

# Влияние акустического поля на эффект памяти в полимерно-дисперсных жидкокристаллических пленках, допированных наночастицами диоксида кремния

Т. А. Чимытов<sup>1, 2</sup>, А. В. Номоев<sup>1, 2</sup>, Д. Ж. Базарова<sup>2, 3</sup>, С. В. Калашников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук

<sup>2</sup> Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова

<sup>3</sup> Бурятский республиканский институт образовательной политики

*Аннотация:* В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния акустического поля в диапазоне частот 200÷2500 Гц на эффект памяти в полимерно-дисперсных жидкокристаллических пленках, допированных наночастицами SiO<sub>2</sub> (0.1 мас. %). Эффект памяти в этих пленках регистрировался по диэлектрическому гистерезису в результате вольт-фарадных измерений. Установлено, что наблюдаемое после каждого такого измерения приращение электрической емкости снижается с ростом частоты акустического поля. При колебаниях звука на частоте 2000 Гц эффект памяти полностью исчезает за счет разрушения сетки наночастиц диоксида кремния и, соответственно, появления изотропной ориентации молекул жидких кристаллов.

*Ключевые слова:* жидкие кристаллы, ПДЖК, эффект памяти, диоксид кремния, наночастицы, резонанс.

*Для цитирования:* Чимытов Т. А., Номоев А. В., Базарова Д. Ж., Калашников С. В. Влияние акустического поля на эффект памяти в полимерно-дисперсных жидкокристаллических пленках, допированных наночастицами диоксида кремния // Вестник СибГУТИ. 2023. Т. 17, № 3. С. 70–77. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-3-70-77>.



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0  
License

© Чимытов Т. А., Номоев А. В.,  
Базарова Д. Ж., Калашников С. В., 2023

Статья поступила в редакцию 21.03.2023;  
принята к публикации 12.04.2023.

## 1. Введение

Несмотря на то, что технология изготовления полимерно-дисперсных жидкокристаллических (ПДЖК) пленок первого поколения была разработана и запатентована уже достаточно давно (в середине 1980-х годов), рыночный спрос на продукцию ПДЖК-индустрии не угасает. Такие пленки сочетают в себе уникальные оптовременные свойства жидких кристаллов, а также механические свойства полимерной матрицы, в которой они диспергированы. Одним из известных способов модификации пленок является допирование в структуру различного вида наночастиц. Такие системы могут обладать дополнительными уникальными физическими свойствами, в частности электрофоретическими и трибоэлектрическими [1, 2].

В работе [3] было показано, что даже небольшое количество сегнетоэлектрических наночастиц (НЧ) титаната бария в нематическом ЖК 5цб вызывает достаточно сильный электро-механический эффект памяти в изотропной фазе, который проявляется в гистерезисном поведении диэлектрических характеристик. Авторы объясняют возникновение этого эффекта образованием псевдонематических доменов ближнего действия вокруг каждой сегнетоэлектрической НЧ.

В работе [4] эффект памяти наблюдался в ЖК-ячейках с НЧ диоксида кремния  $\text{SiO}_2$ . В качестве механизма возникновения эффекта авторы предположили, что НЧ  $\text{SiO}_2$  образуют агломерационную сетку, стабилизирующую молекулы в направлении электрического поля, что в итоге и приводит к диэлектрическому гистерезису.

Влияние допирования НЧ диоксида кремния на физические свойства ЖК исследовалось в работах [5–7]. С одной стороны, допирование НЧ диоксида кремния приводит к замедлению времени отклика ПДЖК-пленки, что объясняется уменьшением диэлектрической анизотропии, а также к уменьшению контрастности. С другой стороны, легирование НЧ диоксида кремния в ПДЖК пленках приводит к увеличению светопропускания и увеличению размера капель ЖК в пленке, при этом увеличение концентрации НЧ приводит к снижению порогового напряжения.

Следует отметить, что создание программируемых запоминающих устройств на основе таких жидкокристаллических систем открывает широкие перспективы в многоуровневых системах хранения данных. Также такие ПДЖК+НЧ-системы могут найти применение в СВЧ-антеннах в качестве анизотропной диэлектрической среды, а также в датчиках давления с памятью, в средствах визуализации течений в аэродинамических исследованиях и других подобных отраслях. В этих областях такие системы могут подвергаться вибрациями, особенно в диапазоне звуковых частот. Воздействие вибрации может отрицательно сказаться на свойствах жидкокристаллических пленок и устройств, содержащих их.

Настоящее исследование посвящено экспериментальному изучению влияния механических (акустических) колебаний в диапазоне частот от 200 Гц до 2500 Гц на диэлектрические свойства ПДЖК-пленок.

## 2. Материалы и методы

В данной работе использовался нематический жидкий кристалл 5цб (4-циано-4'-пентил-бифенил), легированный НЧ  $\text{SiO}_2$ . Наночастицы диоксида кремния получены методом газо-фазного синтеза в Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ, Россия); источником нагрева служил релятивистский ускоритель электронов [8]. Частицы имеют сферическую форму со средним размером около 50 нм. На рис. 1 представлено изображение агломератов НЧ на поверхности подложки, полученное при помощи атомно-силового микроскопа SolverNext (производство НТ-МДТ, кантилевер НА\_NX/W2C). Для предотвращения агломерации применялась ультразвуковая кавитация.

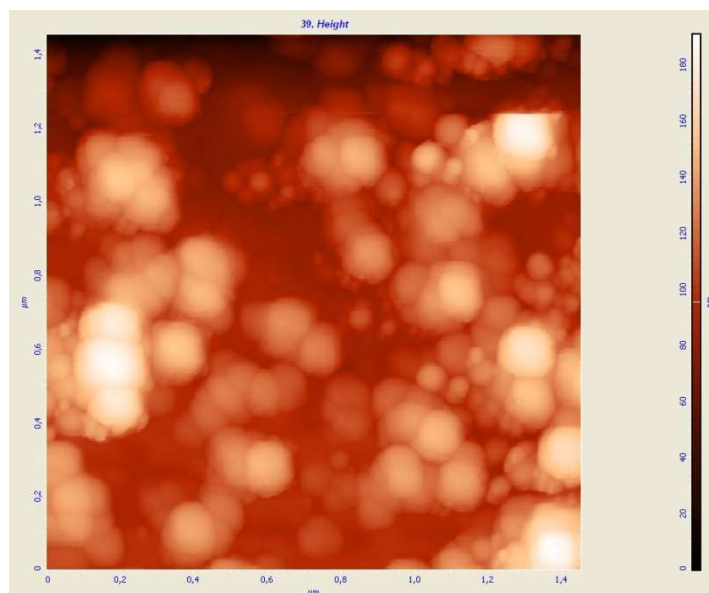


Рис. 1. Изображение наночастиц диоксида кремния, полученное на атомно-силовом микроскопе

Для исследования диэлектрических свойств были изготовлены ячейки ПДЖК, содержащие модифицированные ЖК (5цб+полимер+НЧ). Ячейка представляет собой конденсатор с двумя стеклянными пластинами, покрытыми оксидом индия-олова (ИТО). Расстояние между стеклянными пластинами составляло 60 мкм, а площадь электрода составляла примерно 1 см × 1 см.

Ячейки ПДЖК, зажатые между двумя стеклами ИТО, изготовлены по следующей технологии: полимер (поливинилацетат), ЖК и НЧ смешивали в растворителе в соотношении 49.5:49.5:1 при помощи ультразвуковой кавитации в течение 15 минут. Это время диспергирования гарантирует, что частицы равномерно будут распределены по раствору [6]. Затем при испарении растворителя ЖК и полимерная фазы разделялись: ЖК в полимере представляли собой капли размером 5–6 мкм, по данным микроскопии в поляризованном свете. НЧ легировали в ячейку ПДЖК в концентрации 0.1 мас. %.

Схема ПДЖК-ячейки показана на рис. 2 (не в масштабе). Молекулы ЖК в смеси с НЧ располагаются в полостях полимера, при этом в каждой полости НЧ образуют агломерационную сетку. В начальном состоянии нулевого напряжения смещения представлена ячейка с малой общей емкостью (рис. 2а). При воздействии электрического поля на ячейку ЖК ориентируются вдоль поля (вертикально), емкость при этом увеличивается (рис. 2б). В дальнейшем при отключении поля емкость ячейки не возвращается к исходному значению, так как сетка из НЧ стабилизирует ЖК в вертикальной ориентации (рис. 2в).

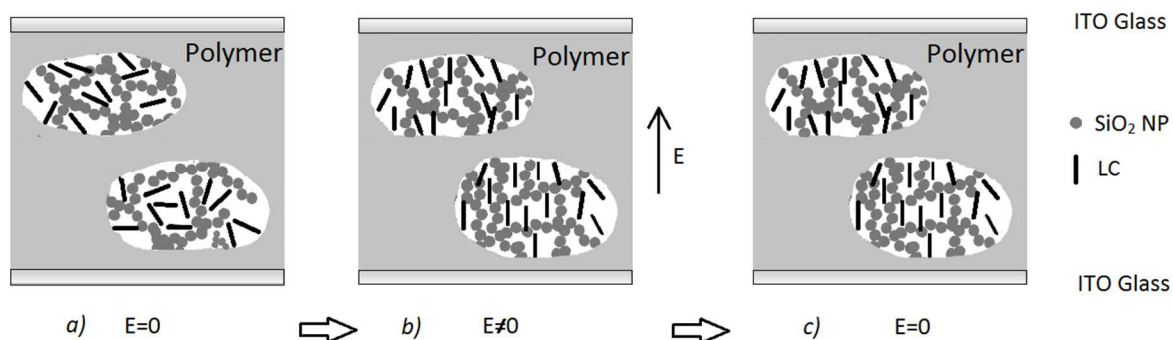


Рис. 2. Схема ячейки НЧ  $\text{SiO}_2$  в нематической фазе. Сферы представляют НЧ, а линии представляют молекулы ЖК.

- (а) исходная ориентация без электрического поля; б) включается электрическое поле;  
в) электрическое поле выключено

Все вольт-фарадные измерения проводились на частоте 10 кГц генератора переменного напряжения в измерительной системе собственного изготовления с симметричным мостом Шеринга переменного тока [9]. Емкость ячейки  $C$  измерялась как функция приложенного напряжения смещения. Для наглядности емкость в измерениях нормировалась:  $\frac{C - C_0}{C_0}$ , где  $C$

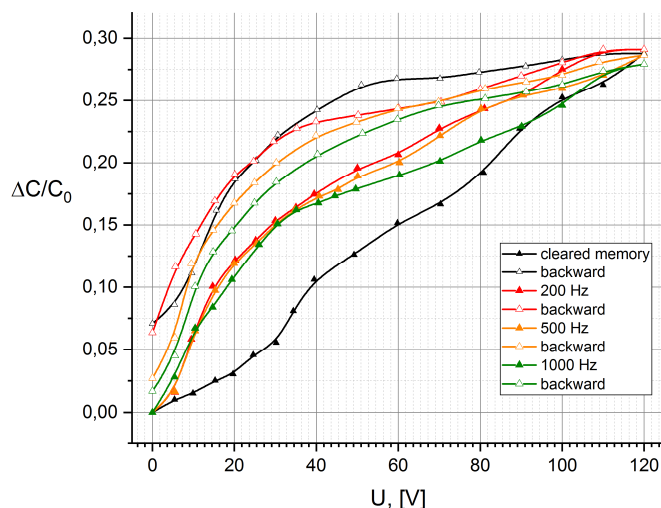
и  $C_0$  – фактическая емкость и ее значение при  $U = 0$  В соответственно. Напряжение смещения варьировалось в диапазоне от 0 до 120 В, верхний предел подбирался таким образом, чтобы избежать пробоя в ячейках.

Для механического (акустического) воздействия на исследуемые ячейки использовалась среднечастотная динамическая головка, снабженная специальным держателем, при этом ее питание осуществлялось от генератора синусоидального сигнала. АЧХ динамической головки линейна в диапазоне от 200 до 2500 Гц, что и определяет выбор частот колебаний для текущего исследования.

После каждого вольт-фарадного измерения ПДЖК-ячейки приводили в исходное состояние изотропной ориентации молекул ЖК путем нагрева до температуры фазового перехода (35 °С).

### 3. Результаты эксперимента

На рис. 3. представлены графики изменения относительной емкости от приложенного напряжения в зависимости от частоты акустического поля. На всех графиках, как и ожидалось, присутствует гистерезис ёмкости. После каждого измерения на ячейках наблюдается положительный прирост емкости (эффект памяти). Однако стоит отметить, что с ростом частоты акустических колебаний приращение емкости уменьшается. Площадь петли гистерезиса после воздействия звуком также уменьшается. При частоте колебаний 2000 Гц остаточная емкость ячейки была равна исходной, т.е. эффект памяти в ПДЖК-ячейке полностью исчезает.



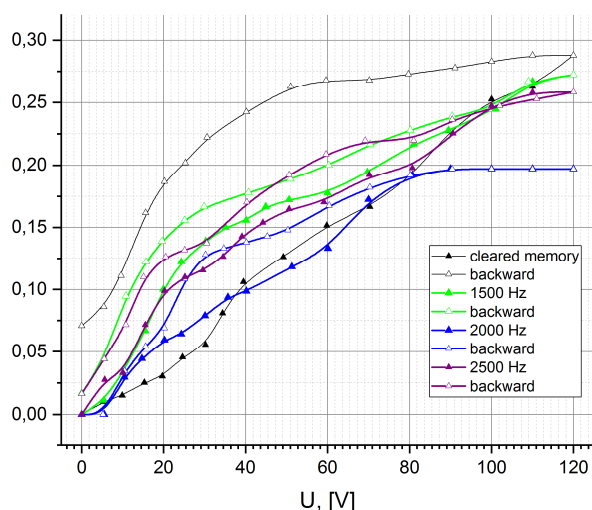


Рис. 3. Графики зависимости относительной емкости ячеек ПДЖК от приложенного напряжения

На рис. 4а представлена зависимость остаточной емкости ячейки в зависимости от частоты приложенных акустических колебаний. Снижение остаточной емкости наблюдается с увеличением частоты и достигает минимума на частоте 2000 Гц. На рис. 4б показана зависимость максимальной емкости ячейки в зависимости от акустической частоты. Здесь также наблюдается минимум на 2000 кГц. Такое поведение емкости указывает на резонансный механизм разрушения агломерационной структуры НЧ.

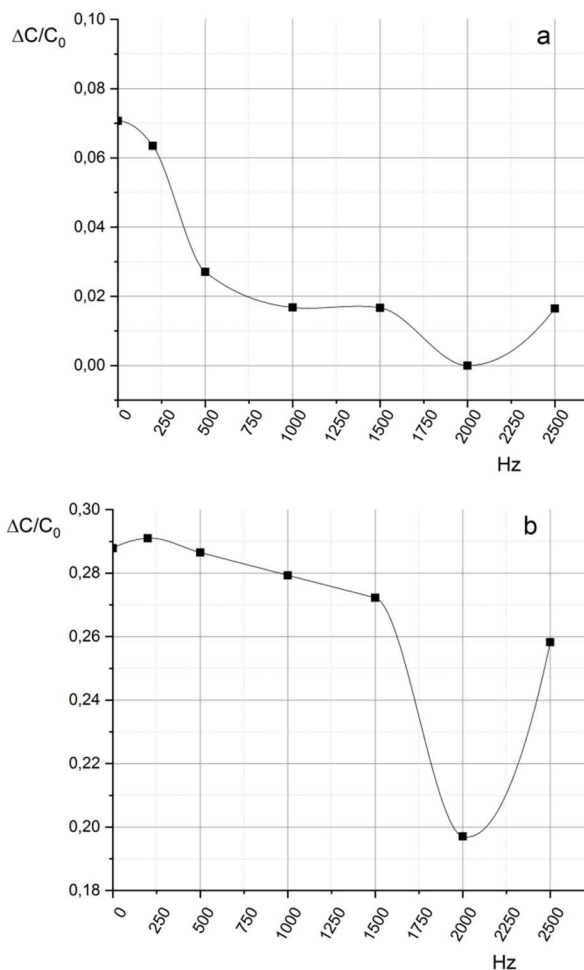


Рис. 4. а) зависимость конечной (при  $U = 0$ ) относительной емкости ПДЖК-ячейки от частоты приложенного к ней акустического воздействия; б) зависимость относительной емкости при максимальном напряжении ( $U = 120$  В) от частоты акустических колебаний

## 4. Заключение

В результате воздействия акустическим полем на ПДЖК-ячейки с наночастицами диоксида кремния было обнаружено постепенное уменьшение эффекта памяти с минимумом на частоте 2000 кГц. Такое влияние акустической вибрации на память, имеющую электрофизическую природу, можно объяснить тем, что вибрации ячеек приводят к разрушению сетки частиц диоксида кремния в структуре полимерной жидкокристаллической пленки, что, в свою очередь, приводит к потере остаточной упорядоченной ориентации молекул ЖК. По-видимому, частота 2000 Гц является резонансной для используемого типа ЖК-ячейки, что способствует активной изотропной ориентации молекул жидкого кристалла.

Вероятнее всего, акустические вибрации могут оказывать влияние и на другие типы модифицирующих наночастиц для ПДЖК-пленок, изменяя их анизотропные диэлектрические и другие характеристики. Поэтому в некоторых практических областях применения этих пленок (например, в активных СВЧ-антеннах) это может приводить к негативным последствиям.

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках гранта государственного задания № 0270-2021-002.

Исследование проведено с использованием оборудования БНЦ «Приборы науки» Бурятского государственного университета им. Доржи Банзарова.

## Литература

1. *Nasir N., Hong H., Rehman M., Kumar S., Seo Y.* Polymer-dispersed liquid-crystal-based switchable glazing fabricated via vacuum glass coupling // *RSC Adv.* 2020. № 10.
2. *John N., Varanakkottu S., Varghese S.* Flexible, ferroelectric nanoparticle doped polymer dispersed liquid crystal devices for lower switching voltage and nanoenergy generation // *Optical Materials.* 2018. № 80. P. 233–240.
3. *Basu R.* Soft memory in a ferroelectric nanoparticle-doped liquid crystal // *Phys. Rev.* 2014. E 89, 022508.
4. *Gdovinova V., Tomasovicova N., Jeng S.-C., Zakutanska K., Kula P., Kopcansky P.* Memory effect in nematic phase of liquid crystal doped with magnetic and non-magnetic nanoparticles // *Journal of Molecular Liquids.* 2019. № 282. P. 286–291
5. *Kim E., Liu Y., Hong S., In Han J.* Effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticle doping on electro-optical properties of polymer dispersed liquid crystal lens for smart electronic glasses // *Nano Convergence.* 2015. № 2. P. 1–4.
6. *Romanov N. A., Kalashnikov S. V., Nomoiev A. V.* Study of the properties of liquid crystals modified by nanoparticles // *Journal of Applied Physics.* 2016. № 119 (9), 094304.
7. *Jayoti D., Malik P., Singh A.* Analysis of morphological behavior and electro-optical properties of silica nanoparticles doped polymer dispersed liquid crystal composite // *Journal of Molecular Liquids.* 2017. № 225. P. 456–461.
8. *Bardakhanov S. P., Korchagin A. I., Kuksanov N. K., Lavrukhin A. V., Salimov R. A., Fadeev S. N., Cherepkov V. V.* Nanopowders obtained by evaporating initial substances in an electron accelerator at atmospheric pressure // *Doklady of Physics.* 2006. № 51. P. 353–356.
9. *Kalashnikov S. V., Romanov N. A., Nomoiev A. V.* Installation for measuring the dielectric anisotropy of liquid crystals at low frequencies by the bridge method with constant displacement // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. № 1198 (1), 012006.

**Чимытов Тимур Андреевич**

к.ф.-м.н., декан физико-технического факультета Бурятского государственного университета им. Доржи Банзарова (БГУ, 670000, Республика Бурятия, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а), e-mail: tchimytov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3264-7792.

**Номоев Андрей Валерьевич**

д.ф.-м.н., директор Института физического материаловедения СО РАН (ИФМ СО РАН, 670047, Республика Бурятия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6), e-mail: nomoevav@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2794-4450.

**Базарова Дашима Жамбаловна**

старший преподаватель Бурятского республиканского института образовательной политики (ГАУ ДПО РБ «БРИОП», 670000, Республика Бурятия, Улан-Удэ, ул. Советская, 30), e-mail: ars-d@mail.ru, ORCID ID: 0000-0009-7380-2045.

**Калашников Сергей Васильевич**

к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории физики наносистем Бурятского государственного университета им. Доржи Банзарова (БГУ, 670000, Республика Бурятия, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а), e-mail: betch\_kail@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3272-0072.

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.*

### **Influence of Mechanical Vibration Actions on the Memory Effect of PDLC Films Doped with SiO<sub>2</sub> Nanoparticles**

Chimytov Timur<sup>1,2</sup>, Nomoev Andrey<sup>1,2</sup>, Bazarova Dashima<sup>2,3</sup>,  
Kalashnikov Sergey<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inst. of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Buryat State University named after Dorzhi Banzarov

<sup>3</sup> Buryat Republican Institute of Educational Policy

**Abstract:** The effect of mechanical vibration in the frequency range from 200 Hz to 2500 Hz on the memory effect in 5CB polymer dispersed liquid crystals doped with SiO<sub>2</sub> nanoparticles has been studied. As a result of capacitance-voltage measurements, the dependences of the dielectric properties of liquid crystal cells with 0.1 wt% SiO<sub>2</sub> on the bias voltage. It has been established that the memory effect detected by dielectric hysteresis in polymer dispersed liquid crystals with silicon dioxide nanoparticles monotonically decreases with increasing oscillation frequency and completely disappears at a frequency of 2000 Hz due to the destruction of the network of silica nanoparticles and, respectively, the appearance of an isotropic orientation liquid crystals molecules.

**Keywords:** liquid crystals, memory effect, vibration, polymer films, capacity of PDLC cells.

**For citation:** Chimytov T. A., Nomoev A. V., Bazarova D. Zh., Kalashnikov S. V. Influence of mechanical vibration actions on the memory effect of PDLC films doped with SiO<sub>2</sub> nanoparticles. (in Russian). *Vestnik SibGUTI*, 2023, vol. 17, no. 3, pp. 70-77. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-3-70-77>.



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0  
License

© Chimytov T. A., Nomoev A. V.,  
Bazarova D. Zh., Kalashnikov S. V., 2023

The article was submitted: 21.03.2023;  
accepted for publication 12.04.2023.

## References

1. Nasir N., Hong H., Rehman M., Kumar S., Seo Y. Polymer-dispersed liquid-crystal-based switchable glazing fabricated via vacuum glass coupling. *RSC Adv*, 2020, no. 10.
2. John N., Varanakkottu S., Varghese S., Flexible, Ferroelectric nanoparticle doped polymer dispersed liquid crystal devices for lower switching voltage and nanoenergy generation. *Optical Materials*, 2018, vol. 80, pp. 233-240.
3. Basu R. Soft memory in a ferroelectric nanoparticle-doped liquid crystal. *Phys. Rev*, 2014, E 89.
4. Gdovinova V., Tomasovicova N., Jeng S-C., Zakutanska K., Kula P., Kopcansky P. Memory effect in nematic phase of liquid crystal doped with magnetic and non-magnetic nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 2019, vol. 282, pp. 286-291
5. Kim E., Liu Y., Hong S., In Han J. Effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticle doping on electro-optical properties of polymer dispersed liquid crystal lens for smart electronic glasses. *Nano Convergence*, 2015, vol. 2, pp. 1-4.
6. Romanov N. A., Kalashnikov S. V., Nomoev A. V. Study of the properties of liquid crystals modified by nanoparticles. *Journal of Applied Physics*, 2016, 119 p.
7. Jayoti D., Malik P., Singh A. Analysis of morphological behavior and electro-optical properties of silica nanoparticles doped polymer dispersed liquid crystal composite. *Journal of Molecular Liquids*, 2017, vol. 225, pp. 456-461.
8. Bardakhanov S. P., Korchagin A. I., Kuksanov N. K., Lavrukhin A. V., Salimov R. A., Fadeev S. N., Cherepkov V. V. Nanopowders obtained by evaporating initial substances in an electron accelerator at atmospheric pressure. *Doklady Of Physics*, 2006, vol. 51, pp. 353-356.
9. Kalashnikov S. V., Romanov N. A., Nomoev A. V. Installation for measuring the dielectric anisotropy of liquid crystals at low frequencies by the bridge method with constant displacement. *IOP Conf. Ser., Mater. Sci. Eng.*, 2021, 1198.

### Timur A. Chimytov

Cand. Sci., Dean of the Faculty of Physics and Technology of Buryat State University (BSU, 670000, Russia, Ulan-Ude, Smolina St. 24a), e-mail: tchimytov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3264-7792.

### Andrey V. Nomoev

Dr. of Sci., Director of the Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPMS, 670047, Russia, Ulan-Ude, Sahyanova St. 6), e-mail: nomoevav@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2794-4450.

### Dashima Zh. Bazarova

Senior lecturer of Buryat Republican Institute of Educational Policy (BRIEP, 670000, Russia, Ulan-Ude, Sovetskaya St. 30), e-mail: ars-d@mail.ru, ORCID ID: 0000-0009-7380-2045.

### Sergey V. Kalashnikov

Cand. Sci., Researcher, Laboratory of Physics of Nanosystems of Buryat State University (BSU, 670000, Russia, Ulan-Ude, Smolina St. 24a), e-mail: betch\_kail@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3272-0072.