

УДК 544.016 + 544.252.4

Н. М. Селиванова*, А. И. Галеева*, Ю. Г. Галяметдинов*♦

**ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЛАНТАНОИДСОДЕРЖАЩИХ ЛИОТРОПНЫХ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ**

**LIQUID CRYSTALLINE AND REOLOGICAL PROPERTIES OF LANTHANIDE
CONTAINING MULTICOMPONENT LYOTROPIC SYSTEMS**

*Казанский государственный технологический университет,
кафедра физической и коллоидной химии, 420015 Казань, ул. К. Маркса, 68.

♦Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского КазНЦ РАН,
420111 Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7

Представлены результаты исследования жидкокристаллических свойств многокомпонентных систем: $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_{10}H$, $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_4H/La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O/H_2O/C_{10}H_{21}OH$. По данным поляризационной оптической микроскопии установлены типы жидкокристаллических фаз и концентрационные, температурные области их существования. Оценено влияние деканола на их мезоморфные свойства. По данным вискозиметрии проведен анализ структурных изменений в области фазовых переходов. Показано, что в условиях деформации сдвига для мезофаз характерно реологическое течение нелинейного пластического тела, адекватно описываемое в рамках моделей Кэссона и Гершеля – Балкли.

The results of investigation of liquid crystalline multicomponent systems $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_{10}H$, $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_4H/La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ has been presented. Concentrations, temperatures interval of mesophase existence and type of supramolecular organization were established by polarized optical microscopy. Decanol influence on mesogenic properties was established. Based on viscosimetry data analysis of the structure changes in the field of phase transition has been carried out. The conditions of shear deformation for mesophases are defined as non-linear plastic matter and are sufficiently described by Casson and Hershel – Bulkley models.

Ключевые слова: лиотропные жидкие кристаллы, лантаноиды, реология.

Keywords: lyotropic liquid crystals, lanthanide, rheology.

В последние годы значительное развитие получило направление синтеза нано- и мезоструктурных материалов, используя «мягкие» темплаты на основе самоорганизующихся систем ПАВ/вода, формирующих в определенных концентрационных и температурных интервалах лиотропные жидкокристаллические (ЖК) фазы [1 – 3]. В этом аспекте важным представляется всестороннее исследование ЖК и физико-химических свойств подобных систем. Введение в ЖК темплаты солей металлов дает возможность создания гибридных органо-неорганических материалов, обладающих комплексом принципиально новых функциональных свойств.

Нами впервые были получены лантаноидсодержащие лиотропные системы на основе неионных ПАВ – монодецилового эфира декаэтиленгликоля $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_{10}H$, монодецилового эфира тетраэтиленгликоля

$C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_4H$, нитратов лантаноидов и воды [4 – 6]. Влияние ионов лантаноидов на процессы самоорганизации в мицеллярных растворах и мезоморфном состоянии представлено в работах [7 – 9]. Найденные корреляции структурных параметров мезофаз и их ЖК свойств дают предпосылки к направленному молекулярному дизайну лиотропных систем.

С целью модификации ЖК-свойств и исследования влияния добавок органического компонента – деканола на структурные и реологические характеристики лантаноидсодержащих ЛЖК, в настоящей работе впервые были изучены системы на основе $C_{12}EO_{10}$, $C_{12}EO_4$ – гексагидрата нитрата лантана в водно-деканольной среде.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись системы на основе неионогенного ПАВ с различным числом оксиэтилированных групп: монододецилового эфира декаэтиленгликоля $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_{10}H$ («Aldrich») ($C_{12}EO_{10}$), монододецилового эфира тетраэтиленгликоля $C_{12}H_{25}O(CH_2CH_2O)_4H$ («Aldrich») ($C_{12}EO_4$), кристаллогидрата нитрата лантана $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ («Aldrich») ($La(III)$), воды и деканола. Изучение ЖК-свойств и идентификацию мезофаз проводили методом поляризационной оптической микроскопии (ПОМ) на микроскопе NAGEMA-K8, с нагревательным столиком «Voetius» 79/5520. Температуры фазовых переходов регистрировались температурным датчиком Agmadi-git. Точность измерения температуры составляла $\pm 0,2$ °С. Изучение реологических свойств проводили на программируемом вискозиметре Брукфильда DV-II+PRO, с измерительной системой конус–плита, имеющего электронную систему регулирования зазора, угол конуса 0,8 град, радиус конуса 2,4 см. Деформирование образцов производилось при разных скоростях сдвига в диапазоне от 10^{-4} до $2 \cdot 10^2$ с⁻¹. Анализ экспериментальных данных проводился с использованием программы Rheocalc 32. Измерения выполнялись в интервале температур 10 – 90 °С.

Синтез ЛЖК-систем осуществлялся в мягких условиях, путем смешения расчетных количеств компонентов системы: соли $La(III)$, воды, ПАВ и деканола. Соотношение ПАВ : металл сохранялось постоянным 1:1 моль. Предварительно расчетная навеска соли растворялась в воде, нагретой до температуры 30 °С, затем в данную систему вводился ПАВ, также нагретый до 30 °С и деканол. При перемешивании в ультразвуковой мешалке при комнатной температуре происходило образование лиотропной мезофазы. Контроль стабильности системы проводили по данным ПОМ, фиксируя постоянство температуры перехода мезофаза – изотропная жидкость во всем объеме образца.

Обсуждение результатов

Жидкокристаллические свойства системы $C_{12}EO_{10}:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ представлены на изобарной фазовой диаграмме (рис. 1).

Формирование лиотропной мезофазы происходит в диапазоне концентраций компонентов от 5 % до 60 % мас. $C_{12}EO_{10}:La(III)$, от 20 % до 75 % мас. H_2O , от 5 % до 60 % мас. $C_{10}H_{21}OH$. Для ранее изученной трехкомпонентной системы $C_{12}EO_{10}/La(III)/H_2O$ характерны только мицеллярная и гексагональная фазы [6]. Добавление в систему деканола расширяет концентрационные области существования лиотропной мезофазы и способствует формированию как гексагональной, так и ламеллярной фаз. Выделенные на диаграмме области соответствуют ламеллярной мезофазе. Однако присутствие деканола снижает температурный интервал существования мезофазы. В среднем для систе-

мы $C_{12}EO_{10}/La(III)/H_2O$ температура перехода из гексагональной фазы в изотропную жидкость $T_{H-I} = 100 \pm 10$ °С. В присутствии деканола наиболее высокая температура перехода из мезофазы в изотропную жидкость $T_I = 84,8$ °С характерна для системы состава 40 % мас. $C_{12}EO_{10}$: $La(III)$ – 55 % мас. H_2O – 5 % мас. $C_{10}H_{21}OH$.

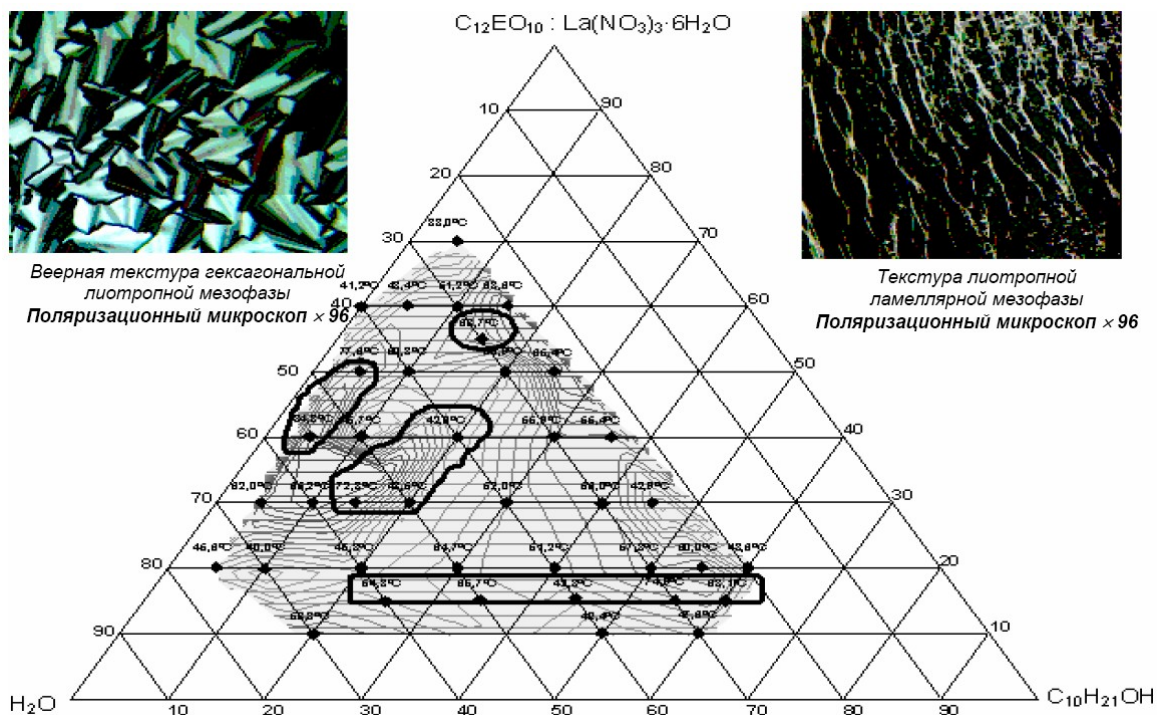


Рис. 1. Фазовая диаграмма многокомпонентной системы $C_{12}EO_{10}$: $La(III)$ / H_2O / $C_{10}H_{21}OH$. Указанные температуры характеризуют фазовый переход мезофаза – изотропная жидкость, выделенные области соответствуют ламеллярной фазе

Система состава 50 % мас. $C_{12}EO_{10}$: $La(III)$, 45 % мас. H_2O , 5 % мас. $C_{10}H_{21}OH$ проявляет лиотропный полиморфизм. В диапазоне температур $+10$ °С ÷ 18 °С при исследовании образца в поляризованном свете наблюдалась текстура веерного типа, что позволило, согласно [10], охарактеризовать организацию амфифильных молекул в мезофазе как гексагональную. При температуре 19 °С в поляризованном свете наблюдалась смена текстур: на фоне веерной текстура проявлялась текстура мальтийский крест, характерная для ламеллярной мезофазы. Интервал существования ламеллярной фазы составил $53,6$ °С. Фазовый переход из ламеллярной мезофазы в изотропную жидкость происходил при температуре $72,6$ °С.

Изобарная фазовая диаграмма системы $C_{12}EO_4/La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ представлена на рис. 2. В этом случае образование лиотропной мезофазы происходит в диапазоне концентраций компонентов от 45 % до 85 % мас. $C_{12}EO_4:La(III)$, от 10 % до 50 % мас. H_2O , от 5 % до 30 % мас. $C_{10}H_{21}OH$. Полученные в работе [5] данные показали, что для системы на основе монододецилового эфира тетраэтиленгликоля характерна только ламеллярная фаза. При добавлении деканола, наблюдаются области как ламеллярных, так и гексагональных мезофаз.

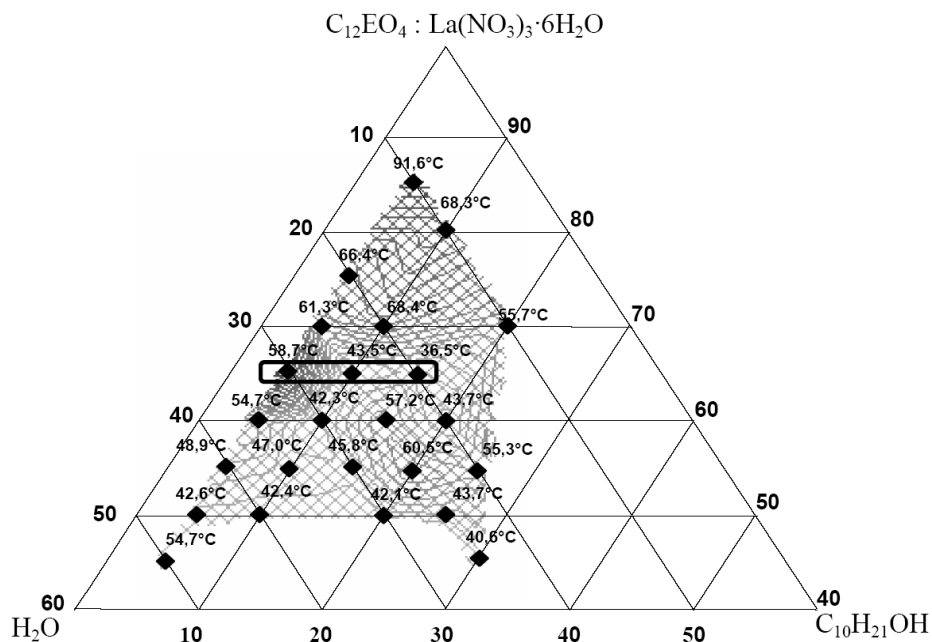


Рис. 2. Фазовая диаграмма многокомпонентной системы $C_{12}EO_4:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$. Указанные температуры характеризуют фазовый переход мезофаза – изотропная жидкость, выделенные области соответствуют гексагональной фазе

Таким образом, установлено влияние деканола на фазовое поведение трёхкомпонентной системы $C_{12}EO_n/La(III)/H_2O$. Присутствие деканола значительно расширяет концентрационный диапазон существования лиотропных мезофаз и вызывает фазовые переходы с образованием как гексагональной, так и ламеллярной фаз, по сравнению с ранее изученными трехкомпонентными композициями $C_{12}EO_n/La(III)/H_2O$, для которых была характерна только одна надмолекулярная организация молекул в мезофазе [5, 6]. В системе $C_{12}EO_{10}/La(III)/H_2O$ в присутствии деканола при определенных массовых соотношениях проявляется лиотропный полиморфизм.

С целью исследования структурных изменений, происходящих в ЛЖК-системах при изменении температуры, были проведены вискозиметрические исследования. При наложении сдвиговых нагрузок вследствие микроструктурной реорганизации жидкокристаллические фазы имеют сложные реологические отклики [11]. Сдвиговая деформация сильно влияет на ориентацию и структуру лиотропных мезофаз, особенно в случае ламеллярных фаз. Авторы [12] показали, что в системе ДСН/вода/деканол в условиях сдвига наблюдается переориентация ламелл. При высоких скоростях сдвига образцы с низким содержанием деканола претерпевали структурные изменения от полидоменов к планарно-ориентированным слоям, далее перпендикулярно-ориентированные слои трансформировались в мультиламеллярные везикулы, обусловленные дефектами структуры ламеллярной фазы. Кроме того, реологические свойства особо чувствительны к фазовым переходам [13, 14].

На рис. 3 представлена температурная зависимость динамической вязкости образца системы $C_{12}EO_{10}:La(III)50\%/H_2O 45\%/C_{10}H_{21}OH 5\%$, проявляющей лиотропный полиморфизм.

В диапазоне температур $10 \div 25 \text{ }^\circ\text{C}$ вязкость системы высока и ее значение определяется при малых скоростях сдвига. При температуре $19 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается максимум

вязкости, связанный с изменением молекулярной упаковки при переходе от гексагональной к ламеллярной фазе. По данным ПОМ при данной температуре наблюдалась смена текстур, характеризующая фазовый переход из гексагональной в ламеллярную фазу.

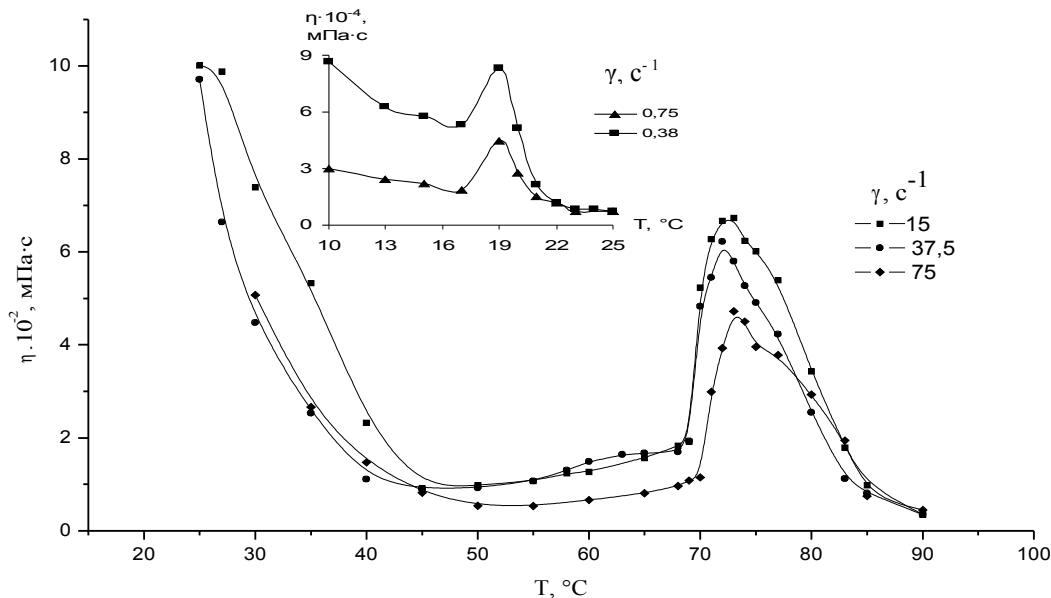


Рис. 3. Температурные зависимости вязкости при различных скоростях сдвига для системы $C_{12}EO_{10}:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$

В интервале температур $25 \div 90$ °С экспериментальные данные представлены при трех скоростях сдвига. Полученные кривые имеют сходный характер. На начальном участке в интервале $25 \div 45$ °С происходит снижение вязкости, обусловленное увеличением подвижности молекул в мезофазе, а также возможной ориентацией молекул в ламеллярных слоях в направлении потока. При дальнейшем увеличении температуры в диапазоне $45 \div 70$ °С наблюдаются относительно пологие участки, где вязкость системы меняется незначительно. Этот участок реологической кривой является нетривиальным с точки зрения зависимости вязкости от температуры. В данном интервале температур, согласно данным ПОМ мезофаза стабильна и не претерпевает фазовых изменений. Вероятно, под влиянием деформации сдвига, происходит переориентация молекул в ламеллярной фазе и вязкость системы слабо меняется.

Максимум на кривой вязкости, наблюдаемый при температуре 73 °С, соответствует фазовому переходу мезофаза – изотропная жидкость. Данная температура фазового перехода подтверждается данными ПОМ. Экстремальный вид температурных зависимостей вязкости характерен для жидкокристаллических систем [15]. Согласно [16] в области фазовых переходов наблюдается скачкообразное изменение вязкости, вызванное разрушением надмолекулярной организации.

На рис. 4 представлены температурные зависимости вязкости при различных скоростях сдвига для системы $C_{12}EO_4:La(III) 65 \%/H_2O 20 \%/C_{10}H_{21}OH 15 \%$. Характер кривых аналогичен исследуемой выше системе. По данным ПОМ в данной системе при $T = 36,5$ °С имеется один фазовый переход из ламеллярной фазы в изотропную жидкость, при этом на реологической кривой наблюдается максимум. Согласно [16] шири-

на и высота пика на температурной кривой вязкости в значительной степени определяется природой вещества. В данном случае, сравнивая системы с различной надмолекулярной организацией молекул видно, что для гексагональной организации характерен менее значительный максимум, по сравнению с ламеллярной фазой.

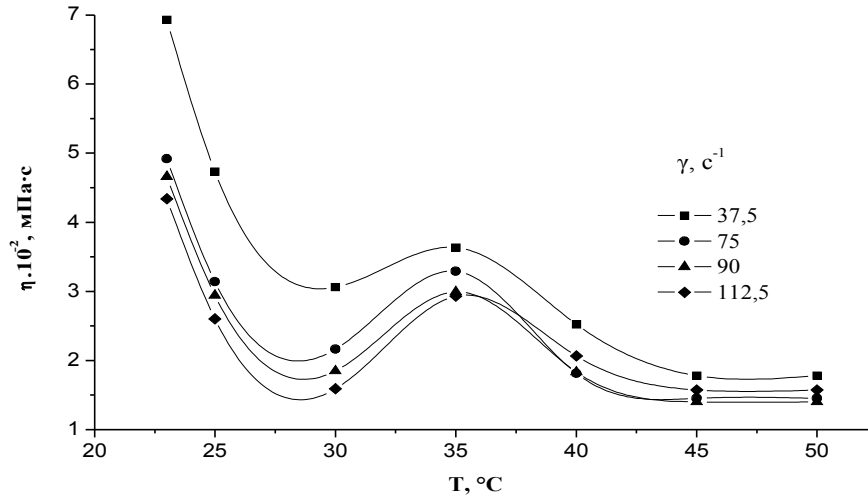


Рис. 4. Температурные зависимости вязкости при различных скоростях сдвига для системы $C_{12}EO_4:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$

Для установления характера и моделей течения ЛЖК систем, были построены зависимости скорости сдвига от напряжения сдвига представленные на рис. 5. Экспериментальные данные регистрировали в условиях роста и снижения скорости деформации, при этом наблюдалось отсутствие гистерезиса кривых течения жидкости.

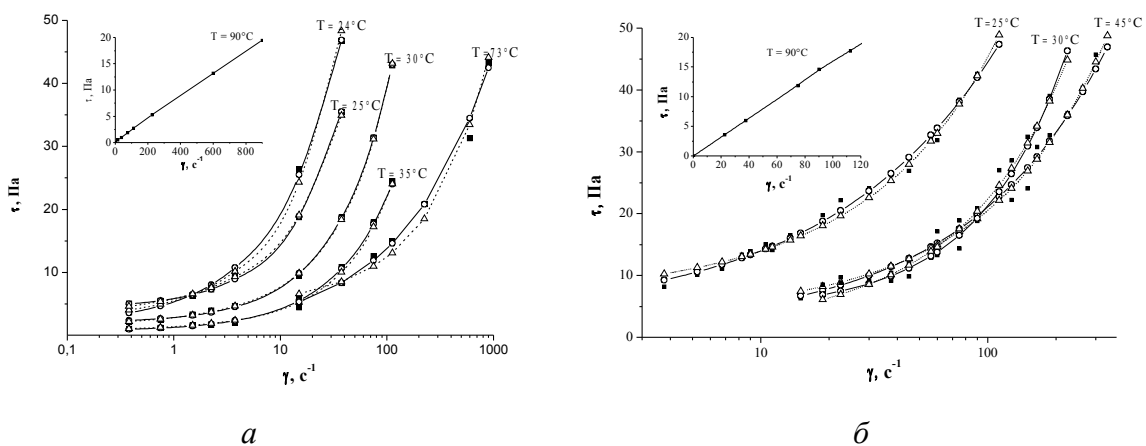


Рис. 5. Кривые течения для системы $C_{12}EO_{10}:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ (а) и $C_{12}EO_4:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ (б) при различных температурах: ■ экспериментальные данные, расчетные кривые по модели Кэссона – ○ –, по модели Гершеля-Балкли – Δ –

Анализ кривых течения показал, что для обеих систем, в интервале температур, соответствующем стабильной мезофазе, характерно неньютоновское течение нелинейного пластичного тела [17]. При температурах выше фазового перехода в изотропную жидкость 90 °С (система а), 50 °С (система б) системы характеризуются ньютоновским течением.

Для описания реологического поведения псевдопластичных и вязко-пластичных систем с заметным динамическим предельным напряжением сдвига используются различные микрореологические модели [18, 19]. Экспериментальные значения аппроксимировались в программе Rheocalc 32 с использованием реологических моделей:

$$\text{модель Ньютона} \quad \tau = \eta \cdot \dot{\gamma}, \quad (1)$$

$$\text{модель Бингама} \quad \tau = \tau_0 + \eta_{пл} \cdot \dot{\gamma}, \quad (2)$$

$$\text{модель Гершеля-Балкли} \quad \tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n, \quad (3)$$

$$\text{модель Кэссона} \quad \tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + (\eta_k \cdot \dot{\gamma})^{1/2}, \quad (4)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; η – пластическая вязкость, Па·с; $\eta_{пл}$, η_k – пластическая вязкость по Бингаму и Кэссону, Па·с; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с⁻¹; K – коэффициент консистенции; n – индекс течения.

В работе [20] неньютоновское течение ламеллярных жидкокристаллических фаз описывалось степенным законом Оствальда. Данную модель исключили из рассмотрения, поскольку для исследуемых систем характерно определенное предельное напряжение сдвига. Модель Бингама, применяемая для описания смесей ПАВ – вода [21] и некоторых ламеллярных фаз на основе додецилдиметилбромид аммония – лецитин – вода [22], в нашем случае показывает низкие коэффициенты корреляции экспериментальных и расчетных данных. Достаточно адекватно экспериментальные кривые описывают модели Кэссона и Гершеля – Балкли, значения реологических параметров которых приведены в табл. 1 – 4. При описании поведения системы C₁₂EO₁₀:La(III)/H₂O/C₁₀H₂₁OH в диапазоне температур 24 ÷ 45 °С наиболее высокая корреляция экспериментальных и теоретических данных наблюдается при использовании модели Гершеля-Балкли, особенно при малых скоростях сдвига. При температурах 55, 60 °С имеются отрицательные значения предельного напряжения сдвига, что не допускает применения этой модели. В общем случае трехпараметрическая модель Гершеля-Балкли не имеет микрореологического обоснования и аппроксимирует любые кривые течения [23], что наблюдается и в нашем случае – коэффициент корреляции ~ 1. В микрореологическую модель Кэссона заложено течение цепочечных, стержнеобразных агрегатов, способных к ориентации в сдвиговом поле. Считается, что при каждой скорости сдвига существуют агрегаты одного среднего размера, обуславливающие отсутствие гистерезиса при равновесном течении [24]. Е. Кирсанов в своих работах использует модель Кэссона для описания как вязкопластичного, так и псевдопластичного течения лиотропных ЖК систем [19], реологию дисперсии латекса характеризует обобщенным уравнением Кэссона [25], в работе [26] модель Кэссона применялась для интерпретации течения эмульсии нефти. Опираясь на полученные результаты и литературные данные [19, 27], оптимальной моделью течения ламеллярных систем C₁₂EO₁₀:La(III)/H₂O/C₁₀H₂₁OH и C₁₂E-O₄:La(III)/H₂O/C₁₀H₂₁OH можно считать модель Кэссона, которая описывает экспериментальные данные в широком интервале скоростей сдвига.

Таблица 1

**Реологические характеристики системы $C_{12}EO_{10}:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$
при различных температурах (модель Кэссона)**

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| T, °C | 15 | 24 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 55 | 60 | 73 | 75 | 83 |
| η_k , мПа·с | 3839 | 807,3 | 465,9 | 258,7 | 150,1 | 66,1 | 37,1 | 16,1 | 21,4 | 24,3 | 30,0 | 21,1 |
| τ_0 , Дин/см ² | 83,8 | 21,0 | 29,9 | 13,8 | 6,34 | 9,82 | 17,5 | 52,0 | 42,3 | 38,6 | 27,1 | 5,61 |
| R | 0,97 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,97 | 0,99 | 0,98 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,94 | 0,97 |

где R – коэффициент корреляции экспериментальных и расчетных данных.

Таблица 2

**Реологические характеристики системы $C_{12}EO_{10}:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$
при различных температурах (модель Гершеля-Балкли)**

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|
| T, °C | 15 | 24 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 55 | 60 | 73 | 85 |
| K, мПа·с | 21084 | 3567 | 1541 | 852,2 | 585,6 | 322,6 | 328,4 | 1753 | 3074 | 1227 | 103,3 |
| n | 0,41 | 0,7 | 0,83 | 0,82 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,45 | 0,39 | 0,52 | 0,81 |
| τ_0 , Дин/см ² | 33,00 | 17,5 | 43,1 | 19,9 | 7,02 | 11,7 | 16,1 | -3,06 | -40,51 | 2,93 | 0,19 |
| R | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 |

Таблица 3

**Реологические характеристики системы $C_{12}EO_4:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$
при различных температурах (модель Кэссона)**

| | | | | | | |
|--------------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|
| T, °C | 23 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| η_k , мПа·с | 153,6 | 191 | 85,9 | 76,8 | 183,6 | 156,8 |
| τ_0 , Дин/см ² | 54,7 | 55,6 | 25,6 | 32 | 15,3 | 5,74 |
| R | 0,98 | 0,97 | 0,97 | 0,96 | 0,94 | 0,94 |

Таблица 4

**Реологические характеристики системы $C_{12}EO_4:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$
при различных температурах (модель Гершеля-Балкли)**

| | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|
| T, °C | 23 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| K, мПа·с | 1513 | 2860 | 820,2 | 236,3 | 245,9 | 92,2 |
| n | 0,67 | 0,58 | 0,69 | 0,89 | 1,01 | 1,13 |
| τ_0 , Дин/см ² | 56,3 | 31,0 | 14,1 | 62,7 | 48,3 | 43,6 |
| R | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |

Таким образом, показано влияния деканола на фазовое поведение трёхкомпонентной системы $C_{12}EO_n/La(III)/H_2O$. Присутствие деканола значительно расширяет концентрационный диапазон существования лиотропных мезофаз и способствует появлению дополнительных фаз. При этом в системе $C_{12}EO_4/La(III)/H_2O$, характеризующейся ламеллярной надмолекулярной организацией, при добавлении деканола в определенных концентрационных пределах, формировалась также и гексагональная фаза. Аналогично, наряду с гексагональной мезофазой в системе $C_{12}EO_{10}/La(III)/H_2O$ наблюдали появление дополнительных областей с ламеллярными фазами.

Установлено, что в системе $C_{12}EO_{10}/La(III)/H_2O$ в присутствии деканола при массовых соотношениях 50 % мас. $C_{12}EO_{10}:La(III)$, 45 % мас. H_2O и 5 % $C_{10}H_{21}OH$ мас. проявляется лиотропный полиморфизм – при изменении температуры наблюдались последовательные фазовые переходы гексагональная мезофаза – ламеллярная – изотропная жидкость.

На основании температурных зависимостей динамической вязкости найдена корреляция изменения реологических свойств со структурными трансформациями, сопровождающимися фазовые переходы. Проведен анализ кривых течения, полученных в широком диапазоне скоростей сдвига, с использованием микрореологических моделей Гершеля – Балкли и Кэссона. Для исследуемых лиотропных систем характерно течение нелинейного пластичного тела. Оптимальной моделью для описания реологического поведения систем $C_{12}EO_{10}:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ и $C_{12}EO_4:La(III)/H_2O/C_{10}H_{21}OH$ является модель Кэссона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 08-03-00984-а.

Список литературы

1. Attard G. S., Leclerc A. A., Maniguet S. et al. // Chem. Mater. 2001. Vol. 13. P. 1444 – 1446.
2. Dellinger T. M., Braun P. V // Chem. Mater. 2004. Vol. 16. P. 2201 – 2207.
3. Dag O., Alayoglu S., Tura C. et al. // Chem. Mater. 2003. Vol. 15. P. 2711 – 2717.
4. Селиванова Н. М., Лобков В. С., Барабанов В. П. и др. // Докл. АН. 2005. № 3. С. 352 – 354.
5. Селиванова Н. М., Зуев Ю. Ф., Галяметдинов Ю. Г. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2008. Вып. 1 (23). С. 60 – 67.
6. Осипова В. В., Селиванова Н. М., Дановский Д. Е. и др. // Вестник Казанского Технологического Университета. 2007. № 5. С. 30 – 35.
7. Селиванова Н. М., Осипова В. В., Стрелков М. В. и др. // Изв. РАН. Серия химическая. 2007. № 1. С. 55 – 59.
8. Селиванова Н. М., Гнездилов О. И., Конов А. Б. и др. // Изв. РАН. Серия химическая. 2008. № 3. С. 495 – 498.
9. Селиванова Н. М., Осипова В. В., Галяметдинов Ю. Г. // ЖФХ. 2006. Т. 80. № 4. С. 753 – 757.
10. Demus D., Goodby J., Gray G. W., Spies H.-W. et al. // Handbook of liquid crystals. Weinheim: Wiley-VCH, 1998. P. 341 – 392.
11. Холмберг Х., Иенссон Б., Кронберг Б. и др. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М.: Бинум, 2007. С. 312 – 326.
12. Zipfel J., Berghausen J., Lindner P. et al. // J. Phys. Chem. B. 1999. Vol. 103. P. 2841 – 2849.

13. Zhou M., Han C. // *Macromolecules*. 2006. Vol. 39. P. 232 – 242.
14. Tamamushi B., Kodaira Y., Matsumura M. // *Colloid and Polymer Science*. 1976. Vol. 254. № 6. P. 571 – 576.
15. Ming Z., Han C. // *Macromolecules*. 2006. Vol. 39. P. 232 – 242.
16. Капустин А. Н. Экспериментальные исследования жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. С. 269 – 368.
17. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под. ред. Ю. А. Махичина. 1990. С. 10 – 15.
18. Малкин А. Я., Исаев А. И. Реология: концепции, методы, приложения: Пер. с англ. СПб.: Профессия, 2007. 557 с.
19. Курсанов Е. А. // *Жидкие кристаллы и их практическое использование*. 2004. Вып. 2(8) . С. 57 – 65.
20. Mezzenga R., Cedric M., Colin S. et al. // *Langmuir*. 2005. Vol. 21. P. 3322 – 3333.
21. Shouche S. V., Chokappa D. K., Naik V. M. et al. // *Journal of Rheology*. 1994. Vol. 38. № 6. P. 1871 – 1884.
22. Youssry M., Coppola L., Nicotera I. et al. // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 321. № 2. P. 459 – 467.
23. Cheng D. C.-H. // *Br. Soc. Rheol. Bull*. 1989. Vol. 32. P. I.
24. Casson N. // *Ed. C. Mill L*. 1959. P. 84.
25. Курсанов Е. А., Тимошин Ю. Н., Новоселова Н. В. и др. // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 2. Химия*. 2006. Т. 47. № 6. С. 387 – 368.
26. Матвеев В. Н., Курсанов Е. А., Ремизов С. В. // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 2. Химия*. 2001. Т. 42. № 5. С. 363 – 392.
27. Дякина Т. А., Деркач С. Р., Петрова Л. А. // *Вестник МГТУ*. 2004. Т. 7. № 1. С. 55 – 57.

Поступила в редакцию 13.01.2009 г.

~~~~~  
Selivanova N.M., Galeeva A.I., Galyametdinov Yu.G.  
Kazan state technological university, Chair physical and Colloid chemistry, 420015 Kazan,  
K.Marx's street, 68.

Ответственный за переписку:  
Селиванова Наталья Михайловна, доцент кафедры физической и коллоидной химии  
ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет», [natsel@mail.ru](mailto:natsel@mail.ru),  
420015 Казань, К.Маркса 68. тел.8432314177.