

*На правах рукописи*

**ЭГАМОВ МУХТОР ХАСАНОВИЧ**

**СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СРЕД НА  
ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА И ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния**

**Душанбе-2026**

Работа выполнена в лаборатории физики Худжандского научного центра Национальной академии наук Таджикистана.

**Научный консультант:** **Махсудов Барот Исломович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры ядерной физики Таджикского национального университета

**Официальные оппоненты:** **Тимеркаев Борис Ахунович** – член-корр. АН Республики Татарстан, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ;  
**Курзина Ирина Александровна** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры природных соединений, фармацевтической и медицинской химии Томского государственного университета;  
**Номоев Андрей Валерьевич** – доктор физико-математических наук, профессор, директор Института физического материаловедения СО РАН.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное унитарное предприятие НПП «Инжект», г. Саратов, Россия

Защита состоится 22 сентября 2026 г. в 10:00 час на заседании объединенного диссертационного совета 99.0.057.02 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Таджикском национальном университете по адресу: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Таджикского национального университета (734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17) и на сайте ТНУ ([www.tnu.tj](http://www.tnu.tj))

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.

**Ученый секретарь объединенного диссертационного совета 99.0.057.02, кандидат физико-математических наук**

**Табаров С.Х.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Бурное развитие нанотехнологии способствует усилению актуального исследования различных поверхностных явлений на границе раздела двух сред. Такие эффекты особенно четко проявляются, когда одна из таких сред жидкокристаллическая. Функционирование всех жидкокристаллических устройств основано на свойствах жидкокристаллического слоя, которые определяются формированием соответствующих граничных условий.

Жидкокристаллические композиты представляют собой полимерную матрицу, в объёме которой распределены дисперсные включения в виде капсул, содержащих нематическую жидкокристаллическую фазу.

Они привлекательны тем, что сочетают в себе полезные свойства полимеров (механическая прочность, стабильность, гибкость, невысокая стоимость) с уникальными физическими свойствами жидких кристаллов (анизотропия оптических и диэлектрических свойств). Такие композитные материалы позволяют использовать относительно простую, одноэтапную технологию оптической записи, долговременно хранить поляризационное состояние, что обеспечивает высокую поляризационную селективность записанных поляризационных решеток.

Типичным примером таких композитов является переориентация слоя нематического жидкого кристалла (НЖК), диспергированного в полимерной пленке, типа поливинилового спирта (ПВС) и поливинилбутираль (ПВБ). При этом ориентирующее воздействие пленки должно быть различным (планарным или гомеотропным). Вариация температуры или толщины полимерной пленки изменяет баланса ориентирующего действия и инициирует переориентацию слоя ЖК.

Макроскопические и оптические свойства диспергированных полимером жидкокристаллических плёнок определяются ориентационной структурой жидкого кристалла в каплях; её модификация позволяет целенаправленно управлять оптическими характеристиками всей плёнки.

Первые микроскопические наблюдения капельных ЖК дисперсий были проведены еще в XIX веке основоположником науки о жидких кристаллах О. Леманом [Lehmann O., Ztschr. Phys. Chem., 5, 427 (1890)]. Диспергируя нематический ЖК в канадском бальзаме и других вязких матрицах, он выявил два различных типа ориентации оптической оси - биполярное и радиальное.

В последующих исследованиях было установлено, что ориентационное упорядочение жидкого кристалла в каплях определяется рядом факторов, включая соотношение упругих констант жидкого кристалла, размеры и форму капель, а также внешние воздействия и граничные условия.

В последние годы выполнен ряд оригинальных исследований, направленных на разработку и изучение жидкокристаллических структур с управляемыми условиями поверхностного сцепления. Показана и экспериментально реализована переориентация капель жидкого кристалла, обусловленная модификацией граничных условий вследствие формирования наноразмерного слоя сурфактанта под действием внешнего поля.

Несмотря на достигнутый прогресс, сохраняется актуальная научная проблема создания диспергированных полимером жидкокристаллических плёнок с оптимальными структурными и механическими характеристиками. Данное обстоятельство в значительной степени определяет научную значимость представляемого исследования, в рамках которого предполагается получить совокупность экспериментальных и теоретических результатов, детально описывающих физические механизмы протекающих процессов.

**Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследований.**

Методологическую основу диссертационной работы составляют качественные, аналитические и численные методы, адаптированные для построения конкретных теоретико-экспериментальных моделей. В их рамках рассматриваются фазовые и конфигурационные преобразования молекулярной структуры нематического жидкого кристалла 5СВ в полимерных матрицах (ПВС и ПВБ), а также проводится анализ вариации свободной энергии и коэффициентов Франка в рамках континуальной теории упругости жидких кристаллов. Указанные методы применены для получения представленных результатов и прошли апробацию на экспериментальных данных.

***Связь исследования с программами (проектами), научной тематикой.***

Диссертационная работа выполнена в рамках проекта «Исследование структуры, механических и оптических свойств новых оптоэлектронных элементов на основе полимерно-жидкокристаллических композитов» (2021–2025 гг., № государственной регистрации 0121ТJ1107 от 10.03.2021 г.), финансируемого за счёт средств государственного бюджета Республики Таджикистан.

**Целью диссертационной работы** является выяснение влияния особенностей структурного и ориентационного упорядочения нематических жидких кристаллов в малых объемах с замкнутой геометрией на характеристики ослабления и рассеяния света дисперсными системами НЖК-полимер с тангенциальными граничными условиями при воздействии внешнего электрического поля и механических деформаций.

**Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:**

1. Провести подбор компонентов композитных систем, включающих полимерную матрицу, нематические жидкие кристаллы 5СВ и 7СВ, глицерин и растворитель; оптимизировать методику получения, состав и структуру плёночных образцов нематической фазы, допированной сурфактантами, а также осуществить подготовку образцов с оптимальными характеристиками для проведения экспериментальных исследований.

2. Исследовать возможности реализации эффекта, а также структурные и физико-механические характеристики композитных плёнок в зависимости от соотношения компонентов, температуры и прочих факторов.

3. Исследовать оптические текстуры и конфигурации директора в каплях нематического жидкого кристалла с использованием прямых физических методов (поляризационно-оптической микроскопии, ИК-спектроскопии, дериватографии и

электрооптических измерений), а также провести анализ экспериментальных данных, характеризующих механические и электрофизические свойства композитных плёнок на основе полимеров и жидких кристаллов.

4. Исследовать влияние размеров и формы капель, а также режима деформации на оптические свойства полимерного связующего материала.

5. Изучать морфологические характеристики и электрофизические свойства полимерно-жидкокристаллических плёнок в зависимости от температуры.

6. Анализировать конформационные переходы в исследуемых пленках; обнаружить спектральные и поляризационные особенности распространения оптического излучения в пленках, содержащих в качестве структурных элементов анизотропные материалы с сильным оптическим откликом.

7. Исследовать текстурные картины полученных плёнок, а также ориентационное упорядочение директора в объёме и на границах капель НЖК; оценить возможность использования исследуемых композитных плёнок в качестве поляризаторов с наилучшими оптическими параметрами.

#### **Объекты исследования:**

1). 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5СВ) с  $T_c=34$  °С и показателями преломления  $n_{||} = n_{e,max}=1.717$  и  $n_{\perp} = n_o = 1.531$  при ( $T=22$  °С;  $\lambda=0,633$  мкм);

2). 4-н-гептил-4'-цианобифенил (7СВ) с ( $T_c=42,5$ °С и показатели преломления  $n_{||} = n_{e,max}=1.725$  и  $n_{\perp} = n_o = 1.534$  при ( $T=25$  °С;  $\lambda=0,633$  мкм);

3). Поливинилбутираль (ПВБ);

4). Поливиниловый спирт (ПВС);

5). Глицерин как пластификатор;

6). Цетилтриметиламмоний бромид в качестве ПАВ.

#### **Методы исследования.**

Для решения поставленной задачи применялись современные методы исследования, такие как ИК-спектроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия, методы электрофизического анализа, поляризационно-оптическая микроскопия, а также методы молекулярной спектроскопии для изучения оптических, электрооптических и световых характеристик, диспергированных полимером жидкокристаллических плёнок. Экспериментальные исследования выполнялись с применением технологий получения полимерно-жидкокристаллических композитов.

**Отраслям исследования** является фундаментальное направление по изготовлению и производству элементов управления света для оптоэлектроники и фотоники с целью улучшения оптических параметров и качество поляризационного излучения.

#### **Научная ценность и новизна.**

1. Обнаружено двух видов дефектов внутри капель нематика – точечные и линейные, приводящие к интенсивному рассеянию излучения. В исходном состоянии из-за значительного градиента показателей преломления между полимером и ЖК.

1. Установлено, что наличие точечных и линейных дефектов внутри капель нематика способствуют интенсивному рассеянию света. Последнее слабо проявляется

в исходном состоянии, когда преобладает рассеяние света вследствие значительного градиента показателя преломления между полимерной матрицы и НЖК. В режиме насыщения данный градиент показателя преломления становится незначительным, а дополнительный вклад рассеяния на дефектах ориентационной структуры внутри капель нематика способен оказывать значительное влияние на общую картину рассеяния, и, как следствие, на коэффициент пропускания образца.

2. Выявленные в данной работе процессы переориентации молекул жидких кристаллов 5СВ и 7СВ в составе полимерных матриц ПВС и ПВБ, связаны с конкуренцией молекулярных и электростатических взаимодействий алкильных цепей и дипольных моментов на границе раздела двух сред.

3. Обнаружен и исследован конфигурационные превращения точечных дефектов в каплях нематика под действием электрического поля, обусловленный локальным изменением концентрации НЖК в составе полимерной матрицы.

4. Выявлены новые ориентационные структуры, формирующиеся в исследуемых каплях жидкого кристалла в результате действия электрического, механического и светового полей и приведены их характерные текстурные картины.

5. Впервые доказано, что совокупные данные измерений ПОМ и ДСК указывают на то, что в процессе термической обработки (TIPS) расплавленная эмульсия жидких кристаллов в полимерной матрице заменила более неравномерное распределение ЖК, полученное методом фазового разделения. Благодаря релаксации ПВБ происходит межфазное взаимодействие, которое определяет гомеотропное сцепление капель ЖК в полимерной матрице и приводит к упорядочению ПВБ вокруг капель ЖК.

6. Впервые обнаружено эффект уменьшение степени поляризуемости ДПЖК-поляризатора при высоких значениях относительной удлинении, что связан со слиянием мелких капель и образованием более крупных по размеру капель ЖК в полимерной матрице. Показано возможности улучшения качество работы поляризаторов на основе ДПЖК пленок с концентрацией 1:5, перечислены их преимущества и диапазон функционирования в видимой и ближней инфракрасной области по отношению к поляроидным пленкам.

**Теоретическая значимость работы** определяется тем, что достигнутый уровень понимания и описания соответствующих физических механизмов позволяют продвинуться в решении проблемы эффективности управления спектральными и поляризационными свойствами света в полимерно-жидкокристаллических структурах. Описан технологический процесс получения микрополяризатора на основе ДПЖК пленок и его спектральные свойства, оптимизированное за счет нелинейных и анизотропных материалов. Создан конкретный физический модель, способный предсказывать спектральные и поляризационные свойства различных конфигураций нематического жидкого кристалла. Разработан оригинальный способ получения поляризатора на основе полимера и жидкого кристалла, который позволяет прогнозировать характер распространения оптического излучения в ДПЖК пленке для конкретных конфигураций с феноменологическим учетом характерных

технологических погрешностей. Предложен устойчивый в мощности излучения поляризатор размером порядка микрометра, позволяющих управлять поляризацией распространяющегося оптического излучения, управляемый электрическим напряжением или механическим растяжением.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработана новая технология изготовления композиционного материала на основе полимерной пленки и нематические жидкие кристаллы типа 5СВ и 7СВ со значительными морфологическими характеристиками.

2. Разработан оптико-механический модель, позволяющий определять параметры пленки для достижения предельных значений степени поляризации прямопрошедшего света и коэффициента когерентного пропускания пленки в зависимости от длины волны падающего света.

3. Предложен физический механизм формирования бездефектных монодоменных структур капель нематика с наличием сурфактанта при одноосном деформировании полимерной матрицы, изменяющееся в меридианном направлении от тангенциального на экваторе к гомеотропному на полюсах.

4. Разработан механизм создания поляроидных пленок на основе ДПЖК с ионно-сурфактантной модификацией межфазного поверхностного сцепления, функционирующие в светорассеивающей моде без поглощения падающего света.

5. Констатирован факт высокой светопропускаемости композитных пленок за счет внедрения СТАВ и с частичным увеличением вязкости композита, изменением морфологии, увеличением проводимости жидкокристаллической капли и жестким сцеплением со стенками полимера.

6. Предложен устройств типа вращателей плоскости поляризации для согласования НЖК элементов с внешними оптическими схемами. Данный факт имеет ценный практический интерес для дисплейных технологий, так как можно интегрировать композит НЖК с добавкой ПАВ СТАВ, с улучшенными спектральными и динамическими характеристиками.

7. Доказан уменьшение дипольного момента молекулы НЖК 7СВ с ростом угла между плоскостями бензольных колец, а также рост частоты колебаний валентной связи  $C\equiv N$  на  $5\text{ см}^{-1}$  при переходе к перпендикулярной конформации молекулы.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Технология получения новых композитных пленок на основе гибкоцепных линейных полимеров и нематических жидких кристаллов с последующим их усовершенствования добавлением пластификаторов и сурфактантов; методика компьютерного моделирования структуры капель нематика со слабыми и жесткими сцеплениями капель на границе раздела двух несовместимых компонентов фаз.

2. Зависимость анизотропии поляризованных компонент светопропускания в электрооптическом отклике одноосно ориентированных ДПЖК пленок, а также конфигурации директора в каплях нематика с планарной границей от величины деформации пленок и концентрации сурфактанта.

3. Совокупности вкладов дисперсионных сил Лифшица - Ван дер Ваальса (преимущественно); донорных (небольших) и акцепторов (незначительно) электронов на общее значение свободной поверхностной энергии для ПВБ как матрица и доказывающий факт преобладание дисперсионных сил Лондона в матрице, в то время как электростатические силы, водородные связи или диполь-дипольные взаимодействия менее активны.

4. Соответствие коэффициента удлинения вытянутых вдоль направления деформации нематической капли в форме эллипсоиды с бездефектной однородно ориентированной структурой локального директора, способствующее формированию неоднородного поверхностного сцепления молекул ЖК на границе капля-полимер, изменяющееся в меридианном направлении от тангенциального на экваторе к гомеотропному на полюсах.

5. Реализация ориентационной структуры в каплях нематика, допированных ионным ПАВ и обобщающая в себя признаки как биполярной, так и аксиальной конфигураций, открывающие возможности применения этих материалов в производстве электрооптических устройств с эффектом памяти и низким управляющим напряжением.

6. Установление порогового характера процесса трансформации ориентационных структур ДПЖК пленок при одноосной деформации с достижением значения  $\Delta\lambda/\lambda \geq 2,5$  за счет лавинообразного преобразование структур с последующим выходом на стадии насыщения.

7. Рекомендации разработанных новых композитных пленок со строгим соблюдением тонкости технологического процесса для использования в качестве поляризатора с целью модуляции интенсивности сверхмощного светового излучения.

#### **Достоверность полученных результатов.**

Достоверность результатов исследований обеспечивается применением современных методов исследований: поляризационно-оптическим методом (ПОМ), молекулярной ИК-спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии, электрооптическим методом и механическим способом. Эти методы используются мировому научному сообществу, требуют высокой квалификации и серьезной переработки в применении к конкретной задаче, посвященной востребованным тематик: жидкие кристаллы, оптоэлектроники, фотоники, нанокompозиты. Полученные результаты убедительно согласуются с литературными данными и позволяют предсказать новые, востребованные в современных приложениях мирового уровня, физических явлений.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований и разработки были представлены и обсуждены на конференциях:

- Международной научно-технической конференции «Поляризационная оптика-2010», посвященной 80-летию МЭИ. Москва, 2-4 ноября 2010 г.;

- XXX, LX, LXI, LXIII, LXIV Международных конференциях «Актуальные проблемы прочности», Украина, Харьков, 16-20 мая 2011 г.; 14-18 мая 2018 г., Витебск, Беларусь. 2018; (АПП-2019), посвященной 90-летию профессора М.А.

Криштала. 09-13 сентября 2019 г. Россия. – Тольятти, 2019; (АПП-2020), Витебск, Беларусь, 25-29 мая 2020 г.; (АПП-2021), посвященная 70-летию Тольяттинского гос. университета Тольятти, 13-17 сентября 2021 г.; (АПП-2022), 4-8 апреля 2022 г., Екатеринбург, Россия, 4-8 апреля 2022 г.;

- Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела». 18-21 октября 2011 г. Минск, Белоруссия, 2011;

- Международной молодежной конференции по люминесценции и лазерной физике, посвященной 110-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ профессора И.А. Парфиановича. Иркутск, 16-22 июля 2012 г. Иркутск 2012;

- Международной школы-семинара «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах» (ЭДС-2012). 2 - 8 августа 2012 г. Барнаул, Россия. 2012;

- Первой Всероссийской конференции по жидким кристаллам РКЖК-2012, Иваново, 17-21 сентября 2012 г. Иваново. 2012;

- 15<sup>th</sup> Electromagnetic and Light Scattering Conference, 21 – 26 June 2015. Leipzig, Germany. Leipzig, 2015;

- V Международной конференции «Актуальные проблемы молекулярной спектроскопии конденсированных сред». – Самарканд, 22-24 сентября 2016 г. Самарканд, 2016;

- International Symposium KSCMBS'16- «Khujand Symposium on Computational Materials and Biological Sciences»- Khujand, 2016;

- IX Международной конференции «Фазовые превращения и прочность кристаллов» (ФППК-2016) памяти академика Г.В. Курдюмова. - Черноголовка, 7-11 ноября 2016 г., Черноголовка, 2016;

- XII Международной конференции «Прикладная оптика-2016» (ПО-16), Санкт-Петербург, 15-18 ноября 2016 г. С.-Пб, 2016;

- 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), June 19-21, 2017; Saint Petersburg, Russia. 2017;

- VI, VII, VIII Международных конференциях «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва, 7-10 ноября 2017 г. – М.: ИМЕТ РАН, 2017; с элементами научной школы для молодежи «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» ФНМ-2018, 1–5 октября 2018, М.: ИМЕТ РАН, 2018; Москва, (ДФМН-2019), 19–22 ноября 2019, М.: ИМЕТ РАН -2019;

- VI Международной конференции «Современные проблемы физики», посвященной 110 летию академика АН РТ С.У. Умарова и 90 летию академика АН РТ А.А. Адхамова, 28-30 июня 2018. ФТИ им. С.У. Умарова. Душанбе, 2018;

- Открытой школы-конференции стран СНГ «Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы-2018» (УМЗНМ-2018), 1-4 октября 2018 г., Уфа, 2018; (УМЗНМ-2020) 05-09 октября 2020 г., Уфа, 2020;

- Международного симпозиума «Перспективные материалы и технологии», Брест, 27-31 мая 2019 г. – Витебск, 2019;

- VIII Международной конференции «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов, посвященная 150-летию открытия Д.И.

Менделеевым Периодического закона химических элементов и III Международной Школы Молодых ученых «Актуальные проблемы современного материаловедения», Москва, МИСиС, 5-8 ноября 2019 г., Москва, 2019;

- VII Международной конференции «Современные проблемы физики». 9-10 октября 2020 г., ФТИ им. С. Умарова. Душанбе, 2020;

- XI и XIII Международных научных конференциях «Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения» 20-24 сентября 2021 г. Иваново, Россия. 2021; 15–19 сентября 2025, г. Иваново, Россия, 2025;

- Международного симпозиума «Перспективные материалы и технологии», Минск, 23-27 августа 2021 г. Минск, 2021;

- Симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова, Душанбе, 25-26 ноября 2021 г. Душанбе, 2022;

- IX Международной конференции «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов», посвященная к 100 летию со дня рождения академика Б.К. Вайнштейна. Москва, МИСиС, 22-26 ноября 2021 г. Москва. 2021;

- II, III, V и VI Международных конференциях «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур». г. Казань, 1-4 декабря 2021 г.; 1-4 декабря 2022 г.; 21-23 ноября 2024 г.; 25-27 ноября 2025 г. Казань. 2021, 2022, 2024 и 2025;

- VIII и IX Международных конференциях «Современные проблемы физики», ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе, 21-22 октября 2022 г.; и посвящ. 60-летию образования ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ, 10-11 октября 2024 г.;

- Международной научно-практической конференции «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвящ. «75-летию образования ТНУ», ТНУ, 10 октября 2023 г. Душанбе, 2023;

- Международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики» 19-21 октября 2023 года, Физико-технический институт и институт материаловедения АН РУз. Ташкент, 2023;

- XII и XIII Международной конференции по фотоники и информационной оптики. М.: НИЯУ МИФИ; 1-3 февраля 2023 года и 29-31 января 2025 г.;

- 13th International Conference on Materials Science and Engineering, October 22-23, 2025. National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan;

- XVII International Russian-Chinese Symposium “Advanced Materials and Processes” 18 - 22 August 2025, Yekaterinburg, Russia;

- 11-th International Conference “Fundamental and Applied Problems of Modern Physics”, dedicated to the memory of Academician S.A. Azimov, Tashkent, October 16-18, 2025;

- Международная научная конференция "ОМССР–III 2025: Оптика, материаловедение и вычислительная техника в физике конденсированных сред" 16-18 декабря 2025 года, Узбекистан, Бухара.

**Личный вклад автора.** Автору принадлежит ключевая роль в постановке задач, проведении экспериментов, анализе и научной интерпретации экспериментальных результатов, а также в написании статей по теме исследования и

представлении результатов на конференциях и симпозиумах. Образцы, на которых проводились экспериментальные исследования, изготовлена автором в лаборатории физики ХИЦ НАНТ. Подавляющая часть экспериментальных исследований выполнена автором в лаборатории физики ХИЦ. Спектроскопические исследования нематических пленок с использованием ИК Фурье спектрометра IRAffinity-1 (SHIMADZU) проводились в лаборатории молекулярной спектроскопии Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г. Красноярск) с участием автора и с использованием ИК-Фурье спектрометра FT IR Spectrometer BKFT-30 (Biobase) в лаборатории физики ХИЦ. Численный расчет конформационных превращений жидких кристаллов проводился автором с использованием пакета прикладных программ LEV-100, разработанной Грибовым Л.А. и Дементьевым В.А. Постановка задачи, расчеты и анализ результатов проводились автором.

### **Соответствие паспорту научной специальности**

Основная часть диссертационной работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности «1.3.8 - Физика конденсированного состояния», утвержденная ВАК РФ, основой которого являются:

1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств неорганических и органических соединений, диэлектриков, неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления.

2. Оптические методы передачи и обработки информации, физические основы квантовых вычислений. Излучение и поглощение света изолированными и взаимодействующими атомами и молекулами. Динамические процессы при взаимодействии света с веществом, процессы выделения энергии веществом при световом воздействии. Световое управление движением и квантовым состоянием атомов

3. Разработка моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения.

**Публикации.** Материалы диссертационной работы опубликованы в 101 научных публикациях, в том числе - 30 статей в реферируемых журналах ВАК РФ, РФ, из них 10 в научных изданиях из списка SCOPUS/Web of Science, 71 тезисов докладов в Материалах международных конференциях и симпозиумах, 11 в республиканских научных конференциях, а также 1 патент на изобретения.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 342 страницах и иллюстрируется 88 рисунками и 16 таблицами. Список цитируемой литературы содержит 379 наименований.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается постановка задачи, приводятся цель и задачи исследования, перечисляются предложенные выводы и их научное обоснование,

указываются новые результаты, научная новизна и практическая значимость результатов, подчеркиваются основные положения, выносимые на публичную защиту, излагаются апробации результатов и указываются конкретные области применения материалов диссертации.

**Первая глава**-обзорная. В ней проанализированы классификации жидких кристаллов, их структуры, характерным особенностям в зависимости от действия внешних полей. Изложены способы формирования и получения композитов на основе полимерных материалов и жидких кристаллов, их сфера применения. Приведены способы ориентации молекул нематиков для пропускания светового излучения при помощи добавок красителей и поверхностно-активных веществ. Показано влияние добавок наночастиц и разных сурфактантов на поляризующие свойства пленок из ПВС и ПВБ, их применения в спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР), технологии радиолокационной невидимости, а также технологии создания термофотоэлектрических элементов. На основе анализа литератур сформулированы цель и задачи исследования, касающиеся разработки поляризаторов на основе ДПЖК композитов, лишенных недостатков действующих пленочных поляризаторов.

**Во второй главе** приводятся сведения об объекте исследования, изложена методика приготовления образцов, даны физико-химические параметры и характеристики исследуемых объектов. Перечислены пластификаторы и поверхностно-активные вещества (ПАВ) в качестве добавок полимерной матрицы и нематического ЖК. Обоснован выбор полимерных матриц - ПВС и ПВБ. Изложен принцип работы разработанной автором экспериментальной установки для исследования оптического отклика ДПЖК пленки в поле внешних сил. Описана методика исследования оптических текстур капель НЖК 5СВ и 7СВ методом поляризационной микроскопии. Подробно изложены методики исследования конформационного полиморфизма межмолекулярного взаимодействия в ЖК-ячейках. Указаны стандартные размеры, формы и условия формирования капель нематика для последующего морфологического исследования.

**Третья глава** посвящена формированию биполярных капель нематического жидкого кристалла (НЖК) и возможные протекания процесса переориентации директора во внешнем поле. Характер отклика капель нематика напрямую зависит от ориентации биполярной оси по отношению к прикладываемому полю, которое параллельно направлению наблюдения. Если угол между полем и осью капли отличен от  $90^\circ$ , то процесс отклика является практически безпороговым и уже при малых полях происходит переориентация биполярной оси. При этом, чем больше приложенное напряжение, тем сильнее капли ориентируются по полю. И, наоборот, при ортогональной ориентации биполярной оси капли по отношению к прикладываемому полю, процесс переориентации происходит при напряжениях, вызывающих практически полную переориентацию капель с исходно неортогональной ориентацией оси симметрии.

Описанный выше характер отклика на электрическое поле ансамбля капель жидкого кристалла проявляется соответствующим образом и в макроскопическом

электрооптическом отклике исследуемых образцов. На рис. 1, а представлены зависимости светопропускания  $T$  образцов от величины приложенного напряжения  $U$ . Светопропускание  $T$  определялось как отношение интенсивности  $I$  света, прошедшего через образец, к интенсивности  $I_0$  падающего излучения.

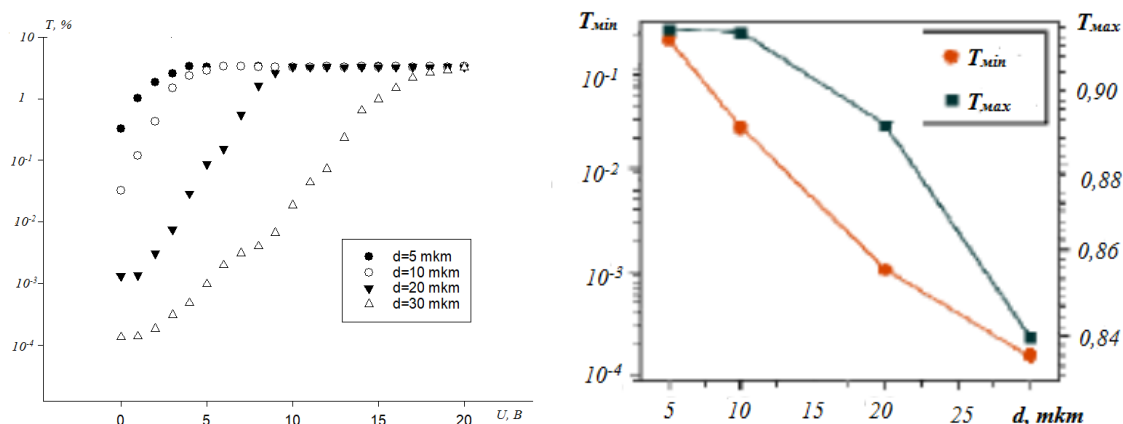


Рис. 1 Зависимости светопропускания  $T$  от приложенного напряжения  $U$  (а); при  $T=10\%$  ( $U_{10}$ ), и при  $T=90\%$  ( $U_{90}$ ) для ДПЖК пленок толщиной  $d=5, 10, 20$  и  $30$  мкм (а) и минимальных ( $T_{min}$ ) и максимальных ( $T_{max}$ ) значений светопропускания от толщины ДПЖК пленок  $d$  (б)

Для анализа светопропускания образцов был использован экспоненциальная зависимость коэффициента пропускания  $T = \exp(-N\sigma d)$ . На рис. 1,б показаны зависимости  $T_{min}$  и  $T_{max}$  от толщины образцов НЖК 5СВ. Видно, что для ДПЖК пленок толщиной спейсеров  $d$  от 5 до 20 мкм наблюдается близкая к линейной зависимость  $\log(T_{max})$ . Отклонение от данной зависимости для более массивного образца можно объяснить существенным вкладом многократного рассеяния на каплях жидкого кристалла, что способствует замедлению уменьшения коэффициента пропускания с увеличением толщины рассеивающего слоя. При этом, для зависимости  $\log(T_{max})$  наблюдается противоположная тенденция ускоренного уменьшения  $T_{max}$  с ростом  $d$ , что связан со сложной ориентационной структурой капель, рассеивающих излучение.

Шлирен-текстура, имеющая точечные и линейные дефекты, так называемые доменные стенки Блоха, формируется в ячейке, изготовленной нами для определения силы поверхностной сцепления для ЖК-пленки и полимерной пленки на основе ПВБ (75%) и НЖК 5СВ (25 %). Сила поверхностной сцеплений  $W_s$  к полярной поверхности определили путем измерения толщины  $d$  стенок Блоха:

$$W_s \left( 1 - \frac{\sin 4\alpha}{2(\pi - 2\alpha)} \right) = \frac{h}{d^2} \cdot \frac{K_{22}}{2} \cdot (\pi - 2\alpha)^2$$

где  $\alpha$  - угол между директором и нормалью к границе раздела,  $h$  - толщина ячейки,  $K_{22}$  - упругая постоянная деформации кручения. Мы измерили толщину ячейки  $h = 13$  мкм и толщину стенки Блоха  $d = 3,0$  мкм. Угол  $\alpha = 40^\circ$  был взят из измерений в жидкокристаллических каплях внутри полимерной матрицы и  $K_{22} \sim 10^{-12}$  (Н).

Используя эти данные, была определена сила поверхностного сцепления к полярной поверхности, которая равнялась на  $W_S = 2,4 \cdot 10^6 \cdot K_{22} \sim 10^{-6}$  (Дж м<sup>-2</sup>).

Физический принцип работы ДПЖК заключается в электрически управляемой переориентации жидкокристаллического директора от первоначального хаотичного распределения (обычно связанного с состоянием высокой непрозрачности) к равномерному выравниванию молекул (при котором обычно достигается состояние высокой прозрачности) параллельно направлению приложенного электрического поля.

Более низкие поля переориентации и более резкие переходы между включением (ВКЛ) и выключением (ВЫКЛ) могут характеризовать пленки в процессе зарядки, поскольку это может вызывать изменения в морфологии, диэлектрических свойствах и энергии поверхностного сцепления ДПЖК. Соответственно, состояния памяти могут возникать либо из-за механической фиксации жидкокристаллического директора, находящихся в более ориентированном состоянии во время процесса охлаждения, либо из-за возникновения внутреннего электрического поля ( $E_{вн}$ ) постоянного тока на границах капель жидких кристаллов. Внутреннее электрическое поле ( $E_{вн}$ ) постоянного тока возникает из-за ионных примесей компонентов образца, которые отделяются на границе раздела капель в процессе зарядки. Такое явление также известно, как эффект Максвелла-Вагнера.

Фактически, поляризационные заряды в исследуемой ячейке могут либо уменьшать, либо увеличивать напряженность эффективного электрического поля, действующего на директора нематика. Если диэлектрическая проницаемость ( $\sigma_{lc}$ ) нематической жидкости больше (т.е. НЖК более проводящий), чем у полимерной матрицы ( $\sigma_p$ ), поляризационные заряды на поверхности капли уменьшают эффективное электрическое поле на поверхности капли. Разделение ионов внутри капли нематика могут сохраняться в процессе испарения растворителя, так как это увеличивает вязкость полимерной матрицы, избегая ионного перемещения.

При выполнении условия ( $\sigma_p \gg \sigma_{lc}$ ), полимерная матрица, характеризующийся более высокой диэлектрической проницаемостью или электропроводностью, способна усиливать электрическое поле внутри капли. Этот режим способствует переходу в режим памяти, в котором индукция приложенного электрического поля постоянного тока позволяет преобразовать обычный квадратичный электрооптический отклик НЖК 5СВ с полимерной дисперсией в квазилинейный. Такой способ позволяет регулировать коэффициент пропускания светового излучения. При отсутствии внешнего поля ионы замораживаются на границе раздела ЖК-полимерная матрица.

На рис. 2,а показаны различия в электрооптических характеристиках между контрольным образцом ДПЖК (т.е. без CdS, кривая, а), и ДПЖК, легированный 0,5 мас. % CdS (кривая b). Можно наблюдать, что легированные образцы демонстрируют более низкие управляющие (переключающие) поля (менее 0,4 В/мкм для кривой b) и более крутые наклоны зависимости пропускания ( $T$ ) от электрического поля ( $E$ ), что обусловлено повышением проводимости ячейки за счёт добавления наночастицы CdS.

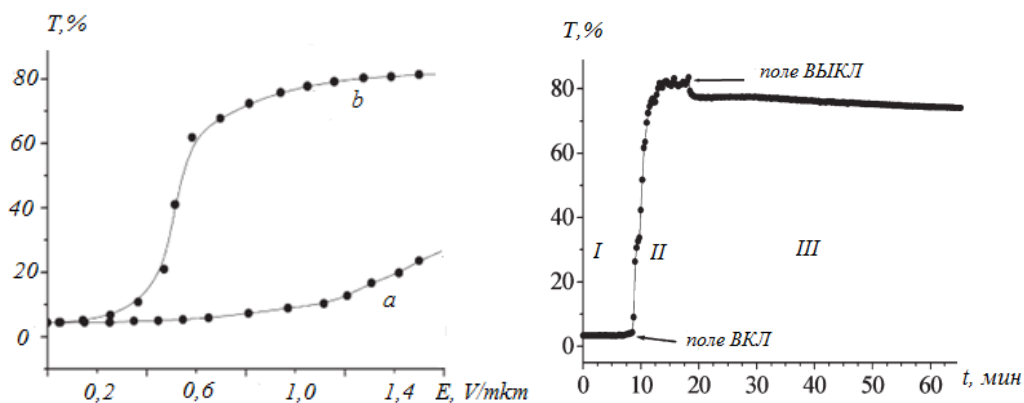


Рис. 2 Электрооптические характеристики (слева) контрольного ДПЖК без наночастиц (кривая  $a$ ) и легированного 5 мас. % CdS (кривая  $b$ ) и временная зависимость (справа) коэффициента оптического пропускания для образца, легированного 5 мас. % наночастицы CdS, до (I), во время (II) и после (III) процесса зарядки

Можно наблюдать, что легированные образцы демонстрируют более низкие управляющие (переключающие) поля (менее 0,4 В/мкм для кривой  $b$ ) и более крутые наклоны зависимости пропускания ( $T$ ) от электрического поля ( $E$ ), что обусловлено повышением проводимости ячейки за счёт добавления наночастицы CdS. Соответственно, видно, что пропускание образца сначала увеличивается от значения в состоянии ВЫКЛ до максимального значения (более 80%) при приложении зарядного электрического поля, затем остаётся постоянным в течение всего времени зарядки и, наконец, снижается до значения около 75% в течение 10 минут после отключения зарядного электрического поля. Такое высокое значение пропускания в состоянии ВЫКЛ можно интерпретировать как эффектом памяти, вызванным механическим воздействием выпрямленных полимерных цепей, так и переориентацией директоров жидких кристаллов под действием внутреннего постоянного электрического поля  $E_{вн}$ . Напряженность внутреннего постоянного электрического поля остаётся стабильной на протяжении длительного времени, пока образцы хранятся при температурах ниже температуры стеклования полимера (около 40 °C).

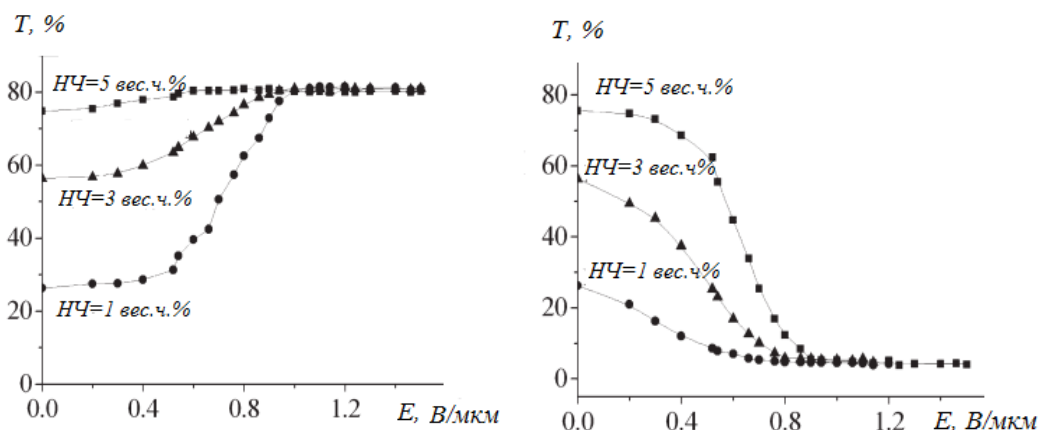


Рис. 3. Коэффициент светопропускания ( $T$ ) в зависимости от внешнего постоянного электрического поля ( $E_{ext}$ ), приложенного параллельно ( $a$ ) и антипараллельно ( $b$ ) внутреннему постоянному электрическому полю ( $E_{вн}$ ), для ДПЖК с увеличивающимся содержанием НЧ CdS=1, 3 и 5 мас. % соответственно

Если приложить внешнее постоянное электрическое поле, направленное параллельно внутреннему постоянному полю (рис. 3,  $a$ ), значения коэффициента пропускания этих образцов увеличиваются до 80%, демонстрируя поведение, аналогичное обычному ДПЖК, работающему в прямом режиме, но с более высоким уровнем пропускания в состоянии ВЫКЛ. Образцы испытывают действие эффективного электрического поля, которое является суммой внутреннего постоянного электрического поля и внешнего электрического поля  $E_{eff} = E_{вн} + E_{ext}$ . Такое поле способствует более эффективному переориентации директора жидкого кристалла. Следует отметить, что коэффициент пропускания образца, легированного 5 мас. % CdS, практически не изменяется и может считаться почти нечувствительным к приложенному внешнему электрическому полю.

Если же внешнее постоянное электрическое поле приложено антипараллельно внутреннему постоянному электрическому полю (рис. 3,  $b$ ), значения коэффициента пропускания этих образцов снижаются до 4–5%, демонстрируя поведение, аналогичное работе ДПЖК в обратном режиме. Следовательно, обобщая эти результаты, можно выдвинуть версию о новой технологии получения ДПЖК, работающих в обратном режиме, которые получают путём возникновения долговременного стабильного внутреннего постоянного электрического поля в ДПЖК, работающем в прямом режиме, легированном металлическими наночастицами.

В стеклянных флаконах готовили составной раствор путем интенсивного механического перемешивания соответствующих количеств полимера (П) и 5СВ (ЖК) (таблица 1) в обычном растворителе ( $C_2H_5OH$ ) для получения 2%-ной гетерогенной смеси (по массе).

Таблица 1. Массовая доля компонентов, используемых при приготовлении пленок ДПЖК, в процентах

Материалы	П4ЖК6	П5ЖК5	П6ЖК4	П7ЖК3	П8ЖК2	П9ЖК1
ПВБ матрица (%)	40	50	60	70	80	90
НЖК 5 СВ (%)	60	50	40	30	20	10

Термические свойства пленок из комбинации НЖК 5СВ, ПВБ и ДПЖК были изучены путем наблюдения текстур с помощью микроскопа ПОЛАР-2, оснащенного видеокамерой Linkam. Измерения эндо- и экзотермических пиков проводились с помощью прибора ВК-DSC 300 L, (Китай), в атмосфере азота (расход азота 20 мл/мин). Температуры переходного процесса измерялись в верхней части эндотермического и

экзотермического пиков. Композиты ДПЖК (П4ЖК6 – П9ЖК1) на основе ПВБ 1700 в качестве матрицы и ЖК 5СВ в качестве нематика были получены путем комбинирования пленок SIPS и TIPS с использованием различных весовых соотношений для двух компонентов (табл. 1). Установлено, что переход от изотропного к нематическому состоянию сопровождался появлением биполярных нематических капель, которые образуются при коалесценции, формируя шлирен текстуру с двумя или четырьмя лепестками. Биполярные капли свидетельствуют о тенденции молекул нематика 5СВ выстраиваться параллельно стенкам капли (планарная ориентация), с двумя поверхностными точечными дефектами, называемыми буджумами.

SIPS-плёнки с самым высоким содержанием жидких кристаллов (П4ЖК6 и П5ЖК5) при комнатной температуре демонстрировали шлирен текстуру с четырьмя и двумя лепестками (рис. 4, *a, c*), тогда как композит со средним содержанием жидких кристаллов (П6ЖК4) показывал аналогичную текстуру в полимерной матрице в виде биконтинуальной структуры (рис. 4, *в*). Тепловая обработка путём цикла нагрева-охлаждения в температурном диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$  (между кристаллизацией и изотропизацией НЖК 5СВ) не привела к изменениям текстуры в случаях П6ЖК4 и П5ЖК5, но превратила её в двулучепреломляющие капли в случае П6ЖК4 (рис. 4, *d*).

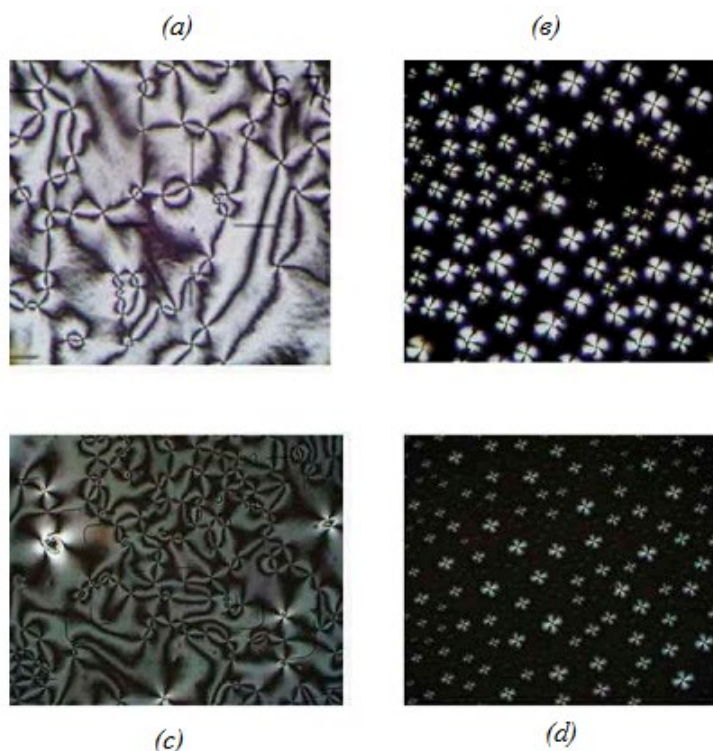


Рис. 4 Микрофотографии ДПЖК композитов, полученные с помощью ПОМ в скрещённом (а - б) или параллельном (с-д) поляризаторов: - (а) - П4ЖК6 (первый нагрев,  $200\times$ ,  $28^{\circ}\text{C}$ , SIPS); - (б) П4ЖК6 (второе охлаждение,  $200\times$ ,  $32^{\circ}\text{C}$ , TIPS); - (с) П5ЖК5 (первый нагрев,  $200\times$ ,  $26^{\circ}\text{C}$ , SIPS); - (д) П5ЖК5 (второе охлаждение,  $200\times$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ , TIPS)

Таким образом, более крупные капли были обнаружены в образце П4ЖК6 с более высоким содержанием жидких кристаллов; комбинация крупных и мелких капель была наблюдаема для П5ЖК5, а для композита П6ЖК4 с меньшим содержанием жидких кристаллов — только мелкие капли. Образцы, содержащие 60% и 40% жидких кристаллов, показали почти моодисперсное распределение капель, что указывает на оптимальный баланс между соотношением межфазного напряжения и сил сцепления, а также содержанием жидких кристаллов.

Вторичный фазовый переход, зарегистрированный во время второго сканирования нагрева-охлаждения (TIPS), является признаком стеклообразного перехода ( $T_g$ ), и его характеристики дают информацию о смешивании НЖК и ПВБ. Меньшее значение  $T_g$  по сравнению с чистым ПВБ и зависимость этого значения от содержания ЖК (снижение температуры  $T_g$  с увеличением содержания ЖК) свидетельствуют о том, как жидкие кристаллы влияют на структуру и термические свойства композита. Это указывало на тесное смешивание двух компонентов композита, что привело к образованию смеси (табл. 2). Образцы П7ЖК3 и П8ЖК2 демонстрируют небольшое эндотермическое плечо при более высоких температурах (60°C и 80°C соответственно), что соответствует фазовому переходу первого порядка.

Таблица 2 Термотропное поведение ДПЖК пленок

Код	ДСК				ПОМ	
	$T_{cr}(\Delta H)$	$T_{I-N}(\Delta H)$	$T_m(\Delta H)$	$T_g$	SIPS	TIPS
5CB	-19.36 (38.36)	34.96 (2.52)	35.80 (2.37)	-	шлирен	-
П4ЖК6	-11.97 (2.61)	31.46 (1/09)	33.40 (1.22)	-	шлирен	Радиальные капли
П5ЖК5	-9.13 (3.24)	29.35 (0.54)	32.41 (0/25)	-	шлирен	Радиальные капли
П6ЖК4	-16.51 (0.54)		31.44 (0.07)	-	Мелкие капли	Очень мелкие капли
П7ЖК3	-			54.29	Аморфное состояние	Аморфное состояние
П8ЖК2	-			73.89	Аморфное состояние	Аморфное состояние
П9ЖК1	-			108.43	Аморфное состояние	Аморфное состояние
ПВБ	-			182.25	Аморфное состояние	-

Примечания:  $T_{cr}$  - температура кристаллизации;  $T_{I-N}$  - температура перехода из изотропной в нематическую фазу;  $T_m$  - температура плавления;  $T_g$  - температура стеклования;  $\Delta H$  - изменение энтальпии, измеренное в Дж/г. Все температуры переходов измерены в °С.

В четвертой главе изложены результаты исследования поляризующих свойств ДПЖК пленок с эллипсоидальными каплями нематика. Предложен разработанный оптико-механический модель, позволяющий описать коэффициент когерентного пропускания ДПЖК пленки и степень поляризации света, прошедшего напрямую. Изучается ансамбль полидисперсных жидкокристаллических капель, имеющих форму сфероидов, с хаотической ориентацией оптических осей до растяжения пленки, а также ансамбль ориентированных вытянутых эллипсоидальных капель при одноосном механическом растяжении.

Результаты измерений анизотропии светопропускания (коэффициентов пропускания  $T_{\parallel}$  и  $T_{\perp}$ ) и степени поляризации света при механическом растяжении ДПЖК пленки представлены на рис. 5. По оси абсцисс отложен коэффициент удлинения пленки  $\Delta l/l_0 = (l-l_0)/l_0$ , который связан с кратностью растяжения  $p$  соотношением:  $p = 1 + \Delta l/l_0$ . В отсутствие растяжения капли были сферическими со средним значением радиуса  $\langle a_0 \rangle = 2$  мкм и незначительной дисперсией по размерам. Толщина пленки  $l_0 = 45$  мкм.

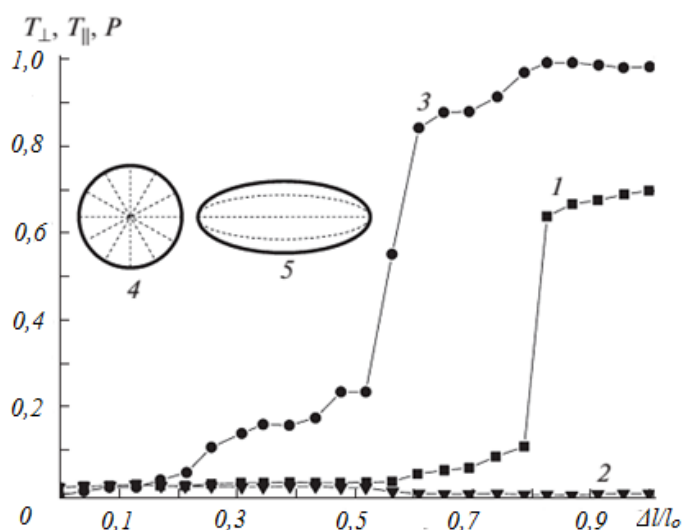


Рис. 5. Зависимости коэффициентов светопропускания для перпендикулярной (кривая 1), параллельной (кривая 2) и степени поляризации (кривая 3) от коэффициента удлинения ( $\epsilon$ ) ДПЖК пленки (на вставке: 4 – схематическое представление сферической капли нематика до растяжения пленки; 5 – эллипсоидальная структура капли нематика после растяжения пленки)

На основе поляризационных микроскопических измерений установлено, что значению коэффициента удлинения  $\Delta l/l_0 = 1$  ( $p = 2$ ) соответствуют вытянутые вдоль направления растяжения капли в форме эллипсоидов вращения относительно оси растяжения с бездефектной однородно ориентированной (монодоменной) структурой локального директора. Физическим механизмом образования бездефектных монодоменных структур капель при растяжении и наличии сурфактанта является формирование неоднородного поверхностного сцепления молекул жидкого кристалла на границе

капля–полимер, изменяющееся в меридианном направлении от тангенциального на экваторе к гомеотропному на полюсах.

Из проведенного анализа следует, что основными параметрами, определяющими предельные значения степени поляризации света ( $P = \pm 1$ ) и коэффициента пропускания ДПЖК пленки ( $T_c^{np} = 0.5$ ) при ее растяжении являются:

- показатель преломления  $n_p$  полимерной матрицы, который должен быть равен обыкновенному показателю преломления  $n_{\perp}$  жидкого кристалла (или необыкновенному  $n_{\parallel}$ );
- поперечный размер  $a$  ЖК капель. Предельные значения  $T_c^{np} = 0.5$  и  $P = \pm 1$  зависят от длины волны  $\lambda$  падающего света.

Для модификации поверхностного сцепления на границе раздела полимер–ЖК нами использовался катионный сурфактант цетилтриметиламмоний бромид (СТАВ). Растворяясь в ЖК, он распадается на отрицательно заряженный ион  $B\Gamma^-$  и положительно заряженный поверхностно-активный ион цетилтриметиламмония  $CTA^+$ . Ориентирующее влияние сурфактанта СТАВ зависит от его концентрации на межфазной границе. Так при низкой концентрации катионы  $CTA^+$  располагаются длинными алкильными цепочками преимущественно параллельно межфазной границе и задают планарное сцепление молекул ЖК с полимером. При высокой концентрации алкильные цепочки  $CTA^+$ , ориентируясь перпендикулярно поверхности полимера, обеспечивают гомеотропные граничные условия.

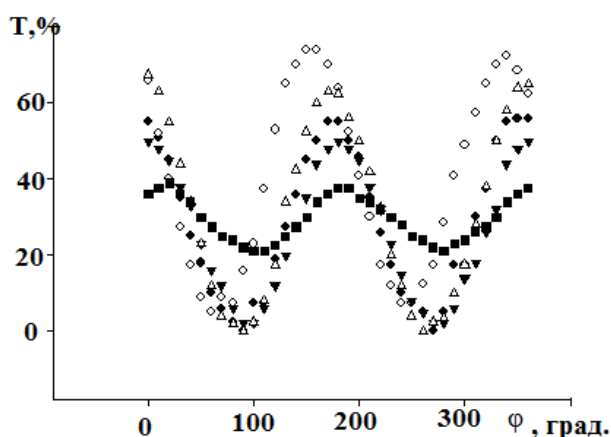


Рис. 6. Зависимость светопропускания ЖК 5СВ ячеек от угла вращения поляризатора (■) – исходный; (◆) – 0,05 масс. %; (◇) – 0,1 масс. %; (▼) – 0,3 масс. %; (Δ) – 0,5 масс. %

Скачкообразный рост светопропускания ортогонально поляризованной компоненты при  $\Delta l/l_0 = 0,8$ , вероятно, обусловлен трансформацией исходной радиальной конфигурации директора (вставка 4, рис. 5) в бездефектную, практически однородную ориентационную структуру (вставка 5, рис. 5).

На рис. 6 иллюстрированы зависимости коэффициента светопропускания ЖК ячеек 5СВ с различными концентрациями ПАВ от угла поворота образцов по отношению к анализатору и поляризатору.

Экспериментальная установка для определения зависимости коэффициента светопропускания ЖК ячеек с разными концентрациями от взаимного расположения между анализатором и поляризатором собирали таким способом, чтобы максимальная пропускания наблюдалась между 0 и 180°, а минимальная пропускания наблюдали при 90 и 270°. Тогда можно выявить положение максимумов коэффициентов пропускания на основе закона Малюса. Эти сдвиги хорошо прослеживаются при анализе значений, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 Изменения плоскости поляризации в ЖК ячейки

Положение экстремума коэффициента пропускания	Концентрация СТАВ в составе НЖК 5 СВ, вес. %				
	0	0,05	0,1	0,3	0,5
90°	86,1	85,7	66,4	94,8	101,5
180°	173,8	174,3	155,0	181,9	186,6
270°	266,1	266,0	245,4	172,1	279,8
360°	255,5	353,4	338,1	361,8	375,5

Композиты полимер–НЖК в отсутствие напряжения излучение рассеивают, а электрическим полем переводятся в прозрачное состояние. Это так называемая “нормальная мода”, когда ЖК в исходном состоянии образует конфокальную текстуру, рассеивающую падающий свет, а при приложении электрического напряжения переходит в прозрачную планарную текстуру. Такой режим не очень удобен для практического использования. Добавка в смесь холестеристических ЖК позволяет создавать композиты, функционирующие в режиме обратной моды, т.е. прозрачных в отсутствие управляющего напряжения.

ДПЖК, созданные для работы в режиме “обратной моды”, представляют собой одноосно ориентированные пленки диспергированных полимером ЖК, изготовленных с использованием механической деформации растяжения или сдвига, или воздействия электрического или магнитного полей в процессе формирования композитной структуры. Такие пленки в исходном состоянии обладают макроскопической оптической анизотропией. Если обеспечить начальную планарную ориентацию директора электроположительного ЖК и подобрать мономер таким образом, что  $n_e = n_p$ , то для света, распространяющегося нормально к поверхности в отсутствие управляющего напряжения, градиенты показателей преломления отсутствуют. При приложении электрического напряжения эффективный показатель преломления ЖК уменьшается, соответственно возникает рассеяние.

Возможность формирования периодических структур в планарной ячейке НЖК заключается в том, что в планарно-ориентированной нематической ячейке пространственно-периодическая структура поля директора может формировать даже в отсутствии поляризации. Основными характеристиками в этом случае служили упругие константы Франка  $K_{11}$  и  $K_{22}$ , а появление структур зависело от их

соотношения. Если выражение  $\frac{K_{22}}{K_{11}} < r_0$ , где  $r_0$  – пороговое значение этих коэффициентов, то имеет место переход Фредерикса, с образованием пространственно-периодических структур, а при выполнении условия  $\frac{K_{22}}{K_{11}} > r_0$ , наблюдается локальный переход Фредерикса. Для плоскопараллельного ячейку НЖК, ограниченную плоскостями  $z = -\frac{L}{2}$  и  $z = +\frac{L}{2}$  с исходной планарной ориентацией директора вдоль оси  $ox$ , установленной в однородное электрическое поле с напряженностью  $E=(0, 0, E)$ , свободная энергия состоит из совокупности следующих компонентов:

$$F = F_{el} + F_E + F_d + F_S \quad (1)$$

где  $F_{el}$  – упругая энергия Франка, равная

$$F_{el} = \frac{1}{2} \int_V \left\{ K_1 (\text{div}(n))^2 + K_2 (n \cdot \text{rot}(n))^2 + K_3 [n \cdot \text{rot}(n)]^2 \right\} dV,$$

$F_E$  и  $F_d$  – соответственно анизотропный и флексоэлектрический вклады в энергию взаимодействия НЖК с электрическим полем, равные

$$F_E = -\frac{\varepsilon_a}{8\pi} \int_V (n \cdot E)^2 dV,$$

$$F_d = -\int_V \left\{ e_1 (n \cdot E) \text{div}(n) + e_3 ([\text{rot}(n) \cdot n] E) \right\} dV,$$

$F_S$  – поверхностная свободная энергия НЖК, равная

$$F_S = -\frac{W_\varphi}{2} \int_{S_{1,2}} \cos^2 \varphi \cdot dS - \frac{W_\theta}{2} \int_{S_{1,2}} \cos^2 \theta \cdot dS$$

В анизотропном вкладе  $F_E$  величина  $\varepsilon_a = \varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp} > 0$  – означает анизотропию статической диэлектрической проницаемости, а в флексоэлектрическом вкладе  $F_d$  символами  $e_1$  и  $e_3$  – обозначены флексоэлектрические коэффициенты. На последней компоненте выражения (1) величины  $W_\varphi$  и  $W_\theta$  – соответственно означают полярную и азимутальную энергию сцепления директора с поверхностью ячейки, а символы  $\theta$  и  $\varphi$  – углы отклонения директора, соответственно в плоскостях  $xz$  и  $xy$ .

Поскольку при планарной геометрии пороговая переориентация директора приводит к возникновению пространственно-периодической структуры вдоль оси  $y$ , то распределение директора возьмем в следующем виде:

$$n = i \cdot \cos \theta(y, z) \cdot \cos \varphi(y, z) + j \cdot \cos \theta(y, z) \cdot \sin \varphi(y, z) + k \cdot \sin \theta(y, z) \quad (2)$$

где  $i, j, k$  – орты соответствующих осей декартовой системы координат.

В случае малых деформаций в распределении директора ( $|\varphi|, |\theta| \ll 1$ ), минимизация свободной энергии (1) по углам  $\varphi$  и  $\theta$  дает следующие стационарные уравнения:

$$\begin{cases} r \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \xi E^2 \theta + (1-r) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial z} + eE \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + r \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \xi E^2 \theta + (1-r) \frac{\partial^2 \theta}{\partial y \partial z} - eE \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

со следующими граничными условиями:

$$\begin{cases} \left[ \left( \frac{W_\theta}{K_1} \pm e_0 E \right) \theta \pm \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) \right]_{z=\pm \frac{L}{2}} = 0 \\ \left[ \frac{W_\varphi}{K_1} \varphi \pm r \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \right]_{z=\pm \frac{L}{2}} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_a}{4\pi K_{11}}, \quad r = \frac{K_{22}}{K_{11}}, \quad e = \frac{e_1 - e_3}{K_{11}}, \quad e_0 = \frac{e_1 + e_3}{K_{11}}$$

Симметрия системы уравнений (3) позволяет искать решения в следующем виде:

$$\theta(y, z) = \cos(qy) \theta_1(z), \quad \varphi(y, z) = \sin(qy) \varphi_1(z) \quad (5)$$

где функции  $\theta_1(z)$ ,  $\varphi_1(z)$  удовлетворяют уравнениям:

$$\begin{pmatrix} \frac{d^2}{dz^2} - rq^2 + \varepsilon_0 E^2; & (1-r)q \frac{d}{dz} + eEq \\ eEq - (1-r)q \frac{d}{dz}; & r \frac{d^2}{dz^2} - q^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \theta_1(z) \\ \varphi_1(z) \end{pmatrix} = 0 \quad (6)$$

В системе уравнений (4.5.6) функции  $\theta_1(z)$ ,  $\varphi_1(z)$  представим в виде

$$\begin{pmatrix} \theta_1(z) \\ \varphi_1(z) \end{pmatrix} = \exp(\lambda z) \cdot \begin{pmatrix} \theta_{10} \\ \varphi_{10} \end{pmatrix} \quad (7)$$

тогда выражения (6) запишется в виде однородной системы двух алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов  $\theta_{10}$  и  $\varphi_{10}$ . Условие совместности системы (6) позволяет выписать дисперсионное соотношение для определения значений  $\lambda$ :

$$(\lambda^2 - q^2)^2 + \varepsilon_0 E^2 (\lambda^2 - q^2) - \frac{1}{r} [\varepsilon_0 E^2 q^2 (1-r) + (eEq)^2] = 0 \quad (8)$$

Решение полученного уравнения (8) дает  $\lambda = \pm ip_1, \pm ip_2$ , где  $p_1$  и  $p_2$  сами являются действительными

$$p_1 = \left\{ \frac{1}{2} \left[ \varepsilon_0 E^2 + \left( (\varepsilon_0 E^2)^2 + 4q^2 \varepsilon_0 E^2 \frac{1-r+1/\nu}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \right] - q^2 \right\}^{\frac{1}{2}},$$

$$p_2 = \left\{ q^2 - \frac{1}{2} \left[ \varepsilon_0 E^2 - \left( (\varepsilon_0 E^2)^2 + 4q^2 \varepsilon_0 E^2 \frac{1-r+1/\nu}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

где  $\nu = \frac{\varepsilon_0}{e^2}$ . При исследовании явлений переориентации в НЖК при отсутствии флексоэлектрического эффекта, максимальное значение  $r_0$  составило  $r_0 = 0,5$ .

**В пятой главе** представлены результаты комплексного (теоретического и экспериментального) исследования строения и конформационных свойств молекул 4-*n*-алкил-4'-цианобифенила методами колебательной инфракрасной спектроскопии. Анализ измеренных спектров выполнен с учетом имеющихся экспериментальных данных о молекулярной структуре, температурах фазовых переходов и полученных результатов теоретического моделирования ИК спектров.

Предварительный анализ ИК спектров образцов *n*СВ ( $n=5;7$ ), измеренных при разных температурах и в разных фазовых состояниях, позволил установить различия спектров, которые на данном этапе могут быть предварительно объяснены конформационной подвижностью молекул. Для подтверждения этого предположения с помощью комплекса программ LEV 100 было осуществлено моделирование спектров ИК поглощения для ряда конформеров, различающихся тройкой углов кручения  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  (где  $\varphi_1$  – угол поворота плоскости фенильного кольца Б относительно плоскости кольца А,  $\varphi_2$  – угол поворота алкильной группы относительно плоскости Б,  $\varphi_3$  – угол поворота остающейся части алкильного радикала относительно плоскости C<sub>11</sub>, C<sub>14</sub>, C<sub>15</sub>), задающих конформацию молекулы (рис. 7).

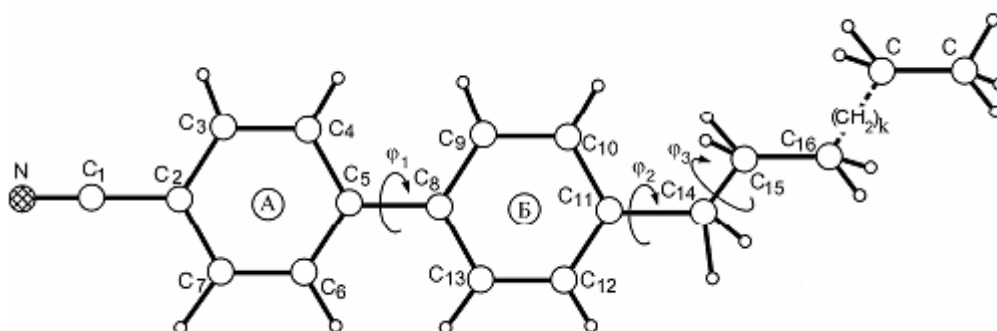


Рис. 7. Плоский конформер молекулы *n*СВ ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 = 0^\circ$ ).

Углы  $\varphi_1, \varphi_2$  и  $\varphi_3$  отсчитывали по часовой стрелке. Моделирование колебательных спектров ИК поглощения было проведено для 303 конформеров *n*СВ

( $n = 5, 7$ ). При моделировании спектров конформеров угол  $\varphi_1$  варьировали от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  с шагом  $10^\circ$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$  варьировали от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , соответственно, с переменным шагом в интервале от  $5$  до  $20^\circ$ .

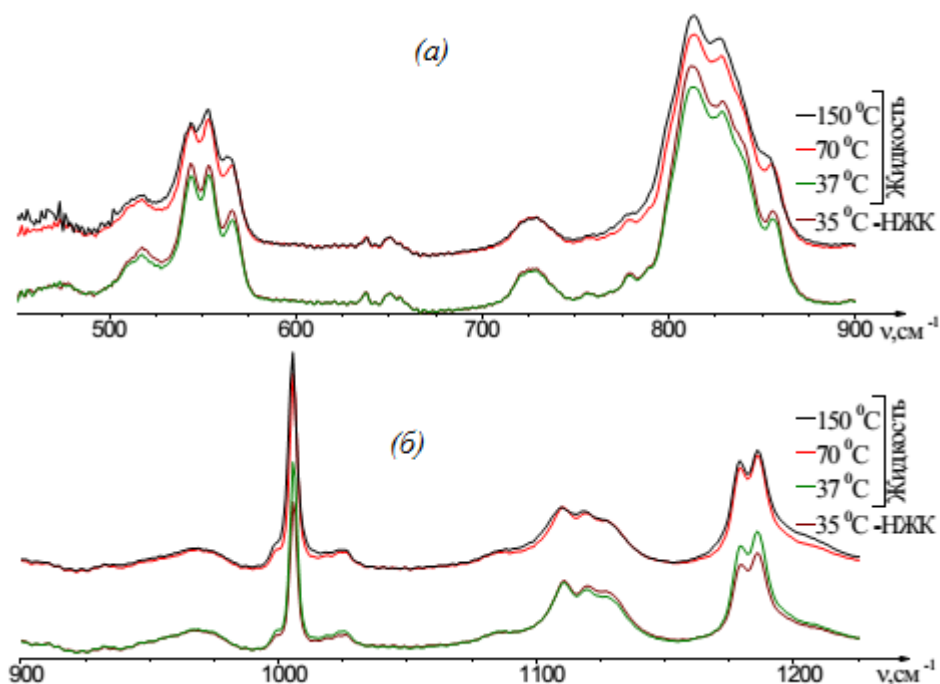


Рис. 8. Спектры ИК поглощения 5СВ, измеренные при температурах  $35^\circ\text{C}$  (НЖК),  $37^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$  (Ж) в областях  $450\text{-}900\text{ см}^{-1}$  (а);  $900\text{-}1225\text{ см}^{-1}$  (б).

Для ИК спектров, измеренных для разных фаз вблизи точки фазового перехода при температурах  $35^\circ\text{C}$  (НЖК) и  $37^\circ\text{C}$  (ИЗЖ), наблюдаются значительные различия интенсивностей отдельных полос ИК спектра. На рисунках 8 и 9 детально показаны температурные различия экспериментальных ИК спектров 5СВ. Для наглядности спектральных различий ИК спектров 5СВ, измеренных в разных фазах при температурах  $35^\circ\text{C}$  (НЖК) и  $37^\circ\text{C}$  (ИЗЖ) и в жидком состоянии при температурах  $70^\circ\text{C}$  и  $150^\circ\text{C}$ , спектральные кривые попарно были наложены друг на друга, а колебательный спектр ИК поглощения 5СВ представлен по областям  $450\text{-}900\text{ см}^{-1}$ ,  $900\text{-}1225\text{ см}^{-1}$ ,  $1225\text{-}1650\text{ см}^{-1}$  и  $2200\text{-}2250$ ;  $2900\text{-}3100\text{ см}^{-1}$ .

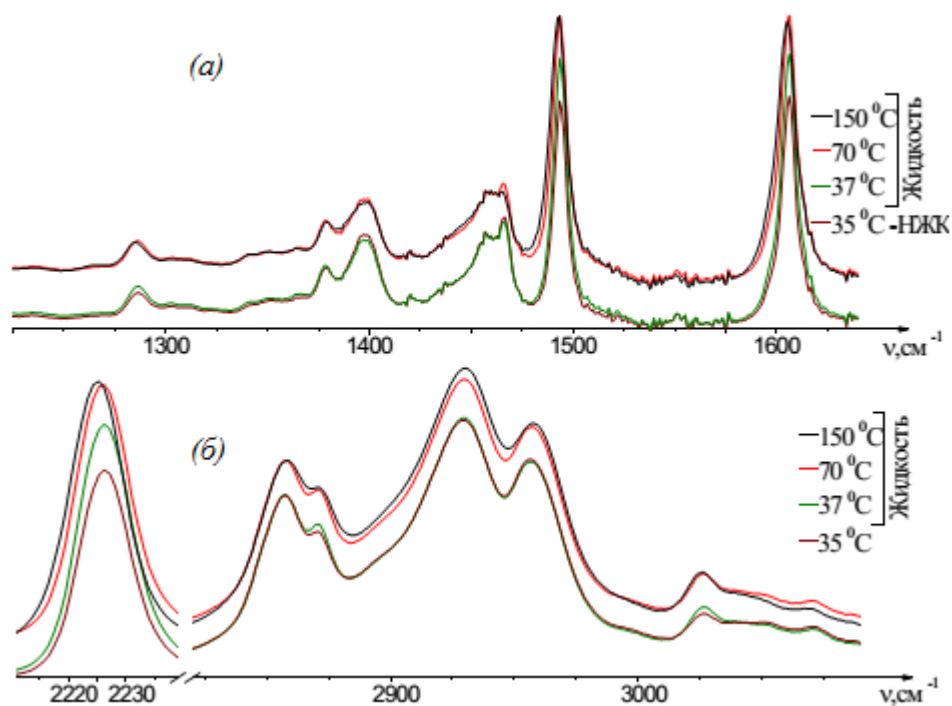


Рис. 9. Спектры ИК поглощения 5СВ, измеренные при температурах 35°C(НЖК), 37°C, 70°C, 150°C (ИзЖ) в областях 1225-1600  $\text{cm}^{-1}$  (а); 2210-3100  $\text{cm}^{-1}$  (б)

Рассмотрим отличия ИК спектров, измеренных в разных фазах при температурах 35°C (НЖК) и 37°C (ИзЖ). Отличия ИК спектров жидкокристаллического и жидкого образца 5СВ при температурах 35°C и 37°C аналогичны отличиям ИК спектров, измеренных при нагревании образца в пределах жидкокристаллического состояния. Как и при нагревании от 26 до 35°C (НЖК), при фазовом переходе НЖК→ИзЖ, спектральные отличия выражены изменением интенсивностей одних и тех же полос (за исключением полосы 1275-1295  $\text{cm}^{-1}$ , которая при нагревании НЖК не изменялась) и отличается только количественная степень изменений интенсивности. При фазовом переходе интенсивность большинства полос ИК спектра уменьшается. Максимальное уменьшение интенсивности при фазовом переходе обнаруживается для полосы 500-580  $\text{cm}^{-1}$ , интенсивность которой уменьшается приблизительно на 10% (рис. 8, а). Данные уменьшения интенсивности полос ИК спектра при нагревании жидкого 5СВ предположительно могут быть следствием конформационных процессов, так как в большинстве случаев полосы являются чувствительными к конформационной подвижности.

При нагревании образца 5СВ от 70°C до 150°C наблюдается незначительное изменение частотных положений и интенсивностей пиков отдельных полос ИК спектра. Уменьшение значений частот на 0,4-2  $\text{cm}^{-1}$  обнаружено для следующих пиков: 565  $\text{cm}^{-1}$ , 855  $\text{cm}^{-1}$ , 1110  $\text{cm}^{-1}$ , 1285  $\text{cm}^{-1}$ , 1493  $\text{cm}^{-1}$ , 1606  $\text{cm}^{-1}$ , 2225  $\text{cm}^{-1}$ , частотное положение остальных пиков меняется еще слабее, либо не изменяется вовсе. Максимальное частотное смещение максимумов достигает 2  $\text{cm}^{-1}$  и наблюдается у пика  $\nu_{32}=855 \text{ cm}^{-1}$  (рис. 8, а), принадлежащего интенсивной полосе 760 -870  $\text{cm}^{-1}$ . Максимум

полосы  $2210\text{--}2240\text{ см}^{-1}$  при нагревании от  $70^\circ\text{C}$  до  $150^\circ\text{C}$  смещается в длинноволновую сторону на  $1\text{ см}^{-1}$ .

Спектры ИК поглощения образцов 4-н-гептил-4'-цианобифенила были измерены в области частот  $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$  в интервале температур  $26\text{--}140^\circ\text{C}$ . При нагревании в данном температурном интервале реализуются два фазовых перехода: СЖК→НЖК ( $t_{\text{кр}} = 33,5^\circ\text{C}$ ) и НЖК→ИзЖ ( $t_{\text{пр}} = 40,5^\circ\text{C}$ ).

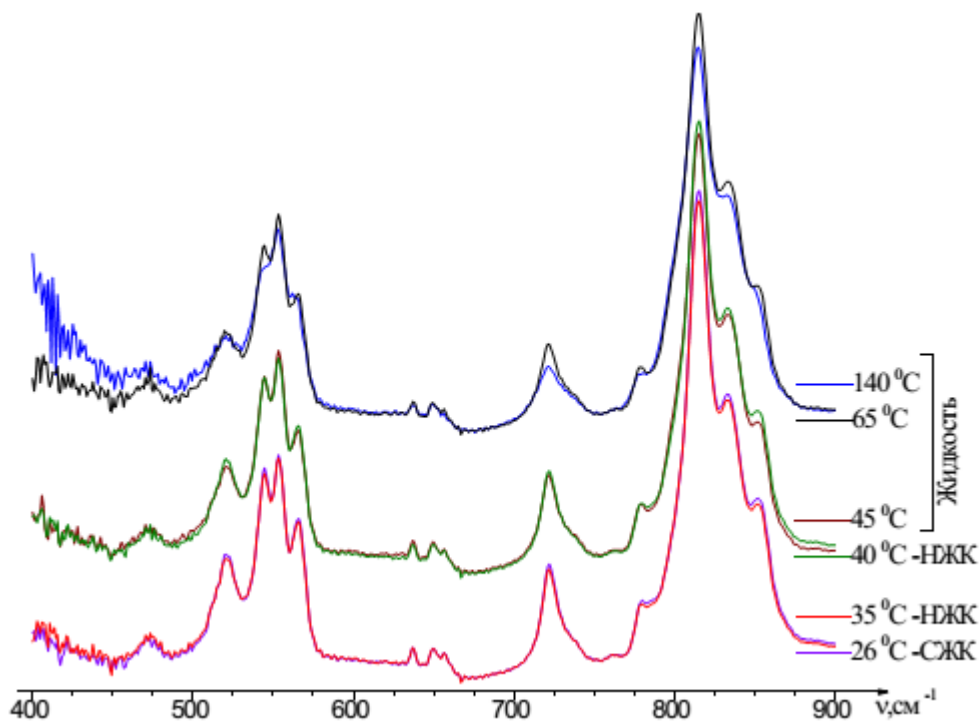


Рис. 10. Спектры ИК поглощения 7СВ, измеренные при температурах  $26^\circ\text{C}$  (СЖК),  $35^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$  (НЖК),  $45^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$  и  $140^\circ\text{C}$  (ИзЖ) в области  $400\text{--}900\text{ см}^{-1}$ .

На рис. 10 представлен колебательный спектр ИК поглощения 7СВ по областям  $400\text{--}900\text{ см}^{-1}$ . Представленные ИК спектры 7СВ измерены при различных температурах вблизи фазовых переходов из СЖК в НЖК, из НЖК в изотропную жидкость и при нагревании жидкого 7СВ. Для удобства анализа спектральные кривые на рисунках попарно наложены друг на друга. Область  $400\text{--}900\text{ см}^{-1}$  ИК спектра 7СВ образована всевозможными плоскими и неплоскими деформационными колебаниями структурных элементов молекулы, которые чувствительны к изменениям конформации и ММВ.

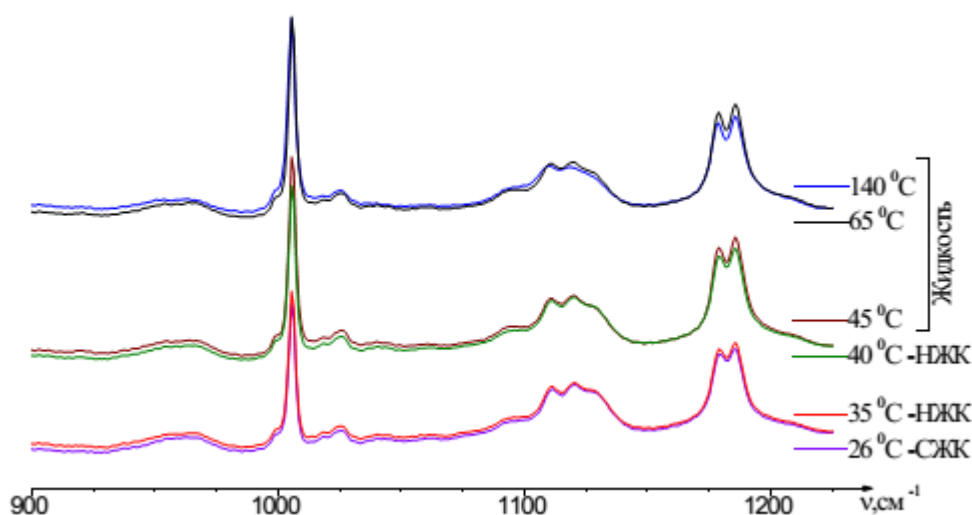


Рис. 11. Спектры ИК поглощения 7СВ, измеренные при температурах 26°С и 35°С, 40°С (НЖК), 45°С, 65°С и 140°С (ИзЖ) в области 900 -1225 см<sup>-1</sup>.

В коротковолновой части ИК спектра (рис. 11), в отличие от длинноволновой области 400-900 см<sup>-1</sup>, при фазовых переходах из СЖК в НЖК и из НЖК в изотропную жидкость пиковая интенсивность полос увеличивается. Возрастание пиковой интенсивности полос в области 900-3100 см<sup>-1</sup> при переходе из СЖК в НЖК достигает 5%, а при переходе из НЖК в изотропную жидкость 10%.

Изменения интенсивностей при фазовых переходах наблюдаются у одних и тех же полос и с одним и тем же знаком. Сходство изменений ИК спектра 7СВ при фазовых переходах СЖК-НЖК и НЖК-ИзЖ может быть следствием того, что в обоих фазовых переходах протекают одинаковые или близкие процессы.

Как и в случае для 5СВ, для установления конформационной подвижности в жидком 7СВ были проведены расчеты ИК спектров конформеров, различающихся тройкой углов кручения  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  и сняли ИК-спектры поглощения, иллюстрированные на рис. 12. Конформеры 7СВ были созданы с учетом имеющихся экспериментальных данных о молекулярной структуре в твердокристаллическом состоянии (табл. 4). По данным РСА в кристаллическом 7СВ при -33°С реализуется конформер с  $\varphi_1=39,12^\circ$ ;  $\varphi_2=34,92^\circ$ ;  $\varphi_3, \dots, \varphi_9=0^\circ$ .

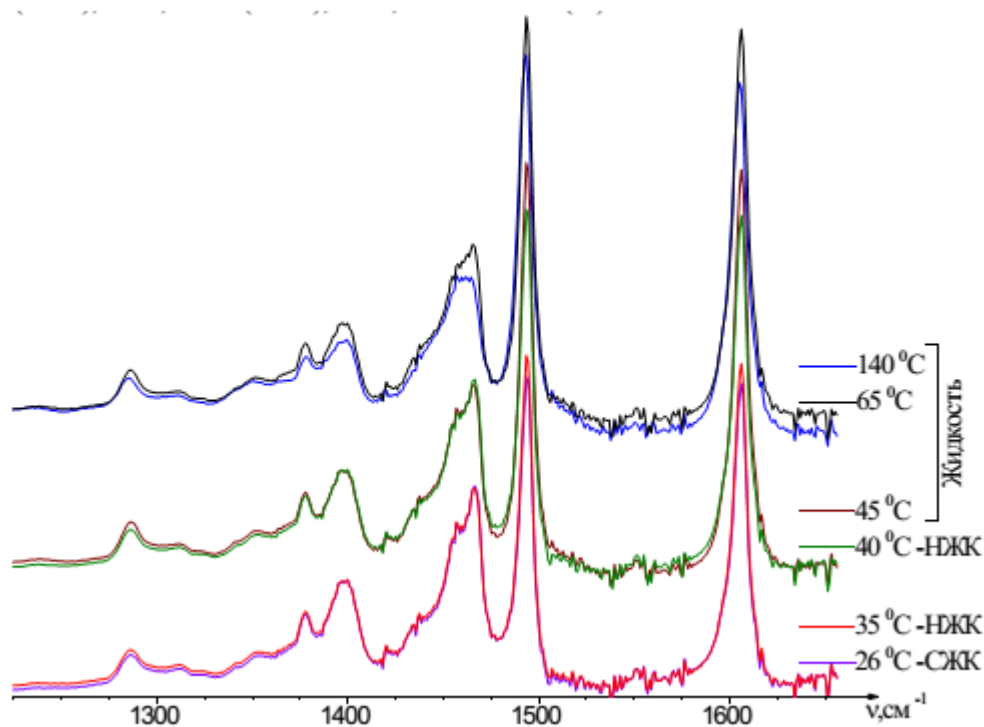


Рис. 12 Спектры ИК поглощения 7СВ, измеренные при температурах 26°С, 35°С, 40°С (НЖК), 45°С, 65°С и 140°С (ИЗЖ) в области 1225 -1640 см<sup>-1</sup>.

Таблица 4 Значения двугранных углов кручения, задающих конформацию в молекулах nCB

n	Метод	Фаза	t, °С	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>3</sub>	φ <sub>4</sub>	φ <sub>5</sub>
5	РСА	Кр	-20	26°	90,3°	110°	8°	-1,5°
	ЯМР	НЖК	-	32	-	-	-	-
7	РСА	Кр	-33	35,93°	7,20°	-	-	-
				30,96°	19,16°	-	-	-

При варьировании одного из трех углов  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ , с шагом 10°, значения остальных углов фиксировали в следующих положениях:  $\phi_1=0^\circ$ ; 10°; 30°; 39,12°(РСА); 60°,  $\phi_2=0^\circ$ ; 34,92°(РСА); 60°; 90°,  $\phi_3 = 0^\circ$ ; 190°,  $\phi_4 = \phi_5 = \phi_6 = \phi_7 = \phi_8 = \phi_9 = 0^\circ$ . Всего было рассчитано 90 различных моделей конформеров 7СВ.

Интерпретация форм колебаний показывает, что большая часть чувствительных к конформации спектральных линий принадлежит деформационным колебаниям структурных элементов молекулы, находящихся вблизи зоны конформации. Деформационные колебания по сравнению с валентными более чувствительны к конформации. При варьировании углов, задающих конформацию 7СВ, максимальное изменение частот деформационных колебаний достигает ~30 см<sup>-1</sup>. Валентные колебания СС (1005 см<sup>-1</sup>, 1022 см<sup>-1</sup>, 1063 см<sup>-1</sup>) алкильного радикала взаимодействуют с деформационными, и их чувствительность к конформации трудно оценить.

Валентные колебания связей СН, находящиеся в области 2800-3000 см<sup>-1</sup> ИК спектра, согласно расчету, незначительно чувствительны к конформации алкильного радикала молекулы. При варьировании торсионного угла φ<sub>3</sub> от 0° до 180° максимальное смещение рассчитанных частот валентных колебаний 7СВ не более 4 см<sup>-1</sup>. Интенсивность колебаний также изменяется.

Характеристические частоты поглощения химических групп исследуемых полимеров (ПВБ) и интенсивность пиков зарегистрированных полос на ИК-спектрах приведены в таблице 5. Сопоставительный анализ данных показали, что с увеличением концентрации НЖК 7СВ в составе матрицы от 15% до 30% частота колебаний группы С≡N увеличиваются от 2328 до 2333 см<sup>-1</sup>, а интенсивность полосы поглощения в максимуме, наоборот, уменьшаются.

Таблица 5. Характеристические частоты поглощения химических групп поливинилбутираля, полученные методом ИК–Фурье спектроскопии

Тип колебаний	Исх.		7СВ 15%		7СВ 20%		7СВ 25%		7СВ 30%	
	ν, см <sup>-1</sup> 1	A	ν, см <sup>-1</sup> 1	A	ν, см <sup>-1</sup> 1	A	ν, см <sup>-1</sup> 1	A	ν, см <sup>-1</sup> 1	A
ν(C≡N)	2328	110	2328	107	2330	89.4	2331	77.2	2333	66.4
ν <sub>s</sub> (C-O)	1068	63.1	1068	60.3	1068	55.0	1069	50.5	1069	48.0
ν <sub>as</sub> (C-O)	1295	274. 8	1292	296. 3	1289	300. 6	1287	299. 2	1286	296. 7
ν(∠COC)	529.4	17.8	529.1	16.6	528.2	14.1	527.8	11.4	528.0	8.8
ν(∠CC- H) <sub>Ph</sub>	1445	6.7	1442. 5	3.35	1445	6.5	1438	5.8	1436	5.7
ν(CC, ∠ CC-H)	1591	1.8	1588	1.8	1589	1.76	1588	1.7	1588	1.0
ν <sub>s</sub> (C-H)	3200	19.8	3198	18.2	3192	11.0	3188	5.9	3188	7.0
ν <sub>as</sub> (C-H)	3202	2.3	3199	3.1	3193	8.3	3189	12.0	3188	9.1
ν <sub>as</sub> (C-H) <sub>CH<sub>3</sub></sub>	3021	71.2	3021	70.7	320	69.5	3019	67.6	3018	65.1
ν(∠ OCH) <sub>CH<sub>3</sub></sub>	1209	14.5	127	30.6	1206	48.9	1205	27.3	1204	3.6
ν <sub>as</sub> (δ <sub>CH<sub>3</sub></sub> )	1480	15.2	1480	15.4	1480	14.2	1480	12.6	1480	11.9

Соответственно, частоты валентных колебаний связей типа С-Н бензольных колец и группы СН<sub>3</sub> с ростом концентрации 7СВ уменьшаются. Исходная пленка из ПВБ без содержания НЖК 7СВ при комнатной температуре содержит сравнительно

незначительное количество водородных связей. Однако, интенсивность полос плоских и неплоских С-Н-колебаний бензольных колец слишком мала. Аналогичные картины наблюдаются и к интенсивности полосы валентных С-С колебаний бензольных колец, частота которых найдена минимальной при концентрации 15% для НЖК 7СВ.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлен нелинейной зависимости минимальной ( $T_{min}$ ) и максимальной ( $T_{max}$ ) коэффициентов светопропускания от толщины спейсеров для НЖК 5СВ. Отклонение от данной зависимости для более массивного образца объясняется существенным вкладом многократного рассеяния на каплях жидкого кристалла, что способствует замедлению уменьшения коэффициента пропускания с увеличением толщины рассеивающего слоя.

2. Установлено, что наличие точечных и линейных дефектов внутри капель нематика способствуют дополнительному рассеянию света. Последнее слабо проявляется в исходном состоянии, когда преобладает рассеяние света вследствие значительного градиента показателя преломления между полимерной матрицы и НЖК. В режиме насыщения данный градиент показателя преломления становится незначительным, а дополнительный вклад рассеяния на дефектах ориентационной структуры внутри капель НЖК 5 СВ способен оказывать значительное влияние на общую картину рассеяния, и, как следствие, на коэффициент пропускания образца  $T_{max}$ .

3. Констатировали, что нематическая капля имеет ориентационную структуру с двумя буждумами, кольцевым дефектом и биполярной осью, наклоненной к плоскости пленки. Отсутствие полос затухания указывает на наличие деформации кручения, а угол между биполярной осью и плоскостью пленки в ансамбле капель может варьироваться от  $0^\circ$  до приблизительно  $90^\circ$ . Если биполярная ось ортогональна плоскости пленки, оптическая текстура не зависит от поворота подставки (платформы) микроскопа.

4. Доказано, что совокупные данные измерений ПОМ и ДСК указывают на то, что в процессе термической обработки (TIPS) расплавленная эмульсия жидких кристаллов в полимерной матрице заменила более неравномерное распределение ЖК, полученное методом SIPS. Благодаря релаксации ПВБ происходит межфазное взаимодействие, которое определяет гомеотропное сцепление капель ЖК в полимерной матрице. Это межфазное взаимодействие также приводит к упорядочению ПВБ вокруг капель ЖК.

5. Установлено, что капли нематика в ДПЖК композитах, полученные методами SIPS и TIPS, имеют радиальную конфигурацию с гомеотропным расположением молекул, стабилизированную за счет самосборки из алифатических элементов и дипольные взаимодействия на границе раздела фаз. Они имеют субмикронный размер, меньший при низком содержании ЖК (около 250 нм) и больший при среднем (около 650 нм).

6. Показано, что модификация поверхностного сцепления на межфазной границе полимер-жидкий кристалл при растяжении приводит к значительному увеличению

коэффициента когерентного пропускания и поляризующей способности пленки. Полученные результаты могут быть использованы для создания поляроидных пленок, на основе ДПЖК с ионно-сурфактантной модификацией межфазного поверхностного сцепления. Такие пленки работают в светорассеивающей моде без поглощения падающего света. Они обладают высокой светостойкостью, механической прочностью, высокими коэффициентом пропускания и поляризующей способностью.

7. Доказано, что степень полимеризации, при которой образуются капли нематика, является важным фактором, определяющим рост капель и конечную морфологию пленки. Кроме того, с увеличением концентрации сурфактанта смесь ДПЖК перемещается ближе к границе раздела фаз, что приводит к менее развитой полимерной матрице, когда происходит разделение фаз, и к увеличению времени выдержки для образования крупных капель.

8. Показано, что увеличение приложенного напряжения с ростом концентрации СТАВ связано с частичным увеличением вязкости композита, изменением морфологии, увеличением проводимости жидкокристаллической капли и жестким сцеплением со стенками полимера. Спонтанный рост величины  $U_{th}$  с повышением температуры объясняется экспериментальным фактом на основе среднего распределения ЖК-капель по размерам в матрице и уменьшения эффективного напряжения на ЖК-каплях в диэлектрической пленке при воздействии переменного электрического поля.

9. Показано, что изменения концентрации СТАВ способствует не переставать толщины ЖК ячеек и не прибегать к применению дополнительных механизмов и устройств типа вращателей плоскости поляризации для согласования НЖК элементов с внешними оптическими схемами. Данный факт имеет ценный практический интерес для дисплейных технологий, так как можно интегрировать композит НЖК с добавкой ПАВ СТАВ, с улучшенными спектральными и динамическими характеристиками.

10. Установлено, что максимальное уменьшение интенсивности при фазовом переходе НЖК 5СВ обнаруживается для полосы  $500-580\text{ см}^{-1}$ , интенсивность которой уменьшается приблизительно на 10%. Данные уменьшения интенсивности полос ИК спектра при нагревании жидкого 5СВ предположительно могут быть следствием конформационных процессов, так как в большинстве случаев полосы являются чувствительными к конформационной подвижности.

11. В жидком состоянии при нагревании от  $55$  до  $140^\circ\text{C}$  установлено незначительное изменение конформационного состава, определяемое уменьшением концентрации конформеров с  $\varphi_1=30^\circ$  и  $\varphi_3=105^\circ$  и ростом численности конформеров с  $\varphi_1=70^\circ$  и  $\varphi_3=0^\circ$ .

12. Предположено, что с ростом угла между плоскостями бензольных колец дипольный момент молекулы НЖК 7СВ уменьшается, и при переходе к перпендикулярной конформации молекулы наблюдается увеличение частоты колебаний валентной связи  $\text{C}\equiv\text{N}$  на  $5\text{ см}^{-1}$  и уменьшение интенсивности ИК-полосы почти на 2 раза.

### Основные публикации по теме диссертации

1. Каримов С.Н., Эгамов М.Х. Оптические свойства одноосно растянутых полимерно-жидкокристаллических композитов // Известия АН Республики Таджикистан Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук, 2011, №4 (145) - С. 69-76
2. Эгамов М.Х. Анизотропия светорассеяния полимерно-жидкокристаллических композиционных систем при одноосном растяжении // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012, № 4-2 – с. 675-680
3. Эгамов М.Х., Герасимов В.П., Крахалев М.Н., Прищепа О.О. Лойко В.А., Зырянов В.Я. Поляризующее свойства вытянутой пленки капсулированного полимером жидкий кристалл с примесью сурфактанта // Оптический журнал 2014. Т. 81, №7. – с.67-71
4. Эгамов М.Х., Прищепа О.О., Герасимов В.П., Крахалев М.Н., Лойко В.А. Поляризаторы света на основе композитных «полимер-ЖК-сурфактант» пленок в качестве анизотропно-рассеивающих сред // Известия ВУЗов. Серия Физики. 2013, том 56, № 2-2. – с.258-263
5. Egamov M.Kh., Gerasimov V.P., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya., Loiko V.A. Polarizing properties of a stretched film of a polymer-dispersed liquid crystal with a surfactant dopant // Journal of Optical Technology. 2014, vol.81, N 7. – p. 414-417
6. Эгамов М.Х., Мамаджонов П.Д., Каримов С.К. Исследования электрофизических свойств полимерно-жидкокристаллических пленок // Ученые записки ХГУ им. академика Б. Гафурова, №1-2017 - С.111-114.
7. Egamov M.Kh. The structural transformations of polymer dispersed liquid crystalline films in an external deformation field // Journal of Physics: IOP Conference Series, 2018, 4 №113 - p. 012013-012017 DOI: 10.1088/1742-6596
8. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И., Файзуллоев И.Х. Влияние мощности излучения инжекционного лазера на оптические свойства композитов на основе «полимер-жидкий кристалл» // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2019. №3. – с. 83-89
9. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж., Гаюров Х.Ш. Формирование оптической анизотропии капсулированных полимером жидкокристаллических пленок при одноосном растяжении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020, №4 – с.73-78
10. Махсудов Б.И., Файзуллоев И.Х., Эгамов М.Х. Температурная зависимость оптических свойств в композитах на основе полимер-нематического жидкого кристалла при одноосной деформации // Доклады НАНТ, 2021, Том 64, № 9-10. - с. 536-541
11. Рахимова У.Дж., Эгамов М.Х. Видоизменения структуры полимерно-жидкокристаллических пленок для получения поляризаторов // Доклады НАН Таджикистана, 2021, Том 64, № 11-12. - с. 682-686
12. Каримов С.К., Эгамов М.Х., Абдуманонов А. Конформационные переходы в капсулированных полимером жидкокристаллических пленках // Доклады НАНТ, 2022, Т.65, №1-2,.-с.75-80
13. Махсудов Б.И., Файзуллоев И.Х., Эгамов М.Х. Оптический гистерезис в композитах на основе полимер-нематический жидкий кристалл при одноосной

деформации // Известия ВУЗ-ов. Серия Физика. 2022, т.65, №3 (772). – с. 88-91. DOI: 10.17223/00213411/65/3/88

14. Maksudov B.I., Faizulloev I.Kh., Egamov M.Kh. Hysteresis phenomena and the effect reorientation in a polymer-liquid crystal system under the influence of laser radiation and uniaxial deformation // Journal of Physics: Conference Series. 2022. V. 2270 – 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/2270/1/012011

15. Рахимова У.Дж., Эгамов М.Х. Эффект светорассеяния полимерно-жидкокристаллических композитов со спонтанной самоорганизацией структуры // Известия НАН Таджикистана. 2022, № 3 (188), - с.78-84

16. Махсудов Б.И., Файзуллоев И.Х., Эгамов М.Х. Нелинейные оптические явления при взаимодействии лазерного излучения с композитами на основе полимер-нематического жидкого кристалла при одноосной деформации // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2022. №1. – с. 104-115

17. Каримов С.К., Эгамов М.Х. Влияние температуры на механические свойства композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла // Ученые записки ХГУ им. академика Б. Гафурова, Серия естественных наук. №2-2022. – с. 61-64

18. Maksudov B.I., Faizulloev I.Kh., Egamov M.Kh. Optical hysteresis in composites based on polymer-nematic liquid crystal under uniaxial deformation // Russian Physics Journal, 2022, Vol. 65, №3. –р.488-492

19. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж., Гаюров Х.Ш. Изменения плоскости поляризации света в нематических жидких кристаллах на основе 4-пентил-4'-цианобифенила // Известия НАНТ. Отд. Физико-математических, геологических и технических наук. 2023, № 4 (193)-С. 73-79

20. Эгамов М.Х. Вращения плоскости поляризации светового излучения в нематических жидких кристаллах // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2024. Т. 21, №2. – С. 199-204

21. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И., Рахимова У.Дж. Влияние концентрации ПАВ на изменения плоскости поляризации света при прохождении через ЖК-среду // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. SCOPUS. 2024, №2. – С. 63-69

22. Egamov M.Kh., Maksudov B.I., Rakhimova U.J. Influence of surfactant concentration on changes in the plane of polarization of light when passing through the LC medium // Bulletin of the Tajik national university. Series of natural sciences. 2024, No. 2 – p. 56-61 doi.org/10.62965/tnu.sns.2024.2.7

23. Egamov M.Kh. Studies of the structure and properties of polymer dispersed liquid crystal films to create a polarizer // Journal of Polymer Science and Engineering //USA, 2024 – p. 142-154

24. Эгамов М.Х., Сидиков А.Т. Роль катионного сурфактанта в жидкокристаллическом управляющем устройстве // Промышленные АСУ и контроллеры. 2024, № 12. – с.33-38

25. Egamov M.Kh., Maksudov B.I., Yorov, M.N., Rakhimova, U.J. Evolution of the phase transition in the nematic phase of a liquid crystal doped with metallic nanoparticles // Engineering and Technology Journal. 2025. Vol. 10, Issue 04. – P. 4359-4364

26. Эгамов М.Х., Сидиков А.Т. Юмагулов Н.И. Оптические и калориметрические исследования нематика, допированного металлическими наночастицами // Промышленные АСУ и контроллеры. 2025, №11. – с. 41-47

27. Juraev Kh.Sh., Egamov M.Kh. Yorov M.N. Nonlinear Optical Properties of Liquid Crystals Studied in the Light Transmission Mode // *Inorganic Materials: Applied Research*, 2025, Vol. 16, No. 6, pp. 1673–1677 DOI: 10.1134/S2075113325701850

28. Эгамов М.Х. Модификация электрооптических свойств жидкокристаллических устройств в инверсном режиме // *Известия НАНТ. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*. 2026 г. № 1 (202) – с.90-97

29. Каримов С.К., Эгамов М.Х. Конформационные переходы в композите на основе полимера и жидкого кристалла // *Известия НАНТ. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*. 2026 г. № 1 (202) – с.98-106

30. Egamov M.Kh, Makhsudov B.I. Rakhimova U.J. Yorov M.N. Correlation analysis and morphological characteristics of a PDLC composite for optoelectronic applications // *Journal of Advanced Materials Science and Engineering* 2026. Vol. 1, Issue 1. – P. 1-6

31. Egamov M.Kh., Yorov M.N., Juraev Kh., Rakhimova U.J. Modification of the electro-optical properties of liquid crystal devices in the inverse mode // *Engineering and Technology Journal*. 2026. Vol. 11, Issue 04. – P. 9434-9439 DOI: 10.47191/etj/v11i04.12, I.F. – 8.595

### Патент

1. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И., Файзуллоев И.Х. Лазерный датчик смещения на основе полимерно-жидкокристаллических композитов // Патент № ТЈ 1224 от 20 декабря 2021 г.

### Материалы, доложенные в международных конференциях и симпозиумов

1. Эгамов М.Х., Герасимов В.П., Крахалев М.Н., Лойко В.А., Зырянов В.Я. Анизотропия светорассеяния в полимерно-жидкокристаллических композитах с варьируемыми граничными условиями. //II Международная научно-техническая конференция «Поляризационная оптика-2010», посвященная 80-летию МЭИ. Москва, 2-4 ноября 2010 г. – М., МЭИ, 2010 г. - с. 60-61

2. Эгамов М.Х., Герасимов В.П., Ермаков В.П. Полимерно-жидкокристаллические композиционные материалы для оптоэлектроники и дисплейной техники // 51-ая Международная конференция «Актуальные проблемы прочности», Украина, Харьков, 16-20 мая 2011 г.- с.313

3. Эгамов М.Х., Крахалев М.Н. Особенности трансформации ориентационной структуры деформируемых капель нематика, допированного сурфактантом // V Международная научная конференция «Актуальные проблемы физики твердого тела». 18-21 октября 2011 г. Минск, Белоруссия. – с. 103-105

4. Эгамов М.Х., Каримов С.Н. Роль одноосного растяжения для светопропускания полимерно-жидкокристаллических композиционных систем // Юбилейные XX Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные памяти профессора В.А. Лихачева, 10-12 апреля 2012 г. Санкт-Петербург. Часть 1. –с.306

5. Прищепа О.О., Эгамов М.Х., Герасимов В.П., Лойко В.А. Поляризаторы света на основе композитных «полимер-ЖК-сурфактант» пленок в качестве анизотропно рассеивающих сред // Международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике, посвященная 110-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ профессора И.А.Парфиановича. Иркутск, 16-22 июля 2012 г. – С.131-132

6. Эгамов М.Х., Герасимов В.П., Зырянов В.Я., Лойко В.А. Влияние поверхностно-активного вещества на анизотропию светопропускания вытянутых пленок, капсулированного полимером жидкого кристалла // Первая Всероссийская конференция по жидким кристаллам РКЖК-2012. Иваново, 17-21 сентября 2012г. – с.219
7. Egamov M.Kh., Loiko V.A., Krakhalev M.N., Gerasimov V.P., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Light Scattering in the Stretched Film of Polymer Dispersed Liquid Crystal Doped with Surfactant // The 15<sup>th</sup> Electromagnetic and Light Scattering Conference, 21 – 26 June 2015. Leipzig, Germany. – p.139-141
8. Эгамов М.Х. Жидкокристаллические элементы на основе границы раздела двух мезофаз // V Междунар. конф. «Актуальные проблемы молекулярной спектроскопии конденсированных сред». – Самарканд, 22-24 сентября 2016 г. – с.96
9. Эгамов М.Х. Электрооптические явления в пористых полимерных пленках, заполненных жидким кристаллом // International Symposium KSCMBS'16- «Khujand Symposium on Computational Materials and Biological Sciences» - Khujand, 2016-p.110
10. Эгамов М.Х. Модификация углеродными нанотрубками проводящего слоя для ориентирования жидких кристаллов в оптоэлектронных устройствах // IX Междунар. конфер. «Фазовые превращения и прочность кристаллов» (ФППК-2016) памяти академика Г.В. Курдюмова.- Черноголовка, 7-11 ноября 2016г. 2016- с. 49
11. Эгамов М.Х., Хасанов Т. Микрополяризатор на основе жидкокристаллической пленки // XII Междунар. конфер. «Прикладная оптика-2016» (ПО-16), Санкт-Петербург, 15-18 ноября 2016 г. - с.107-111
12. Эгамов М.Х. Перспективные применения жидкокристаллических устройств отображения информации // Междунар. конфер. «Перспективы развития физической науки», посвящ. памяти профессора Ф.Х. Хакимова, 20 апреля 2017 г., Душанбе, ТНУ.- с. 110-112
13. Egamov M.Kh., Karimov S.K. Abdumanonov A. Deformation behavior of polymeric liquid-crystalline films in a creep mode // 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), June 19-21, 2017; Saint Petersburg, Russia. – p. 170
14. Эгамов М.Х. Структурные преобразования в каплях нематика во внешнем электрическом поле //Междунар. конф. «Современные проблемы физики конденсированных сред», посвящённой 90-летию заслуженного деятеля науки и техники Республики Таджикистан, д.ф.-м. н., профессора Нарзуллаева Б. Н. 25 ноября 2017 г. Душанбе. – с.22-26
15. Эгамов М.Х. Исследования структуры полимерно-жидкокристаллические пленки во внешнем электрическом поле // Междунар. конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва, 7-10 ноября 2017 г. –с.651
16. Эгамов М.Х. Конформационные превращения в жидкокристаллических мезогенах // Междунар. конфер. «Перспективы развития физической науки», посвящ. памяти профессора Б.Н. Нарзиева, 20 апреля 2018 г., Душанбе, ТНУ. - с. 110-112
17. Эгамов М.Х. Модификация полимерно-жидкокристаллических композитов углеродными нанотрубками // XXX Междунар. научной конфер. «Актуальные проблемы прочности», 14-18 мая 2018 г., Витебск, Беларусь. – с. 457-459
18. Egamov M.Kh. The structural transformations of polymer dispersed liquid crystalline films in an external deformation field // Материалы VI Междунар. конфер. «Современные проблемы физики», посвящ. 110 летию академика АН РТ С.У. Умарова

и 90 летию академика АН РТ А.А. Адхамова, 28-30 июня 2018 г. Душанбе, ФТИ им. С.У. Умарова - с.107-108

19. Egamov M.Kh. The investigation nanostructure of polymer dispersed liquid crystalline films in an external deformation field // Открытая школа-конференция стран СНГ «Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы-2018» (УМЗНМ-2018), 1-4 октября 2018 г. Уфа. – с.283-283

20. Эгамов М.Х. Поляризационные свойства жидкокристаллической ячейки со скрученной ориентацией молекул // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии». Брест, 27-31 мая 2019 г. - С. 134-136

21. Эгамов М.Х. Строения приповерхностных нанослоев полимерно-жидкокристаллических систем с ориентационной вытяжкой // LXI Международная конференция «Актуальные проблемы прочности» (АПП-2019), посвященная 90-летию профессора М.А. Криштала. 09-13 сентября 2019 г. Россия, Тольятти. – с. 157-158

22. Эгамов М.Х. Формирования топологических дефектов в нанослоях жидкого кристалла, диспергированной в полимерной матрице // IX Международная школа с элементами научной школы для молодежи. 09-13 сентября 2019 г. Тольятти. Россия. – с. 140

23. Эгамов М.Х. Исследование формирования смектических участков в пленках антисегнетоэлектрического жидкого кристалла //Междунар. конфер. «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов, посвященная 150-летию открытия Д.И. Менделеевым Периодического закона химических элементов и III Международная Школа Молодых ученых «Актуальные проблемы современного материаловедения», Москва, МИСиС, 5-8 ноября 2019 г.- с.228.

24. Эгамов М.Х. Формирования пространственно-периодической деформации жидкого кристалла вокруг микроконтакта //VIII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва, (ДФМН-2019), 19–22 ноября 2019, М.: ИМЕТ РАН.-2019 – с.225-226

25. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж., Гаюров Х.Ш. Структурные переходы в каплях нематика при действии электрического поля // Международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности» АПП-2020. Витебск, Беларусь, 25-29 мая 2020 г. – с.95-96

26. Egamov M.Kh., Rachimova U.J., Gayrov Ch.Sh. Mechanisms of orientational ordering of liquid crystals droplets in a uniaxial stretched polyvinyl alcohol //Открытая школа–конференция стран СНГ «Ультра-мелкозернистые и наноструктурные материалы-2020» (УМЗНМ-2020) 05-09 октября 2020 г., г.Уфа.-с.415.417

27. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж., Гаюров Х.Ш. К вопросу об электроуправляемости прозрачности дисперсных систем // VII Междун. конф. «Современные проблемы физики». 9-10 октября 2020 г., Душанбе, ФТИ им. С.Умарова. - с.34-37

28. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Исследование кинетики роста капель нематика в связующем полимере при охлаждении //XI Международная научная конференция «Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения» 20-24 сентября 2021 г. Иваново, Россия. – с.245

29. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Кинетика формирования микроскопических капель нематического жидкого кристалла в полимерной матрице // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии», Минск, 23-27 августа 2021 г. – с.51-52

30. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Эффективные размеры рассеивающих областей нематического жидкого кристалла в электрическом поле // X Международная школа Физическое материаловедение и LXIII Международная конференция «Актуальные проблемы прочности» (АПП-2021), посвященная 70-летию Тольяттинского гос. унив-та Тольятти, 13-17 сентября 2021 г. – с. 172-174
31. Эгамов М.Х., Каримов С.К., Абдуманонов А. Особенности механических свойств композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла // Симпозиум физиков Таджикистана, посвященный 85-летию академика Р. Марупова, Душанбе, ФТИ им. С. Умарова, 25-26 ноября 2021 г. - с.59-62
32. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Исследование морфологии жидкокристаллических систем при внедрении низкомолекулярных органических соединений // IX Международная конференция «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов», посвященная к 100 летию со дня рождения академика Б.К. Вайнштейна. Москва, МИСиС, 22-26 ноября 2021 г.- с.144
33. Файзуллоев И.Х., Максудов Б.И., Эгамов М.Х. Взаимодействия лазерного излучения с субмикронными композитами на основе полимер-нематический жидкий кристалл при одноосной деформации // II Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур». г. Казань, 1-4 декабря 2021 г. – с.125-128
34. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Влияния молекулярной массы и степени гидратации капсулированных полимером жидкокристаллические пленки на его физико-химические характеристики // LXIV Международная конференция «Актуальные проблемы прочности» 4-8 апреля 2022 г., Екатеринбург, Россия, 4-8 апреля 2022 г. – с.348-349
35. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Электрооптические исследования полимерно-жидкокристаллических пленок // VIII Междунар. конференция «Современные проблемы физики», ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе, 21-22 октября 2022 г. – с.231-234
36. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж. Взаимодействия градиентов температуры и электрического поля при формировании однородно ориентированной жидкокристаллической структуры // Междунар. конференция «Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации», посвящ. «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы) ТНУ, Душанбе, 27 октября 2022 г. – с.154-156
37. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И. Структурные особенности нематика с добавками многослойных углеродных нанотрубок // III Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур». г. Казань, 1-4 декабря 2022 г. – с.480-483.
38. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И. Ориентационные эффекты в полимерно-жидкокристаллических дисперсных системах // XII Международная конференция по фотонике и информационной оптике, МИФИ, 1-3 февраля 2023 года. 2023. – с.46-48.
39. Эгамов М.Х. Механизмы пороговой переориентации молекул в планарно ориентированных нематических жидких кристаллах // Международная научная конференция «Современные проблемы физики конденсированного состояния», посвящ. 75 годовщине основания ТНУ и 80-летию со дня рождения профессора Туйчиева Ш.Т., НИИ ТНУ 24-25 октября 2023 г. Душанбе. – с. 59-62
40. Эгамов М.Х. Ориентационные и азимутальные неустойчивости жидкокристаллической ячейки в электрическом поле // Международная научно-

практическая конференция «Современные проблемы физики и химии полимеров», посвящ. «75-летию образования ТНУ», ТНУ, 10 октября 2023 г. Душанбе, 2023. – с.42-46

41. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И. Эффект самофокусировки, индуцируемый маломощным лазером в жидких кристаллах с гибридной переориентацией // XIII Международная конференция по Фотонике и информационной оптике. М.: НИЯУ МИФИ. 2024. – С. 471-472

42. Эгамов М.Х. Формирования бездефектных структур наноматериалов для сенсорных устройств // IX Международная научная конференция «Современные проблемы физики», посвящ. 60-летию образования ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ, 10-11 октября 2024 г. Душанбе. - С. 192-195

43. Эгамов М.Х., Сидиков В.Т. Роль катионного сурфактанта в жидкокристаллическом управляющем устройстве // VI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе». Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, 26-28 сентября 2024 г. - с.158-165

44. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И., Рахимова У.Дж. О роле поверхностно-активных веществ в жидкокристаллическом управляющем элементе // Международная конференция «Физические и технические науки в пространстве СНГ: проблемы и перспективы развития». Душанбе, ФТИ им. С. Умарова, 29-30 ноября 2024 г. – с. 105-112

45. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И., Рахимова У.Дж. Спектроскопические исследования электрооптических параметров ПДЖК пленок разных концентраций //XIV Международная конференция по фотонике и информационной оптике. М.: НИЯУ МИФИ. 29-31 января 2025 г. – с.495-496

46. Эгамов М.Х., Ёров М.Н, Рахимова У.Дж. Эволюция фазового перехода в нематической фазе жидкого кристалла, легированного металлическими наночастицами // XIII Международная научная конференция Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация и материалы нового поколения, 15–19 сентября 2025, г. Иваново – с. 117-118

47. Эгамов М.Х., Ёров М.Н. Спонтанная ориентационная упорядоченность в нематической фазе жидкого кристалла, допированной наночастицами // II Международная конференция «Фундаментальные и прикладные исследования в области физики» 16 – 17 мая 2025 г., НУУз. им. Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан - С. 185-186

48. Эгамов М.Х., Ёров М.Н. Рахимова У.Дж. Динамика переориентации в плоской ячейке с нематиком, допированным наночастицами CdS // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики полупроводников и диэлектриков», 30 апреля 2025 г. ТНУ, Душанбе. – С. 207-212

49. Egamov M.Kh., Yorov M.N. Improvements of Electro-Optical Properties of Liquid Crystal Devices in Inverse Mode // Proceedings of the XVII International Russian-Chinese Symposium “Advanced Materials and Processes” 18 - 22 August 2025, Yekaterinburg, Russia – P. 134-137

50. Egamov M.Kh., Makhsudov B.I. Self-focusing effect induced by a low-power laser in liquid crystals with hybrid reorientation //11-th International Conference “Fundamental and Applied Problems of Modern Physics”, dedicated to the memory of Academician S.A. Azimov, Tashkent, October 16-18, 2025 – P.120-121

51. Эгамов М.Х. Конформационная подвижность 4-алкил - 4' -цианобифенилов при фазовом переходе N-I // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы физики и техники», 10-11 октября 2025 года ФТИ им. С. Умарова. Душанбе – С. 121-125

52. Эгамов М.Х., Махсудов Б.И., Рахимова У.Дж, Ёров М.Н. Сравнительный анализ методики получения полимерно-жидкокристаллических систем // VI Международная конференция "Газоразрядная плазма и синтез наноструктур", GDP-NANO 2025, Казань, 25-27 ноября 2025 года.

53. Эгамов М.Х., Ёров М.Н. Рахимова У.Дж. Кинетика фазового разделения и электрооптические характеристики ПДЖК пленок //Международная научная конференция "ОМССР–III 2025: Оптика, материаловедение и вычислительная техника в физике конденсированных сред" 16-18 декабря 2025 года, Узбекистан, Бухара – С. 42-45.

54. Эгамов М.Х., Рахимова У.Дж., Еров М.Р., Махсудов Б.И. Концентрационная зависимость ПАВ в жидкокристаллических пленках с полимерной дисперсией // Сб. научных трудов XV Международной конференции по фотонике и информационной оптике М.: НИЯУ МИФИ. 2026 – С. 470-471.