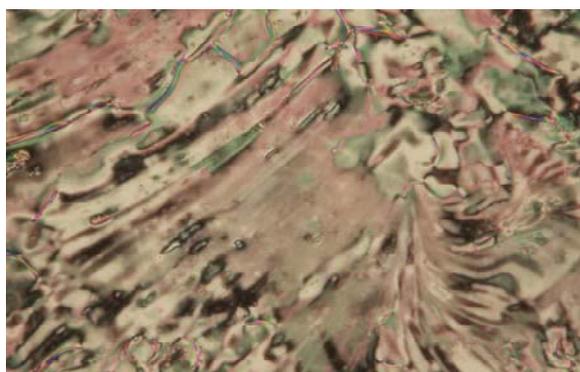


Интересно отметить, что в отличие от своего структурного аналога *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенила, обладающего монотропной нематической

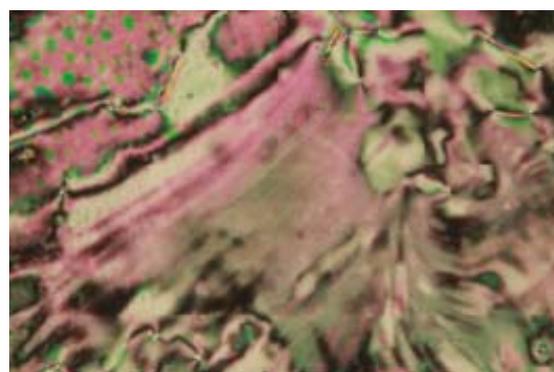
фазой (I • 72,0 N • 67,0 Cr) [8], 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенил образует энантиотропную нематическую фазу (Cr•109,8 N•115,8 I) [7]. Таким образом, интервал существования нематической фазы у него составляет 6 °С. Как отмечалось ранее, в системе *n-n*-пропилоксибензойная кислота – *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенил указанный интервал составляет 20 °С.

Следует отметить, что в области существования нематической фазы системы методами поляризационной термомикроскопии и ДСК нами было обнаружено наличие двух нематических субфаз (рис. 1).

На рис. 2 представлены текстуры низкотемпературной (рис. 2, а) и высокотемпературной (рис. 2, б) нематических субфаз 3-АОБК. Низкотемпературная нематическая субфаза имеет текстуру, напоминающую текстуру смектической фазы; высокотемпературная нематическая субфаза имеет текстуру шпирен.



а

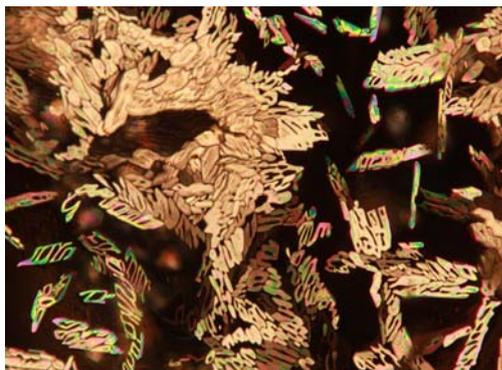


б

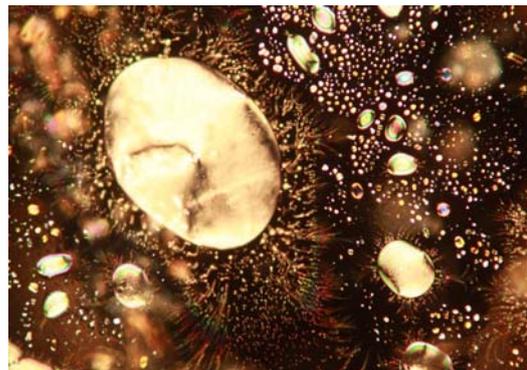
Рис. 2. Текстуры низкотемпературной (а) и высокотемпературной (б) нематических субфаз *n-n*-пропилоксибензойной кислоты

На основе проведенных авторами [9, 10] исследований показано, что причиной смены текстуры является изменение концентрации синхротактических кластеров, поддерживающих локальный смектический порядок в низкотемпературной нематической фазе [9]. Следует отметить, что в исследованных смесях тенденция существования двух нематических субфаз сохраняется, как и в индивидуальных компонентах.

Интересно отметить, что в исследованной нами ранее системе *n-n*-пропилокси-коричная кислота (3-АОКК) – *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенил (3-АОЦБ) [11] также были обнаружены две нематические субфазы. Однако более низкотемпературная субфаза N₁ имела мозаичную текстуру, а более высокотемпературная субфаза N₂ – гомеотропную (рис. 3).



а



б

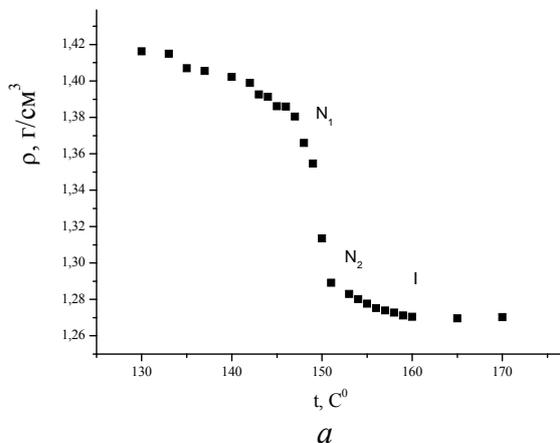
Рис. 3. Текстуры нематических субфаз системы 3-АОКК – 3-АОЦБ:
а – мозаичная текстура низкотемпературной субфазы N_1 , б – переход в гомеотропную текстуру высокотемпературной субфазы N_2

Рассмотрев мезоморфные свойства системы, перейдем к рассмотрению ее объемных свойств.

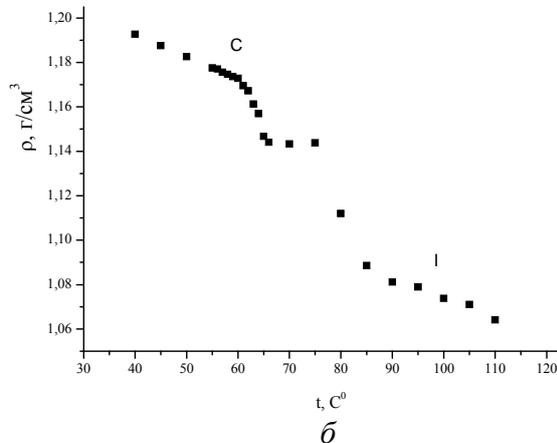
Объемные свойства ЖК, такие как плотность, молярный объем, его изменение при фазовых переходах, представляют интерес для исследователей в связи с необходимостью их использования при расчете анизотропных свойств и ориентационной упорядоченности мезогенов.

Кроме того, используя данные по плотности, можно сделать некоторые выводы об упорядоченности различных групп в молекуле, плотности упаковки и т. д.

Температурные зависимости плотности индивидуальных компонентов системы, полученные в режиме нагревания, представлены на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Температурные зависимости плотности *n-n*-пропилоксибензойной кислоты (а) и *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенила (б)

Из рис. 4, а следует, что в нематической фазе температурная зависимость плотности не аппроксимируется уравнением прямой, как для большинства известных жидких кристаллов. Нематическая фаза 3-АОБК состоит из двух субфаз N_1 и N_2 , переход между которыми является фазовым переходом первого рода, близким ко второму роду.

На рис. 4, б представлена температурная зависимость плотности *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенила, полученная в режиме нагревания. 3-АОЦБ является монотропным нематическим жидким кристаллом, поэтому образование нематической фазы у него происходит только при резком охлаждении препарата.

На рис. 4, б изображены кристаллическая (С) и изотропножидкая (I) фазы 3-АОЦБ, между которыми наблюдаются фазовые переходы первого рода. Таким образом, в исследуемой системе 3-АОЦБ можно рассматривать в качестве немезоморфной добавки к 3-АОБК.

Рассмотрим, как влияют добавки 3-АОЦБ на объемные свойства 3-АОБК в интервалах существования обеих нематических субфаз и изотропножидкой фазе. Анализ рис. 5 показывает, что зависимости плотности системы от состава в

нематических субфазах имеют симбатный характер. *П-н*-пропилоксибензойная кислота и в нематической, и в изотропной фазах имеет более высокие значения плотности по сравнению со смесями. Следует отметить, что в областях существования нематической фазы значения плотностей смесей, содержащих 10, 20, 40 и 60 мол. % 3-АОЦБ, отличаются незначительно. Отметим, что только в области составов до 60 мол. % 3-АОЦБ система обладает нематическим мезоморфизмом.

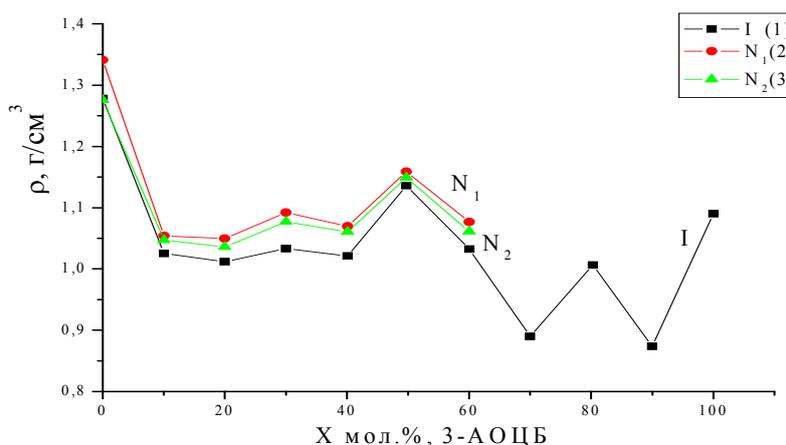
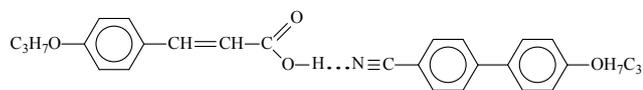


Рис. 5. Зависимости плотности системы 3-АОБК – 3-АОЦБ от состава в нематических субфазах N₁ и N₂ при приведенной температуре –3 °С (T_{пр.} = T – T_{ф.п.}), а также в изотропножидкой фазе (I) при приведенной температуре +10 °С

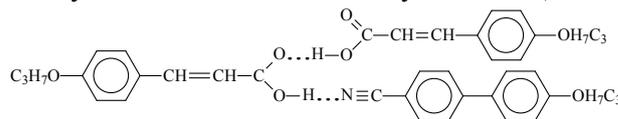
Добавки 3-АОЦБ к 3-АОБК приводят к понижению плотности кислоты как в нематической, так и в изотропной фазах. Заметим, что в области составов от 10 до 60 мол. % 3-АОЦБ на зависимости ρ(X(3-АОЦБ)) в областях существования и нематической, и изотропной фаз присутствует эффект чет – нечетного альтернирования (рис. 5).

В нематической и в изотропной фазах эквимольная смесь компонентов имеет наибольшее значение плотности среди всех исследуемых смесей. В изотропной фазе значение ее плотности близко к значению плотности 3-АОЦБ (рис. 5). Объяснить наиболее высокое значение плотности системы при эквимольном соотношении компонентов можно, на наш взгляд, образованием димеров 3-АОБК и 3-АОЦБ за счет водородного связывания:



Однако димеры, образованные молекулами только *п-п*-пропилоксибензойной кислоты, способны иметь более плотную упаковку как в нематической, так и в изотропножидкой фазах, что можно связать с меньшей длиной молекул 3-АОБК по сравнению с длиной молекул 3-АОЦБ.

В области содержания в системе 30 мол. % 3-АОЦБ также наблюдается некоторое увеличение плотности системы по сравнению с остальными составами. Объяснить обнаруженный экспериментальный факт можно образованием в системе за счет Н-связи ассоциатов, состоящих из двух молекул 3-АОБК и одной молекулы 3-АОЦБ:



С экспериментальными данными по плотности системы коррелируют величины коэффициентов молекулярной упаковки и свободных молярных объемов. Смесей, имеющие

большие значения плотности, а следовательно, и значения коэффициентов молекулярной упаковки, имеют меньшие значения свободных молярных объемов.

Важную информацию об изменении характера межмолекулярных взаимодействий между компонентами системы дают отклонения изотерм концентрационной зависимости экспериментального молярного объема от идеального поведения (рис. 6). Анализ рис. 6 показывает, что для смесей 3-АОБК и 3-АОЦБ в изотропной фазе изотермы

избыточных молярных объемов имеют минимум при эквимольном соотношении компонентов как при температуре перехода из смешанной нематико-изотропной области в изотропную фазу (рис. 6, а), так и при приведенной температуре $+10\text{ }^\circ\text{C}$ в изотропной фазе (рис. 6, б). Отметим, что для смесей, содержащих 70 и 90 мол. % 3АОЦБ, по мере продвижения в изотропную фазу уменьшаются значения избыточных молярных объемов, т. е. происходит некоторое «уплотнение» их структуры.

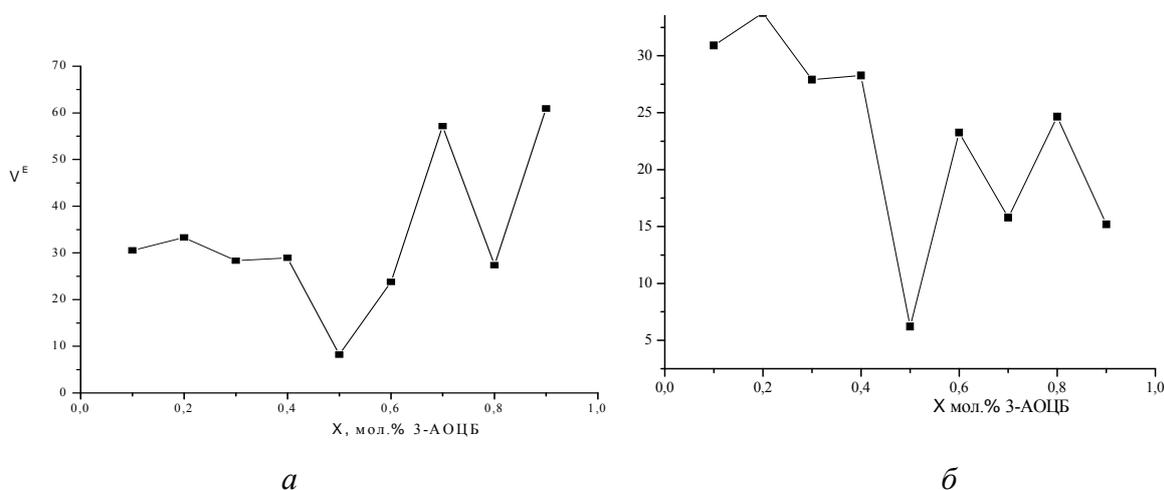


Рис. 6. Зависимость величин избыточных молярных объемов (V^E) системы 3-АОЦБ – 3-АОБК от состава в изотропной фазе при T_{N+I-I} (а) и при приведенной температуре $+10\text{ }^\circ\text{C}$ (б)

В заключение рассмотрения объемных свойств системы 3-АОЦБ – 3-АОБК проведем сравнительный анализ объемных свойств эквимольной смеси компонентов и 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенила, описанного в работе Завьялова [7]. В нематической фазе при температуре нематико-изотропного фазового перехода 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенил имеет плотность $1,0706\text{ г/см}^3$, коэффициент молекулярной упаковки – 0,682. Плотность эквимольной смеси 3-АОБК и 3-АОЦБ в нематической фазе при температуре фазового перехода из нематической фазы в смешанную нематико-изотропную двухфазную область составляет $1,2325\text{ г/см}^3$, коэффициент молекулярной упаковки – 0,708.

Объяснить обнаруженный экспериментальный факт можно меньшими размерами димеров 3-АОБК и 3-АОЦБ по сравнению с димерами 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенила.

Димеры меньшего размера способны «упаковываться» плотнее, что и приводит к увеличению плотности молекулярной упаковки исследуемой системы по сравнению с индивидуальными нематогенами.

Рассмотрим диэлектрические свойства системы 3-АОЦБ – 3-АОБК.

Исследуемая система в нематической фазе обладает положительной диэлектрической анизотропией в области всех составов (рис. 7).

Анализ рис. 7, б показывает, что добавки мезотропного НЖК-3-АОЦБ к 3-АОБК приводят к значительному повышению величины $\Delta\epsilon$ в высокотемпературной нематической субфазе. Если для индивидуального компонента – 3-АОБК диэлектрическая анизотропия составляет 2, то для смеси, содержащей 60 мол. % 3-АОЦБ, достигает 17.5. Добавка к *n-n*-пропилоксибензойной кислоте до 20 мол. % *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенила

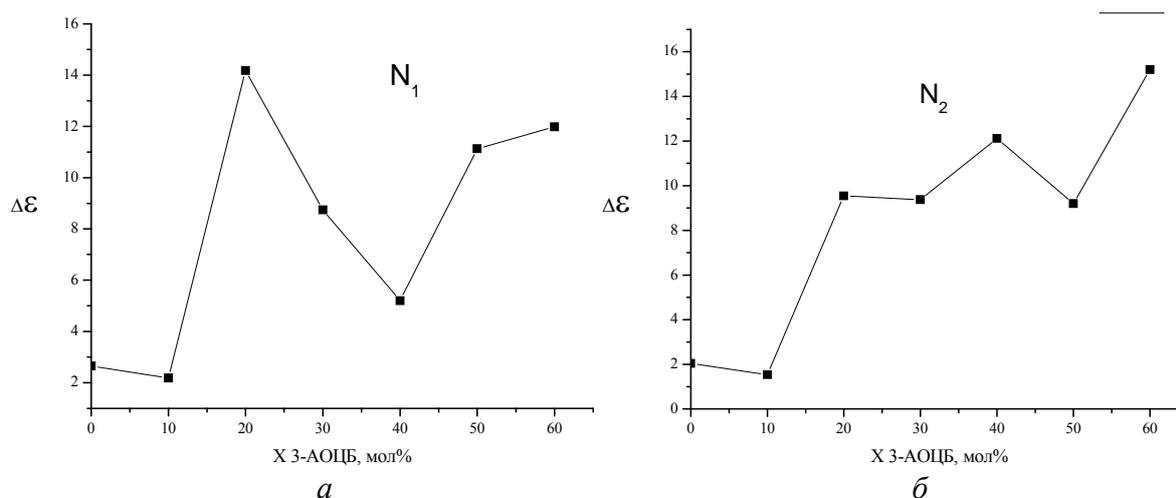


Рис. 7. Зависимость анизотропии диэлектрической проницаемости системы 3-АОБК – 3-АОЦБ от состава в нематической субфазе N_1 при $t_{np} = -3$ °C (а) и нематической субфазе N_2 при $t_{np} = -3$ °C (б)

приводит к повышению величины диэлектрической анизотропии с 2 до 9,5. При содержании в системе от 20 до 50 мол. % 3-АОЦБ диэлектрическая анизотропия системы изменяется незначительно (в пределах 1,5). Максимальное значение $\Delta\epsilon$ наблюдается в системе при содержании 60 мол. % 3-АОЦБ.

Из рис. 7, а следует, что в области существования низкотемпературной нематической субфазы максимальные значения диэлектрической анизотропии наблюдаются для смесей, содержащих 20 и 60 мол. % 3-АОЦБ.

Заметим, что максимальное значение диэлектрической анизотропии системы, содержащей 60 мол. % 3-АОЦБ, и 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенила достигает 17 [7]. Хотя значения параллельной и перпендикулярной составляющих диэлектрической проницаемости системы ниже, чем для индивидуального нематогена. В нематической фазе при $t_{np} = -5$ для 4-(ω -гидроксипропилокси)-4'-цианобифенила $\epsilon_{\parallel} = 34,6$; $\epsilon_{\perp} = 19,5$, для системы 3-АОБК – 3-АОЦБ $\epsilon_{\parallel} = 24,0$; $\epsilon_{\perp} = 11,3$.

Заключение

Таким образом, методами поляризационной термомикроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии исследованы мезоморфные свойства системы: *n-n*-пропилоксибензойная кислота – *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенил. Исследуемая система имеет две точки невариантного равновесия: метатектическую и эвтектическую.

Методом политермической дилатометрии исследованы объемные свойства системы. Проведен анализ температурных и концентрационных зависимостей объемных свойств системы.

Методом диэлькометрии изучены диэлектрические свойства системы.

Установлено образование цепочечных ассоциатов между *n-n*-пропилоксибензойной кислотой и *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенилом за счет водородного связывания при молярном соотношении компонентов 1:1 и 2:1.

В области существования нематической фазы обнаружены две субфазы, отличающиеся мезоморфными и физическими свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, грант № 3474 «Влияние различных факторов на самоорганизацию анизотропных молекул в 3D-наноструктуры» и РФФИ, грант № 15-43-03125-р_центр_а «Получение и свойства жидкофазных и гетерофазных материалов на основе мезоморфных соединений».

Список литературы / References

1. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998. 334 с. [Len Zh.-M. Supramolecular chemistry: conceptions and prospects. Novosibirsk: Science, 1998, 334 p. (in Russ.).]
2. Torgova S.I., Komitov L., Strigazzi A. Spontaneous chiral domains in the nematic phase of achiral *trans*-4-alkylcyclohexanecarboxylic acids. *Liq. Cryst.*, 1998, **24** (1), 131–141.

3. Paleos C.M., Tsiourvas D. Invited article. Supramolecular hydrogen-bonded liquid crystals. *Liq. Cryst.*, 2001, **28** (8), 1127–1161.
4. Бурмистров В. А., Александрийский В. В., Койфман О. И. Водородная связь в термотропных жидких кристаллах. М.: Красанд, 2014. 352 с. [Burmistrov V.A., Aleksandriiskiy V.V., Koifman O.I. Hydroden bond in termotropic liquid crystals. M.: Krasand, 2014, 352 p. (in Russ.)].
5. Bahadur V. Handbook of Liquid Crystals. John Wiley & Sons Inc., 1998, 231 s.
6. Носикова Л. А. Фазовые равновесия в системах, содержащих мезоморфные кислоты. Дис. ... канд. хим. наук. М., 2007. 190 с. [Nosikova L.A. Phase equilibrium in systems, containing mesomorphic acids. PhD thesis (Chem.). Moscow, 2007, 190 p. (in Russ.)].
7. Завьялов А. В. Синтез, мезоморфные и физические свойства мезогенных бифенилов и азобензолов с активными терминальными и латеральными заместителями. Дис. ... канд. хим. наук. Иваново, 2005. 129 с. [Zav'yalov A.V. Synthesis, mesomorphic and physical properties of mesogenic biphenyls and azobenzenes with active terminal and lateral substituents. PhD thesis (Chem.). Ivanovo, 2005, 129 p. (in Russ.)].
8. Demus D., Zschke H. Flüssige kristalle in tabellen. II. Leipzig: VEB, Deut. Verlag, 1984, 468 p.
9. Гребенкин М. Ф., Иващенко А. В. Жидкокристаллические материалы. М.: Химия, 1989. 288 с. [Greibenkin M.F., Ivaschenko A.V. Liquid crystalline materials. M.: Chemistry, 1989, 288 p. (in Russ.)].
10. Demus D., Richter L. Textures of liquid crystals. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1980, 210 p.
11. Сырбу С. А., Дицина О. Ю., Шантин Н. А., Киселев М. Р., Кувшинова С. А. Мезоморфные и объемные свойства системы *n-n*-пропилокси-коричная кислота – *n-n*-пропилокси-*n'*-цианобифенил // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2014. Т. 14, № 3. С. 53–61. [Syrbu S.A., Ditsina O.Yu., Shantin N.A., Kiselev M.R., Kuvshinova S.A. Mesomorphic and volume properties *p-n*-propyloxycinnamonic acid – *p-n*-propyloxy-*p'*-cyanobiphenyl system. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z. = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2014, 3, 53–61. (in Russ.)].

Поступила в редакцию 17.03.2016 г.
Received 17 March, 2016.

Сведения об авторах

Сырбу Светлана Александровна – Ивановский государственный университет, доктор химических наук, профессор, проректор по научной работе и международным отношениям, заведующая кафедрой неорганической и аналитической химии.

Тел. раб.: (4932)32-66-00

Е-mail: syrbue@yandex.ru

Дицина Ольга Юрьевна – Ивановский государственный университет, аспирантка кафедры неорганической и аналитической химии.

Тел. раб.: (4932)37-03-03

Е-mail: dicina@bk.ru

Киселев Михаил Романович – Институт физической химии и электрохимии РАН им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва, кандидат химических наук, старший научный сотрудник.

Тел. раб.: (495)955-44-41

Е-mail: kisselev@phychе.ac.ru