

© А. В. Номоев, Н. А. Романов, А. С. Демин,  
М. А. Цыренова, Б. Б. Дамдинов

### ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ В ПОЛИМЕРНО-ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

*В статье исследуется зависимость вязкости от концентрации наночастиц в полимерно-дисперсных жидких кристаллах (ПДЖК), а именно от концентрации наночастиц Ta-Si. В рамках исследования было произведено измерение вязкости ПДЖК с добавлением наночастиц. Показано, что при добавлении наночастиц изменяется вязкость полимерно-дисперсной жидкокристаллической смеси. Найдена оптимальная концентрация наночастиц Ta-Si.*

**Ключевые слова:** нанотехнологии, нанопорошки, жидкие кристаллы, жидкокристаллические пленки, композитные наночастицы, янус-подобные наночастицы.

A. V. Nomojev, N. A. Romanov, A. S. Demin,  
M. A. Tsyrenova, B. B. Damdinov

### THE DEPENDENCE OF VISCOSITY ON CONCENTRATION OF NANOPARTICLES IN THE POLYMER-DISPERSED LIQUID CRYSTALS

*The article investigates the dependence of the viscosity on the concentration of the nanoparticles in the polymer-dispersed liquid crystal (PDLC), namely, the concentration of Ta-Si nanoparticles. To do this, the measurements of viscosity PDLC have been made. It was shown that the addition of nanoparticles changes the viscosity of the polymer-dispersed liquid crystal mixture. The optimum concentration of Ta-Si nanoparticles was found.*

**Keywords:** nanotechnology, nanopowders, liquid crystals, liquid crystal films, composite nanoparticles, yanus-like nanoparticles

В статье исследуется зависимость вязкости от концентрации наночастиц в полимерно-дисперсных жидких кристаллах (ПДЖК), а именно от концентрации наночастиц Ta-Si. Для этого было произведено измерение вязкости ПДЖК. Жидкие кристаллы широко исследованы из-за их уникальный электро- и магнито-оптических свойств, они используются в технике, промышленности и медицинских приборах. Наноструктурные материалы являются перспективными материалами для потенциального применения в технологии дисплеев.

Композиционные материалы на основе жидких кристаллов могут быть получены с использованием различных наночастиц для повышения электрооптических свойств жидких кристаллов и для устранения некоторых

нежелательных эффектов для электрооптических жидкокристаллических ячеек.

Допирование жидких кристаллов наночастицами приводит к изменению ориентации молекул, диэлектрической анизотропии и проводимости жидкого кристалла, также возникает изменение динамических и оптических характеристик жидкокристаллических ячеек в электрическом поле. После добавления наночастиц в ЖК матрицу, порядок молекул в ЖК матрице может разрушиться или стать менее упорядоченным. В то же время наночастицы являются достаточно большими по размеру, чтобы поддерживать внутренние свойства материала, из которого они сделаны, и часть этих частиц фиксируется и сцепливается с ЖК молекулой.

### Экспериментальная часть

В качестве материалов для создания полимерно-дисперсных жидких кристаллов использовались следующие соединения: коммерческие поливинилацетат и нематический жидкий кристалл с положительной диэлектрической анизотропией 4-пентил-4'-цианобифенил (5СБ). Выбор этих компонентов объясняется их доступностью и достаточной изученностью.

Наночастицы применялись для допирования исходной полимерно-жидкокристаллической смеси. Они были получены путем испарения исходных монокристаллических материалов на релятивистском ускорителе электронов с последующей конденсацией паров в потоке транспортного газа аргона.

В работе использовались нематические жидкие кристаллы 5СБ и наночастицы Ta-Si. Было приготовлено несколько образцов дисперсий полимер-ЖК-наночастицы, отличающихся друг от друга концентрацией добавляемых частиц. Концентрация наночастиц составляли 2%, 1%, 0,5%, 0,25%, 0,125% и рассчитывалась в зависимости от массы. Взвешивание суспензии производилась на аналитических весах (Vibra AF 224RCE).

Смесь полимера, жидких кристаллов и наночастиц обрабатывалась ультразвуком в течение 10 мин при частоте 22 кГц.

Измерения проводились с помощью реометра Anton Paar MCR 52. Реометр оснащен низкофрикционным подшипником, датчиком нормального давления и прецизионным мотором, что позволяет производить тесты с минимальным крутящим моментом 200 мкН. Образец был установлен между параллельными пластинами, нагретыми до 20<sup>0</sup>С.

Размер наночастиц Ta-Si оценивался с помощью лазерного анализатора размеров частиц компании Shimadzu SALD-7500 nano. Для определения качественного элементного состава наночастиц использовался JEOL SEM/EDX JSM 6010LA.

### Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлено изображение качественного элементного состава наночастиц Ta-Si, добавляемых в суспензию жидкого кристалла. Диапазон

энергий составляет 0 до 21 кэВ, интенсивность излучения 10527 чпс. Массовая доля Ta и Si, 49% и 38% соответственно.

На рис. 2 представлено изображение распределения наночастиц Ta-Si по размерам, оценивающийся с помощью лазерного анализатора размеров частиц компании Shimadzu SALD-7500 nano. Средний диаметр наночастиц составил 336 нм. Наименьший диаметр наночастиц составил 7 нм.

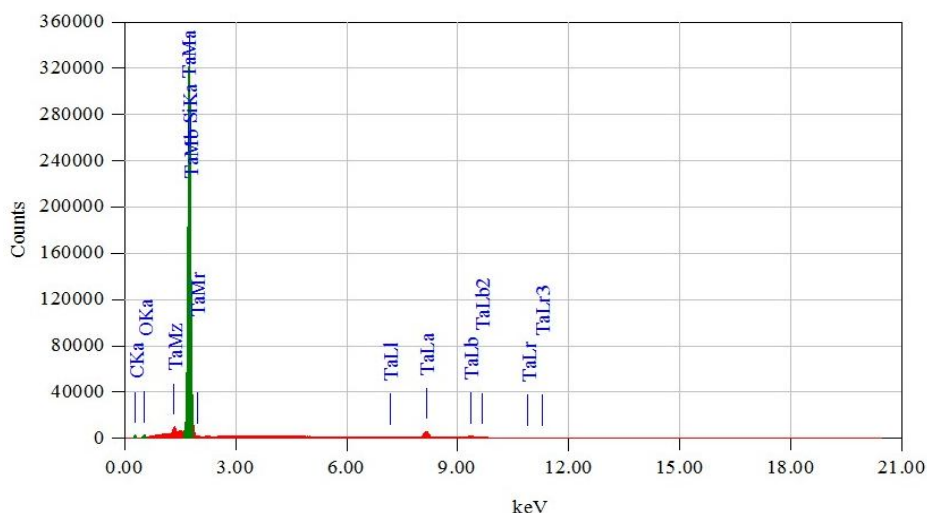


Рис. 1 Элементарный состав наночастиц Ta-Si



Рис. 2. Распределение наночастиц Ta-Si по размерам

На рис. 3 представлена зависимость вязкости жидких кристаллов для разных значений концентраций наночастиц Ta-Si. Как видно из рисунка, вязкость ЖК меняется. Вязкость ЖК понижается с добавлением наночастиц, при этом, чем меньше концентрация тем меньше становится вязкость. Отклонение наблюдается при минимальной концентрации наночастиц 0,125 % мас. ЖК, это связано с тем что суспензия приближается к результату

чистых ЖК. Значит, существует оптимальная концентрация наночастиц, при которой вязкость минимальна.

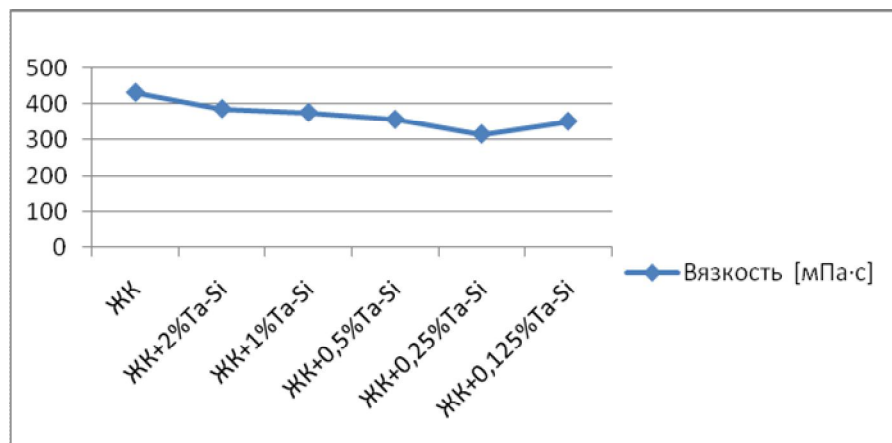


Рис. 3. Зависимость вязкости жидких кристаллов от концентрации

Диэлектрическая анизотропия влияет на рабочее напряжение, пик пропускания, и время отклика через вязкость. Время отклика прямо пропорционально вязкости и обратно пропорционально диэлектрической анизотропии. Зависимость средней вязкости от концентрации наночастиц при постоянной скорости сдвига показаны в таблице

Таблица

Зависимость средней вязкости от концентрации наночастиц

Образец	Скорость сдвига [1/с]	Вязкость [мПа·с]
ЖК	100	432,3
ЖК+2%Ta-Si	100	386,34
ЖК+1%Ta-Si	100	375,6
ЖК+0,5%Ta-Si	100	355,93
ЖК+0,25%Ta-Si	100	314,7
ЖК+0,125%Ta-Si	100	350,61

### Выводы

1. При добавлении наночастиц изменяется вязкость полимерно-дисперсной жидкокристаллической смеси
2. Концентрация наночастиц Ta-Si 0.25 дает лучший показатель по вязкости (с постоянной скоростью сдвига) по сравнению с другими концентрациями, а значит, и лучшее время отклика ЖК.

3. Для объяснения механизмов наблюдаемых явлений необходимо проведение дальнейших исследований вязкоупругих свойств композитных сред на основе ЖК с наночастицами. Это позволит оптимизировать динамические характеристики таких композитных сред для их практического использования в оптических устройствах.

### **Литература**

1. Podoliak N., Buchnev O., Herrington M. Elastic constants, viscosity and response time in nematic liquid crystals doped with ferroelectric nanoparticles // RSC Advances. - 2014. - V. 4. - 46068
2. Mishra M., Dabrowski R. S., Dhar R. Thermodynamical, optical, electrical and electro-optical studies of a room temperature nematic liquid crystal 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl dispersed with barium titanate nanoparticles // J. of Molecular Liquids. - 2016. - V. 213. - P. 247–254.
3. Щербинин Д. П., Коншина Е. А., Солодков Д. Е. Изменение вращательной вязкости нематического жидкого кристалла и плотности зарядов при добавлении квантовых точек CdSe/ZnS // Письма в ЖТФ. - 2015. - Т. 41, вып. 16. - С.
4. Kaneko K., Ujihara Y., Oto K., Hashishin T., Hanasaki T. Electric-Field-Induced Viscosity Change of a Nematic Liquid Crystal with Gold Nanoparticles // Chem. Phys. Chem Communications. - 2016. - V. 16, № 5. – P. 919-922.

**Номоев А.В.**, доктор физико-математических наук, доцент, Бурятский государственный университет, Россия, Улан-Удэ, E-mail: nomoevav@mail.ru

**Романов Н.А.**, научный сотрудник, лаборатория физики наносистем, Бурятский государственный университет, Россия, Улан-Удэ, E-mail: nromanovv@mail.ru

**Демин А.С.**, магистрант, Бурятский государственный университет, Россия, Улан-Удэ

**Цыренова М.А.**, аспирант, лаборатория физики наносистем, Бурятский государственный университет, Россия, Улан-Удэ, E-mail: mtsyrenova93@mail.ru

**Дамдинов Б.Б.**, доктор физико-математических наук, доцент, Бурятский государственный университет, Россия, Улан-Удэ, E-mail: dababa@mail.ru

**Nomoev A.V.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Buryat State University, Ulan-Ude, Russia, E-mail: nomoevav@mail.ru

**Romanov N.A.**, Reseacher Associate, Laboratory of Physics of Nanosistems, Buryat State University, Ulan-Ude, Russia, E-mail: nromanovv@mail.ru

**Demin A.S.**, undergraduate, Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

**Tsyrenova M.A.**, Postgraduate Student, Laboratory of Physics of Nanosistems, Buryat State University, Ulan-Ude, Russia, E-mail: mtsyrenova93@mail.ru

**Damdinov B.B.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Buryat State University, Ulan-Ude, Russia, E-mail: dababa@mail.ru