

**МАРКАЗИ ИЛМИИ ХУЧАНДИ  
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН**

**Бо ҳуқуқи дастнавис**

**ТДУ: 532.783+538.95 (1, 6, 8)**

**ТКБ: 22.352.11 (12)**

**К-33**

**КАРИМОВ СОРБОН КАРИМОВИЧ**

**СОХТОР ВА ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ  
МЕХАНИКИИ ПАРДАҲОИ ПОЛИМЕРИИ БО КРИСТАЛЛИ  
МОЕЪ ДИСПЕРГИРОНИДАШУДА**

**Ихтисос 01.04.07 - Физикаи ҳолатҳои конденсӣ**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии  
номзади илмҳои физика ва математика**

**Душанбе – 2023**

Диссертатсия дар лабораторияи физикаи Маркази илмии Хучанди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро карда шудааст.

**Роҳбари илмӣ:**

**Абдуманонов Абдуалӣ** доктори илмҳои физикаю математика, мудири лабораторияи физикаи Маркази илмии Хучанди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

**Мушовири илмӣ**

**Махсудов Барот Исломович** - доктори илмҳои физикаю математика, дотсент, мудири кафедраи физикаи ҳастаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

**Муқарризи расмӣ:**

**Холмуминов Абдулфатто Ахатович** - доктори илмҳои физикаю математика, профессор, мудири кафедраи физикаи нимноқилҳо ва полимерҳои Донишгоҳи давлатии Узбекистон ба номи Мирзо Улугбек, ш. Тошканд, Ҷумҳурии. Узбекистон

**Муҳидинов Зайниддин Камарович** - доктори илмҳои химия, профессор, ходими пешбари лабораторияи химияи пайвастагиҳои баландмолекулии Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ

**Муассисаи пешбар:**

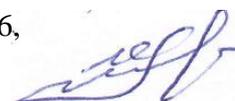
Кафедраи физикаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Ҳимояи диссертатсия «28» марти соли 2023 соати 14:00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-056 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон баргузор мегардад. Нишонӣ: 734027, ш. Душанбе, маҳалаи Буни Ҳисорак, факултети физика бинои таълимии №16, синфхонаи 206.

Ба муҳтавои диссертатсия тавассути сомонаи [www.tnu.tj](http://www.tnu.tj) ва дар китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17 шинос шудан мумкин аст.

Автореферат рӯзи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ соли 2023 ирсол карда шудааст.

Котиби илмии Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-056,  
номзади илмҳои физикаю математика, дотсент

 Исломов С.З.

## МУҚАДДИМА

**Мубрамии мавзӯи таҳқиқот.** Рушди босуръати самти нанотехнология барои таҳкими омӯзиши назарраси ҳодисаҳои гуногуни сатҳӣ дар ҳудуди байни ду муҳит мусоидат менамояд. Падидаи мазкур, махсусан, дар он вақт возеҳу равшан мегардад, ки яке аз ин муҳитҳо кристалли моеъ бошад. Дар ин замина хосиятҳои мазкур имкон медиҳанд, ки сохтори зарурии самтгирии қабати кристалли моеъ тавассути ташаккул додани шароити мувофиқи сарҳадӣ ба вучуд оварда шаванд ва барои таҷҳизотҳои мониторингҳои кристалли моеъгӣ ҳамчун асосӣ хизмат кунанд.

Зери мафҳуми омехтаҳои кристалли моеъгӣ (КМ) полимери шаффоф ё худ шишагиеро мефаҳманд, ки дар сатҳ ва ҳаҷми онҳо қатраҳои микроскопии кристалли моеъ диспергиронида шудаанд. Чунин маводҳо хосиятҳои механикии полимерҳоро (мустаҳкамӣ, дарозумрӣ, тобоварӣ ба муҳити аз нуқтаи назари химиявӣ ғайрифаҳол, чандирӣ ва эластикӣ) бо хосиятҳои физикии ғайриоддии кристалли моеъ (анизотропияи хосиятҳои оптикӣ, диэлектрикӣ ва шикасти дугунаи рӯшноӣ) алоқаманд менамоянд. Сохторҳои кристалли моеъ дошта тавассути усули эмулсионӣ ё полимеризатсия бо истифодаи технологияи сода ва як марҳилагӣ омода карда мешаванд. Доираи истифодаи чунин маводҳо ниҳоят васеъ ва доманадор буда, шояд ягон самти саноат вучуд надошта бошад, ки аз дастоварду комёбиҳои илмӣ дар самти омӯхтани сохтор ва хосиятҳои онҳо истифода бурда нашаванд.

Мисоли сохторҳои мазкур амалисозии аз нав самтгирии қабати кристалли моеи нематикӣ (КМН), ки дар пардаи полимерӣ, ба монанди спирти поливинилӣ (СПВ) ва поливинилбутирал (ПВБ) диспергиронида шуда аст, шуда метавонад. Дар ин ҳолат, таъсири самтнокунии парда бояд гуногун бошад (планарӣ ё гомеотропӣ). Тағйирёбии ҳарорат ё ғафсии пардаи полимерӣ мувозинати таъсири омилҳои самтнокуниро дигаргун намуда, боиси аз нав самтнокшавии қабати КМ мегардад.

Аз нуқтаи назари таърихӣ, нахустин таҳқиқот, оиди хосиятҳои кристалли моеъгӣ дар асри XIX аз тарафи биологҳои австриягӣ Ф. Рейнитсер ва кристаллшиносии олмонӣ Отто Леман гузаронида шуда буд<sup>1</sup>. Ҳангоми таҳқиқи пайвастагии холестеринбензоат дар он шиканиши дугунаи оптикии нурро пайдо намуданд, ки ин хусусият танҳо ба ҳисми кристаллӣ хос аст. Муаллифони дигар дар қорҳои минбаъда, маълум намуданд, ки тартибнокшавии самтгирии кристалли моеъ дар қатраҳо аз якҷанд омилҳо вобаста аст: таносуби собитҳои чандирии КМ, андоза ва шакли қатраҳо, таъсири омилҳои беруна ва шартҳои ҳудудӣ.

**Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ:** Солҳои охир як қатор таҳқиқоти нодир, ки ба қорқард ва омӯзиши сохтори кристаллҳои моеъ бо бандиши сатҳии назоратшаванда вобастагӣ доранд, гузаронида шуданд. Таъсири самтгирии қатраҳои КМ аз ҳисоби тағйир додани шартҳои ҳудудӣ дар натиҷаи ташаккули қабати наноандозавии моддаҳои фаъоли сатҳӣ, (сурфактант) таҳти таъсири майдони беруна, пешниҳод ва амалӣ карда шудааст. Бо вучуди ин, ҳанӯз ҳам муаммоҳои илмӣ оид ба дарёфти пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта бо хосиятҳои оптималии сохторӣ ва механикӣ мавҷуд мебошад. Ин масъала бештар аҳамияти илмии натиҷаҳои таҳқиқоти пешниҳодшударо муайян месозад, зеро дар анҷоми он ба даст овардани

<sup>1</sup> Lehmann O., Ztschr. Phys. Chem., 5, 427 (1890)

маҷмӯи маълумотҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ дар назар аст, ки механизмҳои физикии таъсироти ба амал омадари муфассалтар тавсиф мекунанд. Таҳлилҳои дар боло зикргардидаи проблемаи илмии таҳқиқот, истифодаи амалии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта, нуқтаҳои асосии кори диссертациониро ифода менамоянд.

#### **Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоихаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ:**

Рисола дар ҳудуди лоихаҳои «Таҳқиқи масъалаҳои микромеханикаи вайроншавии маводҳои гетерогенӣ ва таркибӣ» барои солҳои 2016-2020, № 0116ТJ00583 аз 29.04.2016, ва «Таҳқиқи структура, хусусиятҳои механикӣ ва оптикӣ элементҳои нави оптоэлектронӣ дар заминаи композитҳои полимери кристалли моеъ дошта» барои солҳои 2021-2025, № 0121ТJ1107 аз 10.03.2021, ки аз ҳисоби буҷаи давлатии ҶТ маблағгузорӣ шудааст, иҷро гардидааст.

### **ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ**

**Мақсади таҳқиқот.** Коркард ва таҳқиқи усулҳои ташаккулдиҳии сохторҳои дар заминаи полимерҳои бисёрфункционалӣ ва кристалли моеи нематикӣ асос ёфта барои муайянкунии вобастагии хосиятҳои морфологӣ (физикию механикӣ ва электрофизикӣ) аз таркиби ибтидоии сохтор ва дигар речаҳои технологӣ.

#### **Вазифаҳои таҳқиқот:**

- ҳосил кардани пардаҳои сохтории бисёрҷузъӣ (матритсаи полимерӣ, кристалли моеи нематик 7СВ, глитсерин, ҳалкунанда) ва омода намудани намунаҳои оптималӣ барои гузаронидани таҷрибаҳо;
- коркарди роҳҳои амалӣ гардонидани падидаи аз нав самтгирии молекулаи кристалли моеъ барои тағйир додани сохтор ва нишондодҳои физикию механикӣ пардаҳои сохторӣ вобаста аз таносуби ҷузъҳо, ҳарорат ва дигар омилҳои беруна;
- таҳқиқи таъсири андоза, шакл ва усули деформатсиякунӣ ба хосиятҳои оптикӣ маводи алоқаманд кунанда;
- таҳқиқи хусусиятҳои морфологии (хосиятҳои электрофизикӣ) пардаҳои сохтории кристалли моеъ дошта дар майдони ҳарорат;
- омӯзиши гузаришҳои конформатсионӣ дар пардаҳои полимери қатраи кристалли моеъ дошта;
- омӯختани текстураи пардаҳои омодашуда ва конфигуратсияи директор дар ҳаҷм ва сарҳади қатраи кристалли моеи нематикӣ.

**Объекти таҳқиқот:** Пардаҳои сохторӣ дар заминаи полимери бо кристалли моеъ диспергирида шуда истифода шудааст. Ба сифати ҷузъи кристалли моеъ, навъи ҳамаҷониба омӯхта шудаи нематикӣ 4-*n*-гептил-4'-сианофенил (7СВ)-ро истифода шудааст, ки ҳарорати равшаншавиаш  $T_c=42,5^{\circ}\text{C}$ , нишондоди шикасти рӯшноиаш дар температураи  $T=25^{\circ}\text{C}$  ва дарозии мавҷи  $\lambda=0,633$  мкм ба  $n_{\parallel}=n_{e,max}=1.725$  ва  $n_{\perp}=n_o=1.534$  баробар аст. Вазифаи матритсаи полимериро ду навъ полимерҳо: спирти поливинилӣ (СПВ) ва поливинилбутирал (ПВБ) иҷро намуданд. Полимерҳои мазкур барои кристалли моеи интихобшуда шартҳои ҳудудии тангенсалиро таъмин менамоянд.

**Мавзӯ (предмет)-и таҳқиқот:** Таҳқиқи хусусиятҳои физикию механикӣ пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта; омӯзиши сохтор ва хусусиятҳои

морфологии объекти таҳқиқотӣ; омӯзиши гузаришҳои конформатсионӣ вобаста аз таъсири майдонҳои механикӣ ва дигар омилҳои беруна.

#### **Навгонии илмӣ таҳқиқот:**

1. Бори аввал дар таҷриба тавсифоти морфологӣ ва физикуи механикии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта вобаста ба таносуби компонентаҳо ва дигар омилҳои беруна аз нуқтаи назари илмӣ омӯхта ва **асоснок карда шуданд**.
2. **Муайян карда шуд**, ки бо афзуншавии миқдории ҷузъи кристаллҳои моеъ дар сатҳи матритсаи полимерӣ мустаққами он то андозае кам мешавад.
3. Равандҳои аз нав самтнокшавии молекулаҳои кристаллҳои моеи 7CB дар матритсаи полимери ПВБ **ошкор карда шуданд**. Онҳо бо рақобати таъсири мутақобилаи молекулавию электростатикии занҷирҳои алкилӣ ва моментҳои диполӣ дар сарҳади байни ду муҳит алоқаманданд.
4. **Муқаррар карда шудааст**, ки конформатсияи устувортарини молекулаи 7CB ( $X \equiv OCH_3$ ,  $OS_3H_7$ ) дар ҳолати ибтидоӣ - ин твист-конформатсия бо гардиши изомерияи мономерӣ ба ҳисоб меравад.
5. **Муайян карда шуд**, ки дарозшавии занҷири алифатӣ дар ҷузъи  $C_3H_7$ -и формулаи сохтори КМН-и 7CB ҳангоми деформатсия боиси ба вучуд овардани тағйироти дар хусусияти сохтори геометрии молекула намегардад.

**Аҳамияти назариявии таҳқиқот.** Муайян карда шуд, ки пардаҳои композитии полимери кристалли моеъ дошта асосан дар соҳаҳои технологияи индикаторӣ ва оптоэлектроника истифода мешаванд, ки хосиятҳои хеле баланди электрооптикӣ доранд. Сарфи назар аз зарурати омӯختани хосиятҳои электрооптикии онҳо, зарурияти таҳқиқ ва омӯختани хосиятҳои физикуи механикии онҳо ба миён меояд. Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки чунин сохторҳо мустаққами муайяни механикӣ ва дараҷаи деформатсияшавии баланд доранд. Дар ин асос таҳти таъсири кашиши яксамта қатраҳои хурди қабати матритсаҳои полимерӣ сохтори худро тағйир медиҳанд. Таъсири майдони электрикӣ ба конфигуратсияи мувозинатии директори молекулаи кристалли моеъ ошкор карда шудааст. Самтнокшавии гомеотропии майдони директор муқаррар карда шудааст, ки он ба механизми электростатикӣ ва молекулавию таъсири мутақобила байни ҷузъҳои ҳалқаҳои бензолии кристалли моеи нематик (7CB) ва макромолекулаҳои ПВБ дар ҳудуди тақсимот вобаста аст.

#### **Аҳамияти илмию амалии таҳқиқот:**

1. Коркарди технологияи ҳосилкунии маводи сохтории нав дар заминаи пардаи полимерӣ ва кристалли моеи навъи нематикӣ 7CB бо нишондодҳои морфологии беҳтар гардонида шуда, ки барои таҳқиқотҳои илмӣ бунедӣ зарур аст, амалӣ карда шуд.
2. Натиҷаҳои кори мазкур барои истифода дар соҳаи сохтани элементҳои нави оптоэлектронӣ ва таҷҳизотҳои индикаторӣ тавсия карда мешаванд.
3. Хулосаҳои илмӣ дар рисола пешниҳод шаванда, барои муқоиса бо дастовардҳои илмӣ дар соҳаи оптоэлектроника ва техникаи дисплей бо истифода аз маводҳои сохторӣ дар заминаи полимерҳои хаттӣ ва кристалли моеъ, бо назардошти нишондодҳои морфологӣ, ки дар кори мазкур тадқиқ шудааст, нигаронида шудаанд.

#### **Нуқтаҳои ба ҷимоя пешниҳодшаванда:**

1.Ташаккулёбии қатраҳои кристалли моеи 7СВ дар ҳаҷм ва сатҳи матритсаи полимерӣ бо сохтор ва конфигурацияи директори идорашаванда вобаста аз таркиб ва концентратсия, шарти омодаسازی маҳлул ва речаи таҳқиқот.

2. Ҳосилшавии сохторҳои идеалӣ дар дохили қатраи кристалли моеи 7СВ бо хатҳои дисклинатсионӣ ва нуқсонҳои нуқтагӣ ҳангоми таъсири ҳамҷояи қувваи механикӣ ва ҳарорат.

3. Вобастагии концентратсионии бузургии мустаҳкамии вайроншавии пардаҳои сохторӣ дар алоқамандӣ аз речаҳои статикӣ ва динамикии боргузорӣ.

4. Алоқамандии ҳароратии бузургии тангенс кунҷи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ )-и полимери таҳқиқ шаванда дар соҳаи гузаришҳои фазавии Кр - Нематик ва Нематик - Моеи изотропӣ бо назардошти ҳиссаи энергия дар сатҳҳои қабат.

5. Идорашаванда будани ҳодисаи азнавтақсимбандии интенсивнокии хатти фурӯбурд дар спектрҳои инфрасурхи пардаҳои сохтори таҳқиқшаванда, ки аз лаппишҳои валентӣ вобаста аст, дар алоқамандӣ аз фоидаи миқдории кристалли моеи 7СВ дар таркиби полимери матритсаи.

#### **Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо:**

Барои ҳалли масъалаи дар кори мазкур гузошташуда усулҳои замонавии таҳқиқот, ба мисли спектроскопияи инфрасурх, электрофизика ва микроскопияи поляризатсионии оптикӣ истифода шуданд. Бо истифода аз стандартҳои ченкунии барои хусусиятҳои электрикӣ, спектри инфрасурх, нишондодҳои оптикӣ ва технологияи коркарди сохторҳои полимери кристалли моеъ дошта, таҳқиқотҳои таҷрибавӣ гузаронида шуданд. Натиҷаҳои таҳқиқот бо истифодаи усулҳои замонавии ҳассос (спектроскопияи инфрасурх, микроскопияи электрооптикӣ ва поляризатсионӣ), коркарди саҳеҳи натиҷаҳо бо истифода аз пакети барномаҳои амалӣ (SigmaPlot, DShow and TWIN, MS Excel) гузаронида шуда ба натиҷаҳои ҳисобкунии математикӣ ва хулосаҳои муаллифони дигар мутобиқат мекунанд.

**Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.** Нуқтаҳои асосии рисолаи диссертатсионии мазкур, ки ба шиносномаи ихтисоси “01.04.07 – Физикаи ҳолатҳои конденсӣ” мутобиқат мекунанд, инҳоянд:

1. Бо роҳҳои назариявӣ ва таҷрибавии омӯзиши табиати физикии хусусиятҳои пайвастагии органикӣ ва ғайриорганикӣ, диэлектрикҳо, системаҳои органикӣ ва ғайриорганикии бетартиб, аз ҷумла моеъҳои классикӣ ва квантӣ, шишаҳо ва системаи дисперсии табиати гуногун дошта, вобаста аз таркиби химиявӣ, изотопӣ, ҳарорат ва фишори онҳо:

2.Усулҳои оптикии нақл ва коркарди маълумотҳо, асосҳои физикии ҳисоббарории квантӣ. Паҳнкунӣ ва фурубурди рӯшноӣ аз тарафи атомҳо ва молекулаҳои ҷудогона ва ба ҳам таъсиркунанда, равандҳои динамикӣ ҳангоми таъсири мутақобилаи рӯшноӣ ба модда, раванди ҷудошавии энергия аз тарафи модда дар зери таъсири рӯшноӣ. Идоракунии ҳаракати рӯшноӣ ва ҳолати квантии атомҳо.

3. Хусусиятҳои структуравӣ, морфологӣ ва механикии наноматериалҳо ва сохтори композитҳо дар асоси онҳо. Усулҳои омӯзиши наноматериалҳо ва сохтори композитҳо. Методҳои технологияи ҳосилкунии наноматериалҳо, сохтори композитҳо, сохторҳои андозаи ниҳоят хурд дошта, таҷҳизотҳо ва дастгоҳҳои интегралӣ дар заминаи онҳо асосёфта.

4. Коркарди сохти моделҳои диаграммаи фазавии ҳолат ва пешгуии тағйироти хусусиятҳои физикии моддаҳои конденсатсияшуда вобаста ба таъсири омилҳои беруна ба онҳо.

**Саҳми шахсии докталаби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот:** Унвонҷӯӣ бевосита интихоби методикаи гузаронидани таҷрибаҳо ва объектҳои таҳқиқот, коркарди методҳои назарявӣ ва таҷрибавӣ, тарҳрезӣ ва мувофиқкунии параметрҳоро пеш аз ченкунии онҳо, таҳлил ва муҳокимаи натиҷаи ченкунии таҷрибавиро анҷом додааст. Ҳамзамон қисми асосии муҳокимаи натиҷаҳои таҳқиқот, таҳияи усулҳои коркард ва параметрҳои гузаронидани таҷрибаҳо, омода намудани мақолаҳои илмӣ ва инчунин пешниҳоди натиҷаҳои кор дар конференсҳо бевосита бо иштироку амалӣ карда шудааст.

**Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия.** Натиҷаҳои асосии кор ва таҳқиқотро муаллиф дар конференсияҳои зерин маъруза ва муҳокима кардааст: Конференсияи байналмилалии «Нано-2014», бахшида ба 90-солагии пойтахти ҚТ, шаҳри Душанбе (25 декабри 2014 с.); конференсияи ҷумҳуриявии «Масъалаҳои муосири физикаи ҳолати конденсӣ» ДМТ, Душанбе 2015 с.; Конференсияи байналмилалии «Перспективы развития физической науки», бахшида ба хотираи (80-солағӣ)-и Арбоби шоистаи илм ва техникаи ҚТ, аъзо – корр. АМИТ, доктори илмҳои физ. – мат., профессор Ҳакимов Ф.Х. ДМТ. ш. Душанбе, 2017; 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), Sankt-Petersburg, June 18 – 22, 2017; Конференсияи илмӣ-амалии “Рушди фанҳои табиатшиносӣ дар давраи Истиқлолияти ҚТ”, ДКМТ, ш. Бустон, 04 январи с. 2017; Конференсияи байналмилалии «Масъалаҳои актуалии физикаи муосир» бахшида ба 80-солагии Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои физ.-мат., профессор Нарзиев Б.Н., ДМТ, Душанбе, 18 апрели с. 2018; Конференсияи VI байналмилалии “Муаммоҳои мубрами физика”, Душанбе, ИФТ ба номи С.Умарови АМИТ 28-30 июни с. 2018; Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Нақши фанҳои табиӣ-риезӣ дар рушди соҳаи саноати тоҷик», ДКМТ, 2 июни с. 2018; Конференсияи VI байналмилалии «Муаммоҳои мубрами физика», бахшида ба 110 солагии академик С.У. Умаров ва 90-солагии академик А.А. Адхамов, ИФТ ба номи С. Умарови АМИТ, Душанбе, 28-30 июни с. 2018; Конференсияи байналмилалии илмию амалӣ дар мавзӯи “Дурнамои рушди илм ва маориф” ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, Душанбе, 27-28 ноябри с. 2019; Конференсияи ҷумҳуриявии «Муаммоҳои физикаи муосир дар раванди саноатикунории Ҷумҳурии Тоҷикистон», Хуҷанд, ДДХ ба номи академик Б. Ғафуров 29-30 апрели с. 2020; Симпозиуми байналмилалии “Перспективные материалы и технологии”, Минск, Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 23-27 августи с. 2021, LXIV- конференсияи байналмилалии «Муаммоҳои мубрами мустаҳкамӣ» 4-8 апрели соли 2022, Екатеринбург; IV- умин Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Илм ва технология», ш. Алмато, Қазоқистон, соли 2022; Конференсияи байналмилалӣ дар мавзӯи «Мақоми физика дар рушди илм, маориф ва инноватсия» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040)», ДМТ, 27 октябри соли 2022.

**Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия.** Маводҳои диссертатсия дар 25 нашрияи илмӣ, аз ҷумла 9 мақола дар маҷаллаҳои тақризшавандаи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, 16 тезису мақола дар маводи конференсияҳои илмию амалии байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ ба таъб расидаанд.

## **Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия:**

Диссертатсия аз муқаддима, чор боб, хулоса ва рӯйхати адабиёт иборат мебошад. Ҳаҷми умумии диссертатсия 141 саҳифаи чопӣ мебошад, ки аз он 114 саҳифаи компютерӣ матн, 32 расм ва 208 номгӯи феҳрасти адабиёт, ки 23 саҳифаи чопиро дар бар мегиранд.

**Калимаҳои калидӣ:** полимер, кристалли моеъ, шиддати механикӣ, мустаҳкамӣ, ИК-спектри инфрасурх, қатра, кашиши яксамта, деформатсия, самтгирӣ, нуфузпазирии диэлектрикӣ, ҳарорат, текстураҳо, микроскопи поляризатсионӣ.

## **МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА**

**Дар муқаддима** хусусияти умумии қор оварда шудааст: аҳамияти актуалӣ доштани мавзӯ асоснок карда шудааст, ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот, навоварии илмӣ ва аҳамияти амалии натиҷаҳо, муқаррароти асосии ба ҳимоя пешниҳод шаванда номбар шудаанд ва дар бораи нашриҳои маводҳои диссертатсия маълумот дода шудааст.

**Боби аввал** қисми таҳлилӣ (обзорӣ) буда аз якҷанд қисматҳо иборат аст. Дар фасли 1.1 маълумоти умумӣ оид ба ҳолати кристалли моеъгии моддаҳо оварда шудааст. Нишон дода шудааст, ки кристаллҳои моеъ (КМ) моддаҳои химиявӣ мебошанд, ки дар ҳудуди ҳарорати муайян метавонанд мезофаза - ҳолати фосилавии байни ҷисми сахт ва моеъро ишғол кунанд. Дар фасли 1.2 таснифоти кристаллҳои моеи термотропӣ оварда шудааст, хусусиятҳои тартиби сохтории нематикҳо, холестерикҳо ва смектикҳо нишон дода шудааст. Дар фасли 1.3 хосиятҳои физикии кристаллҳои моеъ, аз қабилҳои хусусияти оптикӣ, электрикӣ, чандирии кристаллҳои моеъ шарҳ дода шудаанд, зеро онҳо барои тадқиқот оид ба омӯзиши аксуламалҳои динамикии кристаллҳои моеъ (КМ) асосӣ мебошанд. Дар фасли 1.4 эффеҶтҳои асосии электрооптикӣ дар кристаллҳои моеи навъи нематик баррасӣ карда шудаанд. Заминаи қариб ҳамаи тадқиқоти таҷрибавии электрооптикии кристаллҳои моеъро ячейкаи қабаташ тунук (то ғафсии  $d = 5-100$  мкм) бо ду электроди шаффоф ташкил медиҳад. Дар байни электродҳо фосилаи капиллярӣ мавҷуд аст, ки тавассути фосилаҳои диэлектрикӣ муқаррар карда мешавад. Ба электродҳо шиддати доимӣ, синусоидалӣ ё импульсиро гузоштан мумкин аст. Афғанишоти рӯшноӣ аз структураи «сэндвич» қад-қадӣ меҳвари  $z$  нисбат ба электродҳо перпендикуляр мегузарад. Вобаста аз аломати анизотропияи диэлектрикӣ ( $\Delta\epsilon$ ) ва ориентатсияи ибтидоии молекулаҳои КМН нисбати се намуди деформатсия (*splay*-қатшавии арзӣ; *twist*-тобхӯрӣ; *bend*-қатшавии тӯлӣ) маълумот дода шудааст. Фасли 1.5 ба структураҳои ориентатсионӣ дар қатраҳои нематикӣ бо шартҳои ҳудудии гуногун бахшида шудааст. Нишон дода шудааст, ки структураи ориентатсионии қатраҳо аз хосиятҳои маводи КМ (доимии чандирӣ), геометрияи қатра (шакл, андоза), шартҳои ҳудудӣ (ориентатсияшавии директор дар ҳудуди байнифазавӣ, энергияи бандиш) бо таъсири майдонҳои электрӣ ва магнитии истифода шаванда вобаста мебошад. Дар фасли 1.6 маводҳои композитии кристалли моеъгӣ ва намудҳои онҳо шарҳ дода шудааст. Синфи асосии маводҳои композитии кристалли моеъгиро пардаҳои полимериҳои бо қатраи кристалли моеъ диспергиридашуда ё бо полимер суспензия карда шуда ташкил медиҳанд. Қисми 1.7 ба пардаҳои полимериҳои қатраи кристалли моеъ дошта ва усулҳои ҳосил кардани онҳо бахшида шудааст. Гузаришҳои фазавии Фредерикс, таъсири маводи сатҳии фаъол (сурфактант), таъбиқи тақмилдиҳии шартҳои ҳудудии ҳароратӣ-индусиронида шуда, инчунин таъбилёбии конфигуратсияи биполярӣ ба аксиалӣ шарҳ дода шудааст. Дар ҳамин қисмат усулҳои

бехтар гардонидани характеристикаҳои оптикии поляризатори рӯшноӣ дар заминаи маводҳои полимерии кристалли моеъ дошта нишон дода шудааст. Омилҳои асосие, ки ба морфологияи пардаҳои композитӣ дахлат мекунад, номбар шудааст. Дар қисми 1.8 маълумот оид ба хусусиятҳои физикию механикии пардаҳои композитӣ дар деформатсияшавии яксамта шарҳи худро ёфтааст. Ин қисм таҳлили хосиятҳои деформатсионӣ ва мустаҳкамии композитҳои полимериро дар шароити истифодабарӣ (давомнокӣ, басомад, суръат, ҳарорат, фишор) дар бар мегирад. Имконияти татбиқи назарияи часпакию чандирӣ барои маънидоди илмӣ натиҷаҳо нисбати тадқиқи рафтори деформатсионии маводҳо асоснок карда шудааст. Боби мазкур бо баёни мақсад ва вазифаҳои асосии тадқиқот анҷом ёфтааст.

**Дар боби дуюм** маълумотҳо оид ба объектҳои тадқиқотӣ, асосноккунии интиҳоби онҳо, усулҳои тайёр кардани намунаҳо ва методҳои тадқиқот оварда шудаанд.

Чӣхати тайёр кардани намунаҳои кристалли моеи навъи нематики 4-п-гептил-4'-цианобифенил (7CB) бо  $\Delta\epsilon > 0$  истифода шудааст. Ба сифати матритсаи полимерӣ ду навъ полимерҳо интиҳоб гардидаанд, ки шартҳои ҳудудии тангенсалиро барои кристалли моеи интиҳобшуда таъмин мекунад: поливинилбутирал (ПВБ) ва спирти поливинилӣ (СПВ). Бинобар ҳалқунандаи умумӣ доштани ПВБ ва кристалли моеи 7CB (спирти этил) имконияти истифодаи усули таксимоти фазавӣ (Solvent-induced phase separation) фароҳам меояд ва аз маҳлули омода шуда пардаҳои полимерии кристалли моеъ доштара тайёр кардан имконпазир мегардад. Вобаста ба ин андозаи миёнаи катраҳо ва мавқеи нисбии онҳо дар парда аз таносуби компонентаҳо ва суръати бухоршавии ҳалқунанда вобаста аст. Технологияи эмулсионӣ барои тайёр кардани намунаҳое, ки дар заминаи полимери спирти поливинил (СПВ) гирифта шудаанд, истифода карда шуд, зеро ҳалқунандаи асосии ин компонентаҳо оби дистиллятсионӣ аст. Як қатор таҷрибаҳо бо пардаҳои яксамта деформатсия шуда иҷро карда шуд, ки барои афзункунии хосияти эластикӣ полимер ба СПВ миқдори ками глитсерин ҳамроҳ карда шуд.

Омӯзиш ва таҳлили текстураҳои оптикии катраҳои кристалли моеъ бо методи микроскопияи поляризаторсионӣ тибқи микроскопи тамғаи ПОЛАР-2, ки бо камераи рақамии MҮscope 500 M (Webbers) ва бо компютер мучаҳҳаз шудааст, гузаронида шуданд.

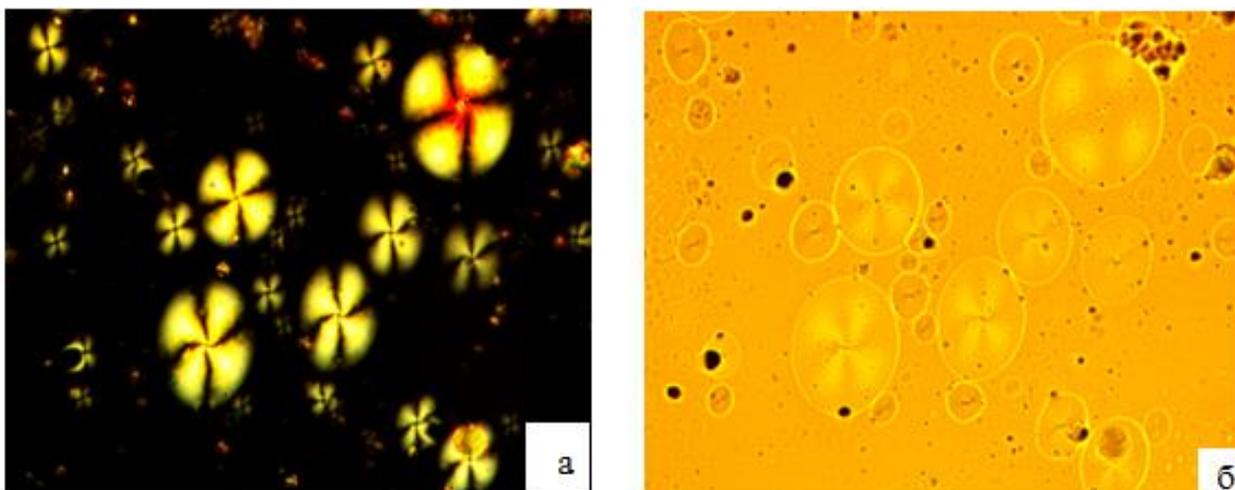
Омӯзиши характеристикаҳои механикӣ бо истифода аз таҷҳизоти озмоишии навъи «Улитка» гузаронида шуд [Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая теория прочности твердых тел // М.: Наука, 1974. 560 с.]. Ченкуниҳои диэлектрикӣ дар басомади доимии 1 кГц бо истифода аз дастгоҳи кӯпруки чараёни тағирёбандаи P-5079 гузаронида шуданд.

Барои тадқиқи характеристикаҳои спектралӣ спектрофотометри инфрасурх бо табдилдихандаи Фурье насбкардашудаи тамғаи IRAffinity-1 SHIMADZU дар диапазони  $4000-400 \text{ см}^{-1}$  бо саҳеҳияти  $0,5 \text{ см}^{-1}$  истифода бурда шуд. Мутобиқати таркиби пардаҳо (моддаҳо) тавассути спектроскопияи инфрасурх мувофиқи [А.Х. Купцов, Г.Н. Жижин. Фурье-КР- и Фурье-ИК-спектры полимеров. Справочник. Физматлит, М. (2001). 656 с.] ва тафсири спектрҳои гирифташуда тибқи маълумотҳои дар [Зотов С.К., Березин К.В., Нечаев В.В. Инфракрасный спектр и структура молекулы 4-гептил-4'-цианобифенила // Журнал физической химии. 2004. Т. 78. № 11. –с.204-2047] овардашуда гузаронида шуд.

Дар **боби сеюм** натиҷаҳои ченкунии таҷрибавӣ оид ба муайян намудани хосиятҳои механикӣ ва электрофизикии пардаҳои композитие, ки дар заминаи СПВ-КМН 7СВ ва ПВБ-КМН 7СВ ташаккул ёфтаанд, таҳлил карда шудаанд.

Ҳангоми омӯхтани хосиятҳои механикӣ, ҳароратӣ ва оптикӣ полимерҳо одатан ба онҳо пурқунандаҳои гуногун дохил мекунаанд, ки ба мустаҳкамӣ механикӣ онҳо то андозае таъсири калон мерасонад. Ин рафтор ба ҳодисаҳои ғайримуқаррарӣ оварда мерасонад: дар баъзе мавридҳо бо ворид намудани пурқунанда мустаҳкамӣ зиёд мегардад, дар дигар мавридҳо бошад, баръакс, коҳиш меёбад. Барои муқаррар намудани сабабҳои ҳодисаи мазкур мо вобастагии мустаҳкамӣ пардаҳои композитиро аз шакл ва андозаи қатраҳои пурқунанда омӯхтем.

Барои муайян кардани андоза, шакл ва координатаҳои қатраи кристалли моеъ (КМ) дар қабатҳои якхелаи пардаи полимерӣ (СПВ ва ПВБ) бо истифода аз микроскопи поляризатсионии тамғаи POLAR-2, таҷрибаҳо дар ду ҳолат гузаронида шуданд. Дар расми 1 як ҷузъи микрофотографияҳои пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта (ППКМ) дар ҳолати амудӣ будани геометрияи поляризатор (торик) ва ҳангоми набудани анализатор, оварда шудаанд.



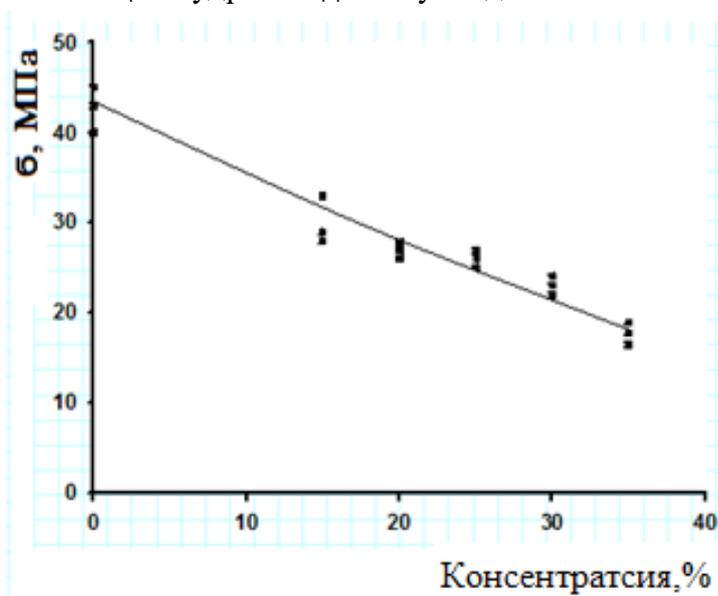
Расми 1. Ҷузъи ППКМ дар геометрияи поляризаторӣ арзӣ (торик) (а) ва ҳангоми намудани анализатор (б)

Тавре, ки дида мешавад, дар ҳолати геометрияи поляризаторҳои арзӣ (торик) қатраҳои андозаи микронӣ дошта, сохторҳои гуногунро соҳиб мебошанд (расми 1, а). Ташаккули андозаи муайяни қатра ба таври назаррас аз усули тайёр кардани маҳлули таркибӣ вобаста аст. Муаммои мазкур бевосита ҳангоми омехта кардани компонентаҳои полимер ва кристалли моеъ бо ҳамдигар амалӣ карда мешавад. Вобаста аз суръат ва вақти омехтакунии шакли андозаҳои гуногун қатраҳо ба вуҷуд меоянд. Баробари зиёд намудани суръати омехтакунии қатраҳои андозаи калон дошта ба қатраҳои хурдтар чудо мешаванд ва шакли онҳо, ба намуди сферикӣ боқӣ мемонанд.

Ҳамин тавр, дар ҳолати набудани анализатор, танҳо хатҳои дискилинатсионӣ дар атрофи қатра мушоҳида карда мешаванд, ки дар сарҳади байни полимер ва кристалли моеъ ҷойгиранд (расми 1, б). Ҳангоми дар зер таъсири бори динамикӣ деформатсия намудани полимер ду тарзи қатраҳои нематикиро мушоҳида мекунем: аввал қатраҳои шакли сферикӣ дошта ба шакли эллипсоидалии нимтири оптикӣ *a* ва *b* дошта мубаддал мешаванд ва ин нимтирҳо аз рӯи шакли қатра муайян карда



Агар ба инобат гирем, ки барои полимерҳои дар ҳолати ибтидоӣ буда, ки мо ба сифати пайвандкунанда қабул кардем, нишондоди дараҷаи мустаҳкамӣ мутаносибан  $\sigma_p=63$  МПа барои СПВ [Энциклопедия полимеров М.: Советская энциклопедия, 1974. Т.2.- 1224 с.] ва  $\sigma_p=59$  МПа барои ПВБ аст, пас, комилан равшан аст, ки дараҷаҳои  $\sigma=70$  МПа барои пардаҳои ибтидоии полимери кристалли моеъ дошта (ПКМ) дар расми 2 бо матритсаи СПВ ва  $\sigma=45$  МПа дар расми 3 барои матритсаи ПВБ шарҳи мантиқии худро пайдо мекунанд.



Расми 3. Вобастагии мустаҳкамӣ аз консентратсияи КМН (7СВ) барои пардаҳои ПВБ

Қатраҳои андозаи микронӣ доштаи КМН 7СВ, ки дар ҳаҷми матритсаи полимерӣ печонида шудаанд, нақши микродефектҳои шакл ва андозаи мушаххасро мебозанд (порчаи расми 1, а). Дар ин ҳолат, ҳар қадар консентратсияи КМН (7СВ) зиёд бошад, ҳамон қадар дар сатҳ ва ҳаҷми пардаи полимерӣ сӯрохиҳои ҷудошудаи андозаҳои гуногун дошта пайдо мешаванд, мутаносибан ин қатраҳо нобудшавии намунаи пардаҳои таркибиро дар зери бори динамикӣ метезонанд.

Илова ба дастрас будани СПВ ва ПВБ ва синтези технологияи нисбатан соддаи он, боз як параметри муҳиме мавҷуд аст, ки дар мутобиқат бо мезофазаҳои алкилдор, яъне шаффофият ва нишондоди шикасти афканишоти рӯшноӣ мусоидат мекунанд. Афзалиятҳои дар боло зикргардидаи СПВ ва ПВБ ба мо имконият медиҳанд, ки ба онҳо дигар компонентҳо (алкилсианобифенилҳо, моддаҳои сурфактант, ҳалкунанда) ворид карда, бо усулҳои бевоситаи физикӣ омехта, хосиятҳои физикию механикии онҳо муайян карда шаванд.

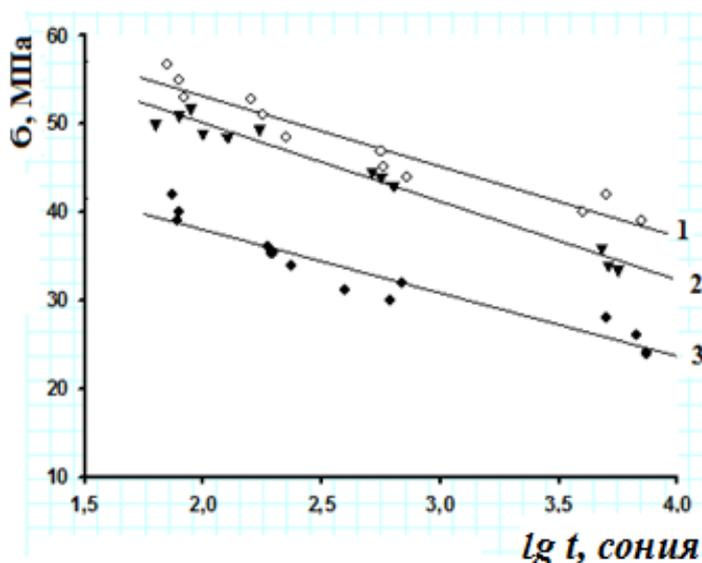
Тадқиқоти минбаъда бо пардаҳои композитии СПВ ва ПВБ дар ҳолати асли ва баъди воридкунии компонентаҳои таносубан гуногуни КМН 7СВ омӯхта шудаанд. Натиҷаҳои ҷенкуниҳо ба намуди графикаи вобастагии  $\sigma=f(t)$  дар расмҳои 4 ва 5 оварда шудаанд.

Механизми гузаронидани таҷрибаҳо чунин буд. Пардаҳои ҷеншаванда бо сикқонакҳои махсус устувор карда шуда, дар режими динамикӣ деформатсия карда шуданд. Тибқи усули мазкур диаграммаҳои шиддат-деформатсия ( $\sigma=f(\varepsilon)$ ) сохта

мешаванд, ки минбаъд барои ҳисоб кардани мустаҳкамии композитҳо дар майдони шиддати механикӣ истифода мешаванд.

Тавре ки дида мешавад, барои намунаҳои СПВ-и дар ҳолати ибтидоӣ буда ва бо пардаҳои таркибии СПВ + 7СВ (25%), ин вобастагӣ характери хаттӣ дорад. Барои намунаҳои СПВ, дар ҳолати ибтидоӣ (хати рости 1) бузургии мустаҳкамии кандашавӣ  $\sigma$  дар суръати баланди боргузории механикӣ қимати  $\sigma=65,5$  МПа-ро дорад, барои суръати сусти боргузорӣ бошад, вай ба  $\sigma=46$  МПа баробар аст. Мувофиқан, талафоти мустаҳкамӣ дар ин маврид тақрибан 29,7% -ро ташкил медиҳад.

Дар расми 4 вобастагии  $\sigma=f(t)$  барои намунаҳои аз пардаҳои ПКМ зери шиддати механикӣ бо суръати гуногуни боргузорӣ (хати рости 1- барои 10 МПа/с, хати рости 2- барои 1 МПа/с) тасвир шудааст. Дар ин ҷо, хатҳои рости 1 ва 2 ҳамчун ҳисоби миёна аз маълумоти 4 намунаи санҷидашуда дар ҳар як озмоиш гирифта шудаанд. Фарқи байни мустаҳкамии намунаҳои тадқиқ шуда  $\sim 30\%$  аст. Ин ба он алоқаманд аст, ки бузургии осебёбӣ дар намунаҳои композитӣ аз суръати боргузорӣ вобаста аст.

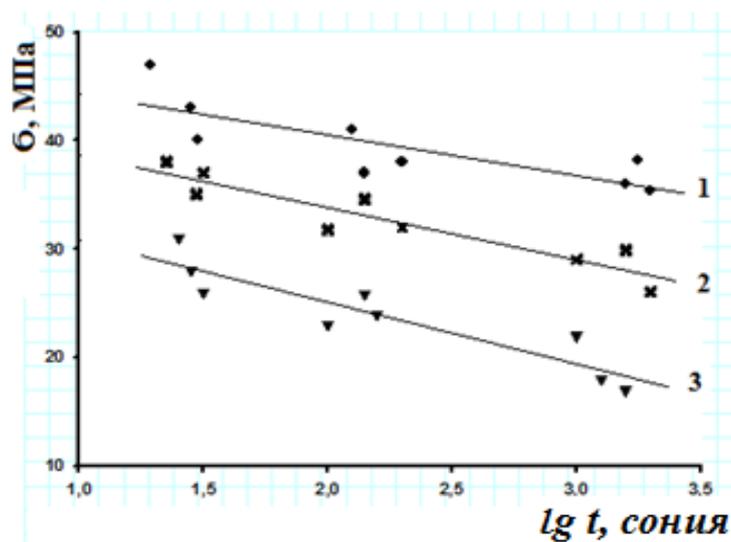


Расми 4. Вобастагии мустаҳкамӣ ( $\sigma$ ) аз вақти деформатсия барои пардаҳои таркибии 1-СПВ дар ҳолати ибтидоӣ, 2- СПВ+7СВ 15 % ва 3 - СПВ+7СВ 25%

Дар мавриди компонентаи КМН бо таносуби 25% дар деформатсияи баландсуръат дараҷаи мустаҳкамӣ ба  $\sigma=38$  МПа ва барои суръати сусти боркунӣ бошад, қимати  $\sigma=26,6$  МПа-ро соҳиб мегардад. Дар ин ҳолат, талафи мустаҳкамӣ 30% -ро ташкил медиҳад. Таҳлили муқоисавии талафи мустаҳкамӣ барои як қатор намунаҳои СПВ дар ҳолати ибтидоӣ буда ва компонентаи КМН дошта, нишон дод, ки дар ҳолати дуҷум талафот ду баробар зиёд аст.

Чунин ченкуниҳо барои намунаҳо дар асоси матритсаи ПВБ омода шуда низ гузаронида шуданд; натиҷаҳои онҳо дар расми 5 инъикос шудааст. Тавре ки дида мешавад, барои ҳарду силсилаи намунаҳо (15 ва 25%) ин вобастагӣ хаттӣ мебошанд. Барои намунаҳое, ки компонентаи 15% КМ (хати 2) доранд, бузургии мустаҳкамӣ  $\sigma$  дар суръати баланди деформатсия қимати  $\sigma=36,4$  МПа дорад ва барои суръати сусти боркунӣ бошад, ба  $\sigma=27,8$  МПа баробар аст.

Мутаносибан, талафи мустаҳкамӣ дар ҳолати мазкури ченкунӣ тақрибан 23,6% -ро ташкил медиҳад. Дар мавриди компоненти КМН бо таносуи 25% дар деформатсияи баландсуръат қимати  $\sigma=28,8$  МПа ва барои суръати сусти боркунӣ  $\sigma=18,5$  МПа аст. Дар ин сурат талафи мустаҳкамӣ 35,5%-ро ташкил медиҳад. Таҳлили муқоисавии талафи мустаҳкамӣ барои ду силсилаи намунаҳои компонентаи КМН дошта дар таркиби ПВБ нишон дод, ки дар ҳолати дуҷум талафот се маротиба зиёдтар аст.

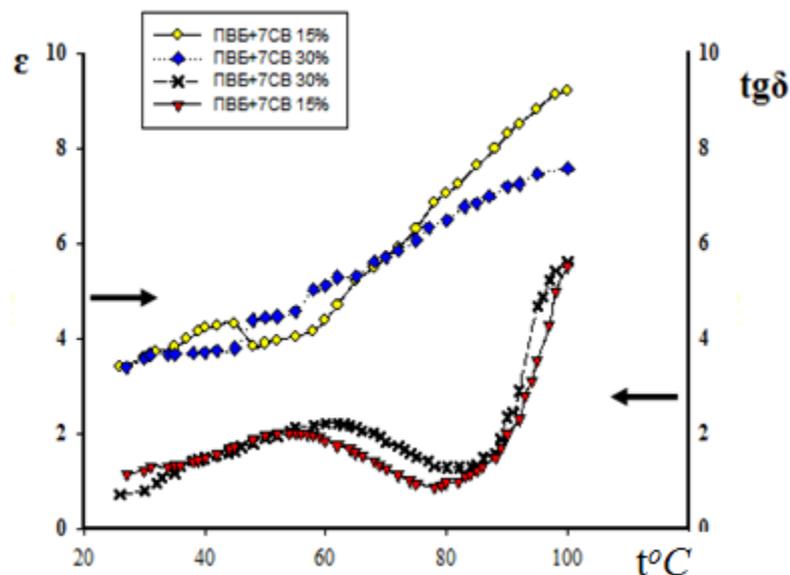


Расми 5. Вобастагии мустаҳкамии кандашавӣ ( $\sigma$ ) аз вақти деформатсия барои пардаҳои таркибии 1-ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ, 2- ПВБ+7СВ 15 % ва 3 -ПВБ+7СВ 25%

Далелҳои ошкоршуда нишон медиҳанд, ки аз сабаби афзун гардидани компонентаи КМН дар таркиби матритсаи полимерӣ, шумораи қатраҳои нематик низ дар сатҳ ва ҳаҷми матритса зиёд шуда, боиси паст гардидани мустаҳкамӣ мегардад. Тақсимои якхелаи қатраҳои нематикӣ ба вайрон намудани макромолекулаи ПВБ таъсир мерасонад ва табиист, ки ба коҳиш ёфтани мустаҳкамӣ мусоидат менамояд.

Омӯзиши вобастагии тангенси кунҷи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ ) аз ҳарорат имкон медиҳад, ки вақти релаксатсияи самтгирии моменти диполӣ дар ҳолати чандрии баланд ва шишагуниш ҳисоб карда шавад. Аз ин,  $\rho$  дар бахши мазкур ченкунӣ диэлектрикӣ бо истифода аз дастгоҳи кӯпруки чараёни тағирёбандаи Р-5079, ки принципи кори он дар боби 2-юми рисола тавсиф шудааст, баррасӣ карда мешавад. Барои ин ячейкаҳои ченкунандаи стандартӣ ва электродҳои махсус истифода шудаанд. Натиҷаи ченкуниҳо дар расми 6 ба намуди графики вобастагии параметрҳои нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon'$ ) ва тангенси кунҷи талафёбии диэлектрикии ( $\text{tg}\delta$ ) пардаҳои композитии дар заминаи полимер ва кристалли моеъ асосёфтаи ПВБ+7СВ барои концентратсияҳои 15 ва 30% оварда шудаанд.

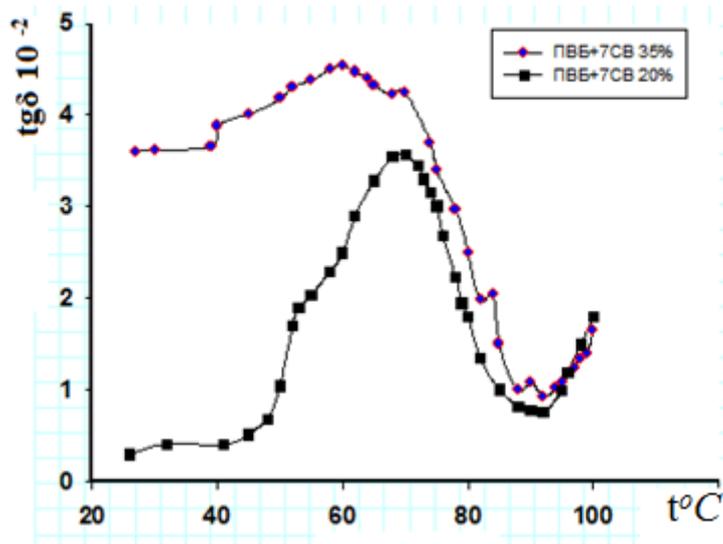
Дида мешавад, ки бо баланд шудани ҳарорат, афзоиши якхелаи  $\epsilon'$  ва  $\text{tg}\delta$  намунаҳои тадқиқшаванда то ҳарорати гузариш ба ҳолати нематик ва баъди гузаштан ба ҳолати изотропӣ мушоҳида мегардад.



Расми 6. Вобастагии  $\epsilon'$  ва  $\text{tg}\delta$  аз ҳарорат барои пардаҳои таркибии ПВБ+7СВ

Афзоиши монотонии  $\epsilon'$  ва  $\text{tg}\delta$  дар фосилаи аз 25 то 42<sup>0</sup>С, вақте ки пуркунанда дар ҳолати КМ аст, бо мушкилоти мураккабшавии гардиши моменти диполии молекулаҳо дар сарҳади байни матритсаи ПВБ ва молекулаҳои КМН 7СВ шарҳ дода мешавад, ки меҳварҳои дарози онҳо асосан ба ҳамвории парда перпендикуляр нигаронида шудаанд, яъне самтнокшавии радиалӣ ё планариро нисбат ба самти шадидияти майдон доро мегарданд.

Дар расми 7 вобастагии тангенс кунҷи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ ) аз ҳарорат барои консентратсияи 20 ва 35% КМН 7СВ дар матритсаи ПВБ оварда шудааст.



Расми 7. Вобастагии тангенс кунҷи талафи диэлектрикӣ аз ҳарорат барои пардаҳои полимерии кристалли моеъ доштаи таркибии ПВБ 7СВ

Тавре ки дида мешавад, дар ин ҷо се минтақаи релаксатсия мушоҳида карда мешавад: якум дар ҳудуди 42-44<sup>0</sup>С; дуюм, максимуми бештар назаррас дар диапазони 56-67<sup>0</sup>С; ва сеюм – дар ҳароратҳои баланди (84-87<sup>0</sup>С). Бузургии  $\text{tg}\delta$  дар ҳарорати аз 95<sup>0</sup>С боло якбора афзун мегардад. Эффеќти мазкур то ҳадди имкон тезтар аён мешавад, агар басомади майдони электрӣ ҳамон қадар пасттар бошад. Афзуншавии суръатноки  $\text{tg}\delta$ , ба андешаи мо, ба зиедшавии ноќилиятнокии намунаи тадқиқшуда алоқаманд аст. Максимуми баландҳарорат ва  $\alpha$ -релаксатсияи ба он мувофиќ, ки бо усули релаксатсияи диэлектрикӣ мушоҳида мешавад, дар ҳолати мо бори аввал ошкор карда шудааст. Ҳолати  $\beta'$ -релаксатсияи пастҳарорат бошад, тибќи [Захаров А.В. Динамические и диэлектрические свойства жидких кристаллов //Физика твердого тела, 2003, том 45, вып. 1 с. 174-179] тасдиќ карда мешавад.

Гузариши релаксатсионии диффузӣ дар ҳудуди 84-87<sup>0</sup>С, ба андешаи мо, ба гузариши  $\alpha'$ - ва  $\alpha''$ -релаксатсия мувофиќат мекунад ки параметрҳои диэлектрикии онҳо дар кори [Барник М.И. Диэлектрические свойства многокомпонентных смесей НЖК //Кристаллография. 1979. Т. 24, Вып. 4. С. 811-816] ошкор ва шарҳ дода шудаанд.

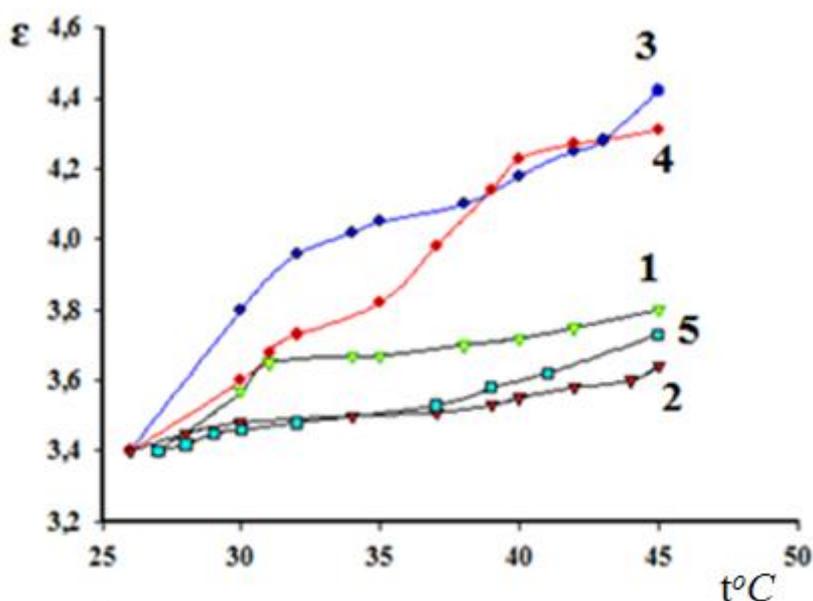
Дар раванди муқоисаи аналитикии гузаришҳои релаксатсионии мушоҳида гардида, ба эътибор гирифтани лозим аст, ки ППКМ маводи гетерофазавии статистикӣ ба ҳисоб мераванд, ки дар алоқамандӣ аз ҳолати пешинаи топологӣ дорои 70-90 % фазаи кристалли моеъ ва ҳамагӣ 30-10 % дорои фазаи аморфӣ-кристаллӣ мебошад. Структураи фазаи кристалли моеъгӣ ҳамчун нематикӣ зичии молекулавии баланд дошта, дар раванди гудозиш ба фазаи изотропӣ мегузарад. Тибќи натиҷаҳои кори [Green D.I. Davies G.R., Ward I.M., Alhaj-Mohammed M.H., Jawad S.A. /Mechanical and dielectric relaxations in liquid crystalline copolymers Polymer for Advanced Technologies. 1990. V.1. No 1. P. 41], гузаришҳои релаксатсионии  $\beta$ - ва  $\beta'$  дар ППКМ ба ҳаракати ҷархишноки занҷираҳои алифатӣ ва ҳамзамон ҷархиши ҳалқаҳои бензолӣ дар атрофии меҳвари асосии оптикӣ маънидод карда мешаванд. Ин натиҷаҳо нисбатан васеъ дар боби 4-уми рисолаи мазкур таҳлил карда мешаванд, ҳоло бошад, ишораи эффеќти сабукгардонии ҳаракатнокии на танҳо ҷузъиётҳои занҷираҳои алифатӣ, балки худ мачмуи ин гурӯҳҳо дар умум кифоя аст.

Ҳамин тариқ, омӯзиши вобастагии ҳароратии нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon'$ ) ва тангенс кунҷи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ ) ПВБ-и қатраҳои КМН 7СВ дошта, нишон медиҳанд, ки табиати тартибнокшавии молекулавии КМ на танҳо аз андоза ва шакли микроковокӣ вобаста аст, инчунин аз сохтори молекулавии компонентаи КМ низ то андозае алоқамандӣ дорад.

Дар қисми 3.6 хусусияти нуфузпазирии диэлектрикии полимерҳои бо қатраи нематик диспергиронида шуда тадқиқ шудааст. Омӯзиши муҳитҳои композитии кристалли моеъ дошта нишон доданд, ки дараҷаи поляризатсияшавӣ қимати минималӣ дошта, аз энергияи бандиши молекулаҳо дар сарҳади ду муҳит, ҳамчунин аз ҳаҷми минималии кристалли моеъ дар қатра ва ковокӣ вобаста аст. Дар ин ҷо қайд намудан лозим аст, ки муаммои асосӣ дар таҳқиқи чунин муҳитҳо - муайян кардани конфигуратсияи мувозинатии директори молекулаҳо дар ковокӣ (ҷавфҳо), инчунин бақайдгирии характери ҷойивазкунии онҳо таҳти майдони беруна ба ҳисоб меравад. Ин масъала бо истифода аз усули оптикии тадқиқ то андозае душвор аст, бинобар ин аз ҷанкуниҳои диэлектрикӣ бо басомадҳои дилхоҳ истифода кардан ба мақсад мувофиќ аст.

Муқоисаи таҳлили натиҷаҳои аналитикӣ оиди хосиятҳои диэлектрикии композитҳо дар заминаи ПВБ ва КМН 7СВ асосёфта, нишон доданд асосан аз ҳисоби тағйирёбии бузургии нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon'$ ) ба амал меояд. Дар расми 8 вобастагии ҳарорати нуфузпазирии диэлектрикии пардаҳои ПВБ-и қатраи кристалли моеъ дошта барои таносубҳои физии гуногун инъикос карда шудааст.

Дида мешавад, ки бо афзун шудани ҳарорат параметри  $\epsilon'$  ҳам то ҳарорати гузариш ба ҳолати нематикӣ-изотропӣ ва ҳам баъди он афзоиши монотонӣ мушоҳида мегардад. Далели мазкурро бо алоқамандии энергияи бандиш дар ҳудуди таксимоти васлқунандаи ПВБ ва молекулаи КМН-и 7СВ аз ҳарорат шарҳ медиҳем, чунки тири оптикӣ КМН бештар ба ҳамвории парда перпендикуляр ориентатсия шудааст ва табиати радиалӣ ва ё планарӣ доро мегардад. Барои намунаҳои, ки консентратсияи 15, 20 ва 30% 7СВ доранд, ҳолати молекулаҳои КМ дар майдони электрикӣ бисерҷабҳавӣ буда, ба таври назаррас тағйир намеёбанд (хатҳои 1, 2, 5). Эҳтимол меравад, ки барои намунаҳои 25 ва 30% компонентаи НКМ 7СВ, дошта, ҳаҷми қатраҳои КМ дар сатҳ, дар муқоисаи таносубӣ бо молекулаҳои ҳаҷмӣ сатҳи қабати парда ҷой гирифтаанд, афзунтар мегарданд. Дар натиҷа мутаносибан ҳиссаи энергияи ба молекулаҳои дар сатҳ изолятсия карда шуда мансуб меафзояд. Бинобар ин дар намунаҳои консентратсияи 25 ва 30% дошта раванди самтдигаркунии молекулаҳо дар ҳарорати гузариши фазавӣ аз кристалли ба фазои нематикӣ оғоз мегардад.



Расми 8. Вобастагии нуфузпазирии диэлектрикии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта аз ҳарорат барои композити таркибии: ПВБ+7СВ:1) 15%, 2) 20%, 3) 25%, 4) 30%, 5) 35%.

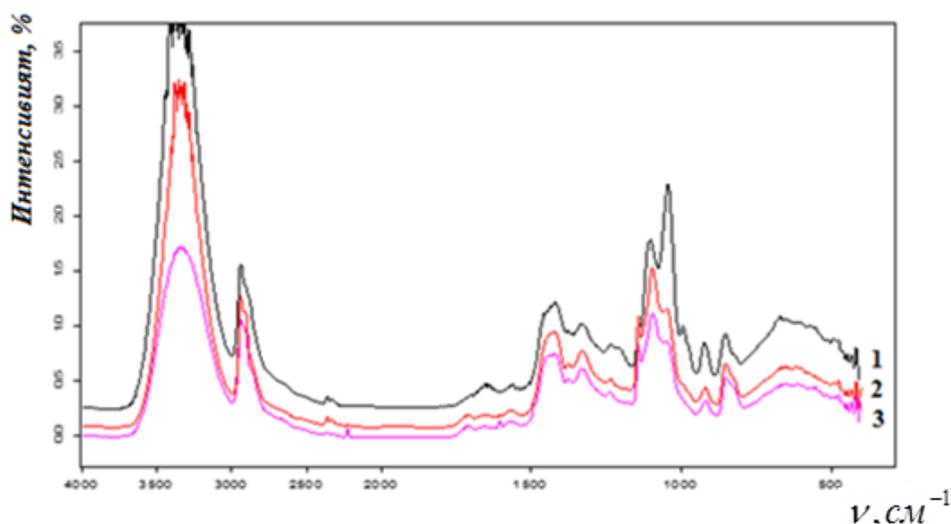
Ҳамин тариқ, натиҷаи ҳисобкунии ададии нуктаҳои дар расми 8 ишора гардида аз алоқамандии ҳаракати дохилимолекулавӣ конформатсионии ҷузъҳои чандири молекулаҳо шаҳодат медиҳад.

**Дар боби чоруми** диссертатсия тадқиқотҳои таҷрибавӣ характеристикаҳои муҳимтарини спектри инфрасурхи пардаи полимерии қатраи кристалли моеъ дошта оварда шудаанд. Таҳлили спектрҳои инфрасурхи пардаҳои мазкур, яке аз масъалаҳои муҳим дар самти химия ва физикаи кристаллҳои моеъгӣ ба ҳисоб меравад. Маълум

аст, ки қатраи кристалли моеъ сохтори дохилии матритсаи полимериро дигаргун намесозад, зеро то андозае ин ду модда ба ҳамдигар омехта намешаванд. Танҳо қабати шаффофи полимери матритсавӣ атрофи қатраи кристалли моеъро рӯйпуш намуда муҳофизат мекунад, бинобар ин қатра ҳолати худро дар сохтори муайян нигоҳ медорад.

Дар расми 9 натиҷаи ченкуниҳои таҷрибавӣ оварда шудаанд. Усулҳои тайёр кардани намунаҳо барои таҳқиқоти спектроскопӣ, инчунин бо усулҳои муайяни гирифтани спектрҳо мувофиқи дарстуру усулҳо дар боби дуум омада, иҷро карда шудаанд. Таносуби полимери матритсавии СПВ бо компоненти кристалли моеъ (СПВ:КМН 7СВ) чунин буданд: 1- СПВ дар ҳолати ибтидоӣ, 2) СПВ+7СВ (85:15%), 3) СПВ+7СВ (75:25%).

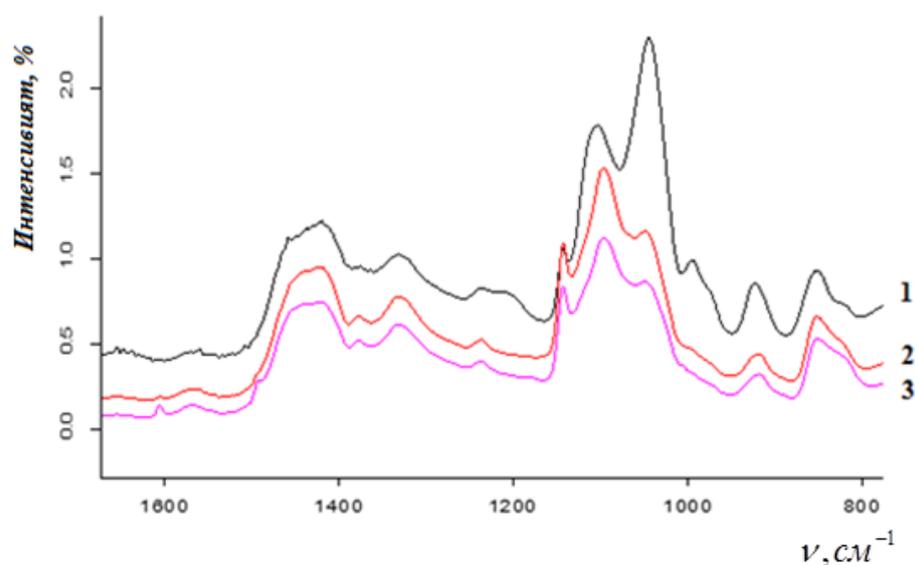
Ҷиҳати нисбатан содда намудани муқоисакунии спектрҳои фӯрубурд, хатҳои тадқиқшаванда дар қад-қадӣ тири амудӣ ҷой дода мешаванд. Ҳамин тавр, спектрҳои намунаҳои СПВ-и дар ҳолати ибтидоӣ буда ба маълумоти адабиётҳо то андозае мувофиқат мекунад.



Расми 9. Спектрҳои инфрасурхи фӯрубурди пардаи СПВ дар ҳолати ибтидоӣ (1), СПВ+(15% 7СВ) - 2, СПВ+(25% 7СВ)-3 дар диапазони басомади аз 4000 то 400  $\text{cm}^{-1}$

Аз расми 9 (хатҳои 2, 3) дида мешавад, ки барои намунаи дорои СПВ+КМН 7СВ дар соҳаи басомадҳои 2200-2225  $\text{cm}^{-1}$  бандҳо бо максимуми интенсивнокиаш паст пайдо шудааст. Ин банди фӯрубурд максимуми на он қадар баланд бо лаппишҳои валентии Q(CN) кристалли моеи нематикӣ алоқаманд аст. Ин банд ба лаппишҳои валентии гурӯҳи полярии (кутбӣ) CN, ки бевосита дар таъсири мутақобилаи дипол-диполҳо иштирок мекунад, мувофиқат мекунад.

Дар соҳаи 2800-3100  $\text{cm}^{-1}$  бандҳои пайдогардида бевосита лаппишҳои валентии  $\nu(\text{CH})$ -и халқҳои фенилӣ ва гурӯҳи алкилӣ ташкил медиҳанд. Вобаста ба ин барои таҳлили муфассал ва нисбатан сахт спектрҳои фӯрубурди намунаҳои омӯзишӣ дар расми 10 оварда шудааст.



Расми 10. Чузъи спектри ИС фурубурди пардаҳои СПВ дар ҳолати ибтидоӣ (1), СПВ+7СВ 15% (2) ва 25% (3) дар соҳаи басомадҳои аз 1600 то 800  $\text{cm}^{-1}$

Дида мешавад, ки дар муқоиса бо намунаҳои дар ҳолати аввала қарордошта, банди фурубурд дар соҳаи басомадҳои 800-1600  $\text{cm}^{-1}$  барои намунаҳои дорои қатраҳои микроскопии КМ дошта ночиз аст. Тағйироти мазкур ба он асос ёфтааст, ки талафоти максималии интенсивноӣ дар намунаҳои пардаҳои полимерӣ бо иловаҳои 7СВ дошта мушоҳида мешавад. Ин далелҳои иловагӣ барои тасдиқи он мебошанд, ки гузариши релаксационии  $\beta$ - ва  $\beta'$ -дар пардаҳои ППКМ аз сабаби ҳаракати гардишноки занҷирҳои алифатӣ ва гардиши ҳалқаҳои бензолӣ дар атрофи меҳвари асосии оптикӣ дар боби 3 нишон дода шуда, аввалан боэътимод мебошанд, сониян, тадқиқоти васеътарро талаб мекунад.

Таҳлили натиҷаҳо нишон доданд, ки дар соҳаи басомадҳои 1376-1418  $\text{cm}^{-1}$  ду банди фурубурди дорои интенсивнокии пасти пайдогардида ба сохтори химиявӣ СПВ ва лаппишҳои деформатсионӣ (НСН), (ССН) гурӯҳи  $\text{CH}_3$ -и радикали алкилии (7СВ) алоқаманд мебошанд. Вобаста ба ин агар ба назар гирем, ки банди пайдогардида дар минтақаи 1376  $\text{cm}^{-1}$  ба дигаргуниҳои сохторӣ ҳассос нест ва диҳрози он баҳодихии самти умумии молекулаҳои КМН 7СВ -ро қад-қади худуди байни ду фаза медиҳад, пас мо барои бовар намудан асос дорем, ки тағйирёбии мутақобилаи интенсивнокии банди фурубурд дар худуди 1376  $\text{cm}^{-1}$  бо равандҳои тағйир додани самтдигаркунии молекулаҳо дар маркази қатра ба самти дарозшавӣ алоқаманд аст.

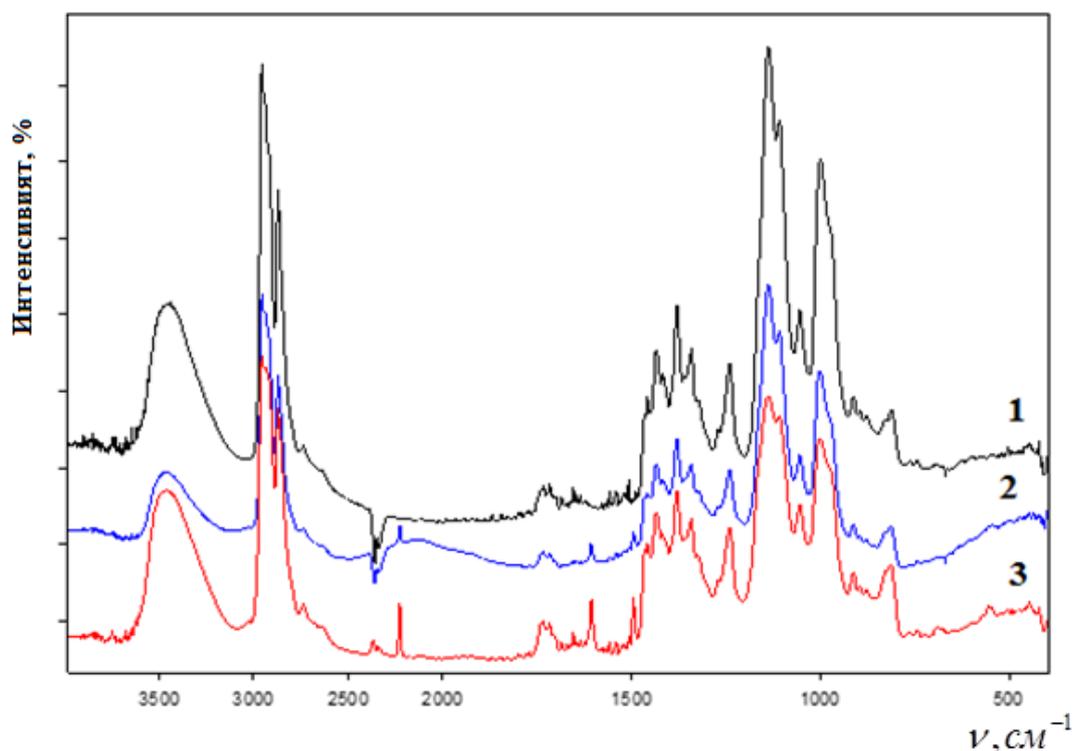
Таҳқиқоти минбаъдаи спектрҳои инфрасурхи КМН 7СВ дар дараҷаҳои гуногуни деформатсияи нисбӣ нишон доданд, ки дар фазаи нематикӣ ду намуди гузариши конформатсиявии молекула вуҷуд дорад. Дар ин маврид бандҳои фурубурд дар 1690  $\text{cm}^{-1}$  бо зиёд шудани миқдори компонентаи КМ меафзояд, мутаносибан интенсивноӣ ба фоидаи банди фурубурд дар 1740  $\text{cm}^{-1}$  аз нав тақсим мешавад. Ҳамзамон чунин падида, дар худуди диапазони бандҳои 3200-3500  $\text{cm}^{-1}$  низ мушоҳида мегардад, ки кунҷи байни ҳамвории ҳалқаҳои бензолии он тақрибан ба  $45^\circ$  баробар аст. Дар доираи ин, хусусиятҳои хоси басомади фурубурди гурӯҳҳои химиявӣ полимерҳои тадқиқшаванда (ПВБ) ва шиддатнокии қуллаҳои бандҳои ҳосилшудаи спектрҳои ИС дар чадвали 1 оварда шудаанд.

Басомадҳои фурубурди гурӯҳҳои химиявии поливинилбутирал, ки бо спектроскопияи инфрасурхи Фурье гирифта шудаанд

Намуди лапиш	Ибтидоӣ		7СВ 15%		7СВ 20%		7СВ 25%		7СВ 30%	
	$\nu, \text{cm}^{-1}$	A								
$\nu(\text{C}\equiv\text{N})$	2328	110	2328	107	2330	89.4	2331	77.2	2333	66.4
$\nu_s(\text{C-O})$	1068	63.1	1068	60.3	1068	55.0	1069	50.5	1069	48.0
$\nu_{as}(\text{C-O})$	1295	274.8	1292	296.3	1289	300.6	1287	299.2	1286	296.7
$\nu(\angle \text{COC})$	529.4	17.8	529.1	16.6	528.2	14.1	527.8	11.4	528.0	8.8
$\nu(\angle \text{CC-H})_{\text{Ph}}$	1445	6.7	1442.5	3.35	1445	6.5	1438	5.8	1436	5.7
$\nu(\text{CC}, \angle \text{CC-H})$	1591	1.8	1588	1.8	1589	1.76	1588	1.7	1588	1.0
$\nu_s(\text{C-H})$	3200	19.8	3198	18.2	3192	11.0	3188	5.9	3188	7.0
$\nu_{as}(\text{C-H})$	3202	2.3	3199	3.1	3193	8.3	3189	12.0	3188	9.1
$\nu_{as}(\text{C-H})_{\text{CH}_3}$	3021	71.2	3021	70.7	320	69.5	3019	67.6	3018	65.1
$\nu(\angle \text{OCH})_{\text{CH}_3}$	1209	14.5	127	30.6	1206	48.9	1205	27.3	1204	3.6
$\nu_{as}(\delta_{\text{CH}_3})$	1480	15.2	1480	15.4	1480	14.2	1480	12.6	1480	11.9

Гузаришҳои озоди конформатсионии молекулаҳои 7СВ ва ҳосилаҳои он имкон медиҳанд, ки таъсири байнимолекулавии онҳо бо гурӯҳҳои хромофорҳо, ба таври таҷрибавӣ омӯхта шаванд. Бо ин мақсад системаҳои полимерию кристали моеъгӣ, ҳангоми тағйир ёфтани таркиби яке аз компонентҳо, мувофиқтар дониста мешаванд.

Натиҷаи ченкунииҳои спектралӣ дар расми 11 нишон дода шудаанд.

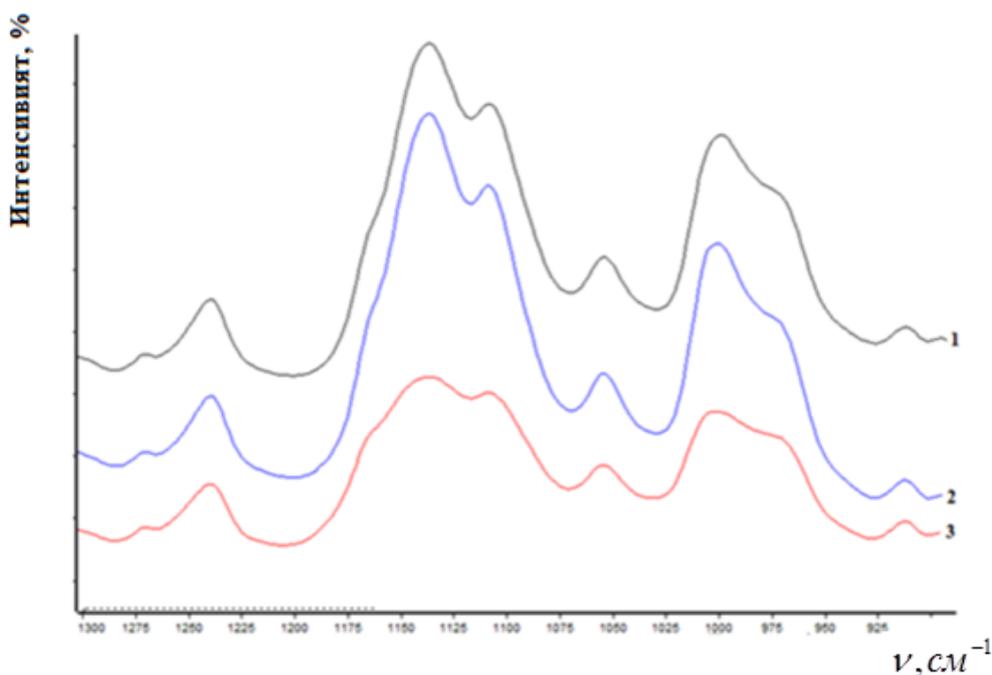


Расми 11. Спектри инфрасурхи фурубурди ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ (1), ПВБ +7СВ 20% - (2) ва 30% (3) дар соҳаи басомадҳои аз 4000 то 400  $\text{cm}^{-1}$

Таҳлили муқоисавии спектрҳо нишон дод, ки дар раванди гузариши фазавӣ сохтори ягона ба вучуд меояд, ки он модуҳои нисбатан калонтарини форматсияҳои фазаи изоморфиро инъикос мекунанд. Бо зиёд шудани консентратсияи КМН 7СВ дар сатҳи матритса аз 15% то 30% басомади лапиши гурӯҳи афзоиш меёбад, дар ҳоле ки интенсивнокии банди фурубурди дигар ҳолатҳо дар аксар мавридҳо, баръакс кам мешаванд.

Натиҷаи ҳисоби спектрҳо дар соҳаи  $4000-400\text{ см}^{-1}$  нишон доданд, ки барои азхудкунии квантҳои шуоъҳои лазерӣ, шумораи нисбатан ками алоқаҳои гидрогенӣ мавҷуданд. Дар доираи ин натиҷаҳо маълум карда шуд, ки максимуми интенсивнокии дар намунаҳое, ки 25%-ашонро компонентаи КМН 7СВ ташкил медиҳад, мушоҳида карда мешавад. Афзункунии минбаъдаи консентратсияи КМН 7СВ боиси босуръат коҳиш ёфтани интенсивнокии ин хатҳо, то қимати нулӣ барои 30%, мегардад.

Бо мақсади таҳлили муфассал ва дақиқи хатҳои фурубурди алоҳидаи намунаҳои омӯзишӣ, дар расми 12 ҷузъи спектрҳои ИС дар соҳаҳои басомад аз  $900$  то  $1300\text{ см}^{-1}$  оварда шудааст. Дида мешавад, пас аз ворид кардани ҷузъи КМН 7СВ, дар минтақаи лапишҳои басомади баланд, мавҷудияти ҳалқаҳои бензол зухури максималии иловагиро тасдиқ мекунанд, ки мавҷудияти комплексӣ байни мезофаза ва моеи изотропиро нишон медиҳад.



Расми 12. Ҷузъи спектри ИС фурубурди ПВБ (1), ПВБ+7СВ (20%) –(2) ва 30% (3) дар соҳаи басомадҳои аз  $1300$  то  $900\text{ см}^{-1}$

Ҳамин тавр, муайян карда шуд, ки конформатсияи нисбатан устувори молекулаҳои 7СВ ( $X=OCH_3$ ,  $OC_3H_7$ ) дар ҳолати ибтидоӣ твист-конформатсия бо кунҷи гардиши изомерияи мономерӣ вобаста ҳисоб меёбад. Муқаррар карда шудааст, ки гардиши ҳалқаҳои бензолӣ нисбат ба ҳамдигар боиси дигаргуншавии самтнокшавии нисбии мадорҳои мутақобилаи атомҳои карбонӣ мегардад.

## Хулоса

### Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия

1. Усули технологияи омодагии омехтагии пардаҳо бо структураи пешакӣ дода шуда, андоза ва шакли қатра, инчунин конфигурацияи молекулаҳои кристалли моеи нематикӣ дар ҳаҷм ва сатҳи матритсаи полимерӣ коркард ва пешниҳод карда шуд [7-М, 10-М, 11-М].
2. Муқаррар карда шуд, ки бо афзуншавии компонентаи КМ устувории механикии матритсаи полимерӣ коҳиш ёфта, раванди вайроншавиро метезонад. Худуди хаттии пардаҳои полимери қатраҳои кристалли моеъ дошта, ки мо таҳти шиддати механикӣ ошкор намудем, ба савияи деформатсияшавӣ дар ҳамаин диапазон ва дар алоқамандӣ аз шароити таҷриба мувофиқат мекунад [6-М, 11-М, 21-М, 22-М].
3. Муайян карда шуд, ки омӯзиши ҳазиши пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта рафтори онҳоро дар соҳаи часпакию чандрии ғайрихаттӣ ҳангоми таъсири боргузори доимӣ маънидод мекунад. Ин ҳолат имконияти муайянкунии интервали шиддатеро, ки барои истифодабарӣ ба сифати матритса ва татбиқи ориентатсияшавӣ нисбатан муфид аст, имконпазир мегардонад [13-М, 16-М].
4. Исбот карда шуд, ки мезофазаи 7СВ аз серияи алкилсианобифенилҳо дар ҳолати нематикӣ асосан ба таври гомеотропӣ самтнок мегарданд ва ориентатсияи дар ин ҳолат пайдо шавандаи планарӣ ё радиалии майдони директор бо механизми молекулавӣ ё электростатикии таъсири мутақобилаи фрагменти интиҳои молекулаи кристалли моеи нематик бо макромолекулаҳои ПВБ дар сарҳади тақсимот маънидод карда мешавад [3-М, 6-М, 8-М, 20-М].
5. Муайян карда шуд, ки ба навъи гомеотропии тартибнокшавии молекулаҳо таъсири мутақобилаи нисбатан дарози занҷирҳои алкилӣ дар ПВБ мусоидат мекунад ва равандҳои ошкор карда шудаи аз сари нав самтнокшавии молекулаҳои кристалли моеи 7СВ дар ПВБ бо рақобати молекулавӣ ва электростатикии таъсири мутақобилаи занҷирҳои алкилӣ ва моменти диполӣ дар сарҳади тақсимои ду муҳит алоқаманд аст [6-М, 8-М, 20-М].
6. Муқаррар карда шуд, ки дар ҳолати ибтидоӣ конформатсияи нисбатан устувори молекулаҳои 7СВ ( $X \equiv OCH_3$ ,  $OC_3H_7$ ) – твист-конформатсия бо кунҷи гардиши изомерияи мономерӣ ба ҳисоб меравад ва гардиши ҳалқаҳои бензолӣ нисбат ба ҳамдигар боиси дигаргуншавии ориентатсияшавии нисбии орбиталҳои атомҳои кӯпрукии карбонӣ дар ҳалқа мегардад [4-М, 5-М, 25-М].

### Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо:

1. Натиҷаҳои таҷрибавии дар қори мазкур гирифта шуда барои коркард ва сохтани элементҳои нав дар самти фотоника ва оптоэлектроника замина мегузоранд, чунки характеристикаҳои механикӣ ва морфологии пардаҳои композитӣ ба таври назаррас беҳтар гардонида шудаанд.
2. Маводи композитии нав дар заминаи пардаи полимерӣ ва кристалли моеи нематикӣ навъи 7СВ бо характеристикаҳои морфологии беҳтар гардонида шуда коркард шуд, ки минбаъд ба сифати ашёи асосӣ дар технологияи дисплей татбиқ шаванда аст.
3. Натиҷаҳои бадастовардашудаи қори мазкур дар самти сохтани элементҳои нави соҳаҳои оптоэлектроника, технологияи сенсорӣ ва таҷҳизотҳои индикаторӣ барои истифода тавсия дода мешаванд.

4. Хулосаҳои илмии рисола барои муқоиса намудани натиҷаҳои корҳои илмӣ-тадқиқотӣ дар самти омӯзиши композитҳои полимерии кристалли моегӣ бо назардошти хусусиятҳои морфологии саҳеҳ тавсия дода мешаванд.

#### **НАТИҶАҲОИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН ДАРҶ ЁФТААНД**

##### **Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмии тавсия намудаи ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шуда**

- [1-М]. **Каримов, С.К.** Влияние солнечной радиации на механические свойства полимеров, модифицированных жидкими кристаллами /А. Абдуманонов, **С.К. Каримов** //Учён. зап. ХГУ, 2016, №3, с.37-41.
- [2-М]. **Каримов, С.К.** Вобастагии мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии полиэтилен аз таъсири радиатсияи офтоб / А. Абдуманонов, **С.К. Каримов** // Номаи донишгоҳи ДДХ ба номи Б. Гафуров. 2015 №1/32, С.27-31.
- [3-М]. **Каримов, С.К.** Исследования электрофизических свойств полимерно-жидкокристаллических пленок /П.Т. Мамаджонов, М.Х. Эгамов, **С.К. Каримов** //Учён.зап. ХГУ, №1-2017, С.111-114.
- [4-М]. **Каримов, С.К.** Анализ ИК-спектров поглощения полимерных композитов, диспергированных жидкими кристаллами /**С.К. Каримов, А. Абдуманонов** //Ученые записки ХГУ им.акад. Б. Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд., 2019, №1, С. 29-34.
- [5-М]. **Каримов, С.К.** Конформационные переходы в капсулированных полимером жидкокристаллических пленках /**С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов.** //Доклады НАНТ 2022, Т.65, №1-2.-С.75-80 .
- [6-М]. **Каримов, С.К.** Взаимосвязь диэлектрических и механических свойств плёнок на основе полимера и жидкого кристалла / **С.К. Каримов** //Известия НАНТ 2022, №2(187). –С.49-54.
- [7-М]. **Каримов, С.К.** Влияние температуры на механические свойства композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла / **С.К. Каримов, М.Х. Эгамов** // Учёные записки ХГУ, серия естественные и экономические науки, 2022, №3(62). – С. 61-64.
- [8-М]. **Каримов, С.К.** Влияние температуры на электрофизические характеристики полимерно-жидкокристаллических композитов /**С.К. Каримов** //Вестник Бохтарского государственного университета имени Н. Хусрава», серия естественных наук. №3 - 2022. – С. 49-53.
- [9-М]. **Каримов, С.К.** Температурные зависимость механических параметров полимерно-жидкокристаллических пленок /**С.К. Каримов, Б.И. Махсудов** //Международный научно-практический журнал. г. Алматы, Казахстан. 28-октября 2022 г. – 369-372.

##### **Мақолаҳои дар маводҳои конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ нашршуда**

- [10-М]. **Каримов, С.К.** Эмульсионный способ приготовления полимерно-жидкокристаллических композиционных пленок. /М.Х. Эгамов, А.А. Абдуманонов, **С.К. Каримов** //Материалы междунар. конфер. «Нано - 2014», посвящённой 90 летию столицы Респ. Таджикистан, города Душанбе, ТНУ, 2014 г. С.30-34.

- [11-М]. **Каримов, С.К.** Влияние формы и размер капель нематика на прочность полимерного композита /**С.К. Каримов** //Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы современной физики», посвященной 75-летию профессора Х. Абдуллозаде, г. Худжанд, 2015 г. С. 190 -191.
- [12-М]. **Каримов, С.К.** Омӯзиши мустақкамӣ ва деформатсияшавии полимерҳои хаттӣ барои матритсаи композитӣ /**С.К. Каримов** //Респ. науч. конф. «Современные проблемы физики конденсированного состояния», г. Душанбе, 2015, с. 124-125
- [13-М]. **Каримов, С.К.** Deformation behavior of polymeric liquid-crystalline films in a creep mode /**S.K. Karimov, A. Abdumanonov, M.Kh. Egamov** //The book of abstracts 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), June 19-21, 2017; Saint Petersburg, Russia.-St. Petersburg: Polytechnical Publishing House. 2017. – p. 170.
- [14-М]. **Каримов, С.К.** Исследования механических свойств капсулированных полимером жидкокристаллические пленки /**С.К. Каримов** //Маводи конференсия илмӣ-амалии «Рушди фанҳои табиатшиносӣ дар давраи Истиқлолияти ҚТ», бахшида ба 80-солагии профессор М.М. Акрамова, 04.01.2017. ш. Бӯстон: ДКМТ, 2017 саҳ. 40.
- [15-М]. **Каримов, С.К.** Температурные зависимости электрофизических параметров полимерно-жидкокристаллических композитов /**С.К. Каримов, А. Абдуманонов, Э. Ч. Шаимов** //Межд. конф. 80 - лет Хакимов Ф., ТНУ. г. Душанбе, 2017- С. 222-224.
- [16-М]. **Каримов, С.К.** Деформационные свойства полимерно-жидкокристаллических пленок в режиме ползучести /**С.К. Каримов, М.Х.Эгамов, А. Абдуманонов** //Международной научной конференции посвященной 80-летию профессора Нарзиева Б.Н., ТНУ. г. Душанбе, 2018 – С. 58-59
- [17-М]. **Каримов, С.К.** Жидкокристаллические волноводные элементы с различной топологией модуляции границы раздела мезофаз /**А.Мирсоков, С.К. Каримов** // Республиканская научно-практическая конференции посвященная к «Году развития и туризма и народных ремесел» Роль естественно-математических наук в развитие промышленности Таджикистана. Бустон, ГМИТ, 2-июня 2018, с 105-106.
- [18-М]. **Каримов, С.К.** Таъсири қатраи нематик ба характеристикаи спектралӣи спирти поливинилӣ /**С.К. Каримов, А. Абдуманнонов** //Маводҳои конф. илмӣ-амалӣ “Муаммоҳои муосири илмҳои дақиқ ва нақши он дар ташаккули ҷаҳонбинии илмии ҷомеа” Хучанд 26-27 октябри соли 2018, С. 370-371.
- [19-М]. **Каримов, С.К.** Исследование влияния капли нематика на спектральные характеристики поливинилбутирала /**С.К. Каримов** //Матер. VI Междунар. конфер. «Современные проблемы физики», посвящ. 110 летию академика С.У. Умарова и 90-летию академика Адхамова А.А. Душанбе, 28-30 июня 2018 г. –Душанбе, 2018. С.281-284.
- [20-М]. **Каримов, С.К.** Особенности диэлектрических свойств композитов на основе полимера и жидкого кристалла / **С.К. Каримов** //Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии» г. Минск, 23-27 августа 2021 года, с. 95-96
- [21-М]. **Каримов, С.К.** Особенности механических свойств композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла /**С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов** // Материалы Симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. Душанбе:, 2021, с. 60-62
- [22-М]. **Каримов, С.К.** Влияние скорости нагружения на прочность композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла /**С.К. Каримов** //LXIV

Международная конференция «Актуальные проблемы прочности» 4 - 8 апреля, 2022 года, Екатеринбург, Россия, с. 49-51

**[23-М]. Каримов, С.К.** Электрофизические свойства нематических жидких кристаллов в составе полимерной матрицы /**С.К. Каримов** //Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук – Душанбе: РТСУ, 2022. - С. 125-127.

**[24-М]. Каримов, С.К.** Получение микрополяризаторов на основе капсулированных полимером жидкокристаллических пленок / У.Дж. Раҳимова, **С.К. Каримов**, М.Х. Эгамов //IV Международная научно-практическая конференция «НАУКА и ТЕХНОЛОГИЯ» сост.: Р. Дуйсенбин и т.д – г.Алматы, Казахстан, 2022 – с.130-135.

**[25-М]. Каримов, С.К.** Конформационный анализ полимерно-жидкокристаллических систем по данным ИК-спектроскопии /**С.К. Каримов**, Б.И. Махсудов //Конференсия байналмилалӣ дар мавзӯи «Мақоми физика дар рушди илм, маориф ва инноватсия» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040)», ДМТ, 27.10.2022.- С. 100-102.

## АННОТАТСИЯИ

рисолаи илмии Каримов Сорбон Каримович дар мавзӯи " Сохтор ва хусусиятҳои физикию механикии пардаҳои полимери кристалли моеъ диспергиридашуда ", барои дарёфти дараҷаи илмии номзоди илмҳои физика ва математика аз рӯи ихтисоси 01.04.07 – физикаи ҳолатҳои конденсӣ, ки барои дифоъ ба Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-056-и назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон пешниҳод шудааст

**Калимаҳои калидӣ:** полимер, кристалли моеъ, нематик, шиддати механикӣ, мустаҳкамӣ, ИК-спектр, қатра, кашиши яксамта, деформатсия, ориентатсия, нуфузпазирии диэлектрикӣ, ҳарорат, текстураҳо, микроскопи поляризатсионӣ.

**Аҳамиятнокии мавзӯи тадқиқот:** Солҳои охир як қатор тадқиқотҳои нодир, ки ба коркард ва омӯзиши сохтори кристаллҳои моеъ бо бандиши сатҳии назоратшаванда нигаронида шудаанд, гузаронида шуданд. Бо вучуди ин, ҳанӯз ҳам муаммои илмии дарёфти (эҷоди) плёнқаҳои композитии полимери кристалли моеъ дошта бо ҳосиятҳои оптималии сохторӣ ва механикӣ вучуд дорад. Ин масъала бештар аҳамияти илмии натиҷаҳои тадқиқотии пешниҳодшударо муайян мекунад, зеро то анҷоми он маҷмӯи маълумотҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ дар назар аст, ки механизмҳои физикии таъсири ба амал омадаро муфассал тавсиф мекунад.

**Объекти тадқиқот:** Ба сифати объекти тадқиқотӣ пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта истифода шуд. Ҳамчун компонентаи кристалли моеъ, навъи нематикӣ 4-н-гептил-4'-сианобифенил (7CB) истифода шуд, ки ҳарорати тозакунии (равшаннокии) он  $T_c=42,5^{\circ}\text{C}$ , нишондоди шикасти рӯшноии он дар ҳарорати  $T=25^{\circ}\text{C}$  ва дарозии мавҷи  $\lambda=0,633$  мкм ба  $n_e=1,725$  ва  $n_o=1,534$  баробар аст. Ба сифати полимери матритсаи ду навъ полимер истифода бурда шуд: поливинилбутирал (ПВБ) ва спирти поливинилӣ (СПВ).

**Мақсади тадқиқот.** Коркард ва тадқиқи усулҳои ташаккулдиҳии композитҳои дар заминаи полимерҳои бисёрфункционалӣ ва кристалли моеи нематикӣ асос ёфта барои муайянкунии ҳосиятҳои морфологӣ (физикию механикӣ ва электрофизикӣ) вобаста аз ҳолати ибтидоии композит ва дигар режимҳои технологӣ.

### **Натиҷагирӣ ва нағсонӣ:**

1. Бори аввал дар таҷриба характеристикаҳои морфологӣ ва физикию механикии пленқаҳои полимери кристалли моеъ дошта вобаста ба таносуби компонентаҳо ва дигар омилҳои беруна аз нуқтаи назари илмӣ омӯхта ва асоснок карда шуданд.

2. Муайян карда шуд, ки бо афзуншавии миқдории компонентаи кристаллҳои моеъ дар сатҳи матритсаи полимерӣ мустаҳкамии он то андозае кам мешавад.

3. Равандҳои аз сари нав самтнокшавии молекулаҳои кристаллҳои моеи 7CB дар матритсаи полимери васлқунандаи ПВБ, ки дар таҷриба ошкор карда шудаанд, бо рақобати таъсири мутақобилаи молекулавию электростатикӣ занҷирҳои алкилӣ ва моментҳои диполӣ дар сарҳади байни ду муҳит алоқаманданд.

### **Самтҳои истифодабарии натиҷаҳо:**

1.Натиҷаҳои таҷрибавии дар кори мазкур гирифта шуда барои коркард ва сохтани элементҳои нав дар самти фотоника ва оптоэлектроника замина мегузоранд, чунки характеристикаҳои механикӣ ва морфологӣ пардаҳои композитӣ ба таври назаррас беҳтар гардонида шудаанд.

2.Маводи композитии нав дар заминаи пардаи полимерӣ ва кристалли моеи нематикӣ навъи 7CB бо характеристикаҳои морфологӣ беҳтар гардонида шуда коркард шуд, ки минбаъд ба сифати ашеи асосӣ дар технологияи дисплей татбиқ шаванда аст.

3. Хулосаҳои илмии рисола барои муқоиса намудани натиҷаҳои корҳои илмӣ-тадқиқотӣ дар самти омӯзиши композитҳои полимери кристалли моеъгӣ бо назардошти хусусиятҳои морфологӣ саҳеҳ тавсия дода мешаванд.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА  
ХУДЖАНДСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР**

*На правах рукописи*

**УДК: 532.783+538.95 (1, 6, 8)**

**ББК: 22.352.11 (12)**

**К-33**

**КАРИМОВ СОРБОН КАРИМОВИЧ**

**СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК  
ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ЖИДКИМ КРИСТАЛЛОМ**

**Специальность 01.04.07-Физика конденсированного состояния**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

**Душанбе -2023**

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

**Научный руководитель:**

**Абдуманонов Абдуали** – доктор физико-математических наук, профессор, зав. лаборатории физики Худжандского научного центра НАНТ

**Научный консультант**

**Махсудов Барот Исломович** – доктор физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой ядерной физики Таджикского национального университета

**Официальные оппоненты:**

**Холмунинов Абдулфатто Ахатович** - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики полупроводников и полимеров Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан

**Мухидинов Зайниддин Камарович** - доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории химии ВМС, Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана

**Ведущая организация:**

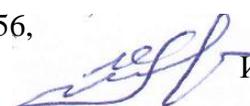
кафедра физики Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими

Защита диссертации состоится «28» марта 2023 года, в 14:00 часов на заседании Диссертационного совета 6D.KOA-056 при Таджикском национальном университете  
Адрес: 734027, г. Душанбе, поселок Буни Хисорак, учебный корпус №16, физический факультет, 206 ауд.

С содержанием диссертации можно ознакомиться на сайте [www.tnu.tj](http://www.tnu.tj) и в Центральной научной библиотеке Таджикского национального университета по адресу 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 года

Ученые секретарь Диссертационного совета 6D.KOA-056,  
кандидат физ.-мат. наук, доцент

 Исломов З.З.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** 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. Это свойства, дающее возможность создавать требуемую ориентационную структуру жидкокристаллического (ЖК) слоя посредством формирования соответствующих граничных условий, служит основой для функционирования всех ЖК устройств.

Под ЖК-композитам понимают прозрачную полимерную или стеклянную матрицу, в объеме и на поверхности которой диспергированы микроскопические капли жидких кристаллов (ЖК). Эти материалы комбинируют в себя механические свойства полимеров (прочность, долговечность, стабильность к химически агрессивным средам, гибкость, эластичность, ...) с необычными физическими свойствами ЖК (анизотропия оптических и диэлектрических свойств, двулучепреломления, ЖК композиты получают методом эмульгирования или полимеризацией по простую, одноэтапную технологию. Области применения таких материалов слишком широк и многогранен, и, пожалуй, нет отрасли промышленности и народного хозяйства, в котором не использовали бы научные достижения по исследованию их структуры и свойств.

Типичным примером таких композитов является переориентация слоя нематического (НЖК), капсулированного в полимерной пленке, типа поливинилового спирта (ПВС) или поливинилбутираль (ПВБ). При этом ориентирующее воздействия пленки должно быть различным (планарным или гомеотропным). Вариация температуры или толщины полимерной пленки изменяет баланса ориентирующего действия и инициирует переориентацию слоя ЖК. Механические и оптические свойства диспергированных полимером жидкокристаллических (ДПЖК) пленок строго зависят от эффекта переориентации стержнеобразных молекул в каплях ЖК. Изменяя последнюю, можно легко управлять оптические характеристики всей пленки.

Исторически сложилась так, что первые исследования ЖК были проведены еще в XIX веке австрийским ботаником Ф. Рейнитцером и немецким кристаллографом О. Леманом<sup>2</sup>. Исследуя холестерилбензоата, они обнаружили двойное лучепреломления, свойственным только кристаллическим телам. В последующих работах других авторов было установлено, что ориентационное упорядочение ЖК в каплях зависит от нескольких факторов: соотношения констант упругости ЖК, размер и формы капель, влияние внешних факторов, а также граничных условий.

**Степень изученности научной проблемы.** В последнее время проведен ряд оригинальных исследований, нацеленных на разработку и изучения ЖК структур с управляемым поверхностным сцеплением. Предложен и реализован эффект переориентации капель ЖК, обусловленный модификацией граничных условий за счет формирования наноразмерного слоя сурфактанта под действием внешнего поля. Однако до сих пор существует научная проблема: создания композитных ДПЖК пленок с оптимальными структурными и механическими свойствами. Это ситуация во многом определяет научную значимость результатов представляемого исследования, поскольку ко времени его завершения предполагается получить комплекс экспериментальных и

---

<sup>2</sup> Lehmann O., Ztschr. Phys. Chem., 5, 427 (1890)

теоретических данных, подробно описывающих физические механизмы протекающих эффектов.

### **Связь исследования с научными проектами и темами.**

Диссертационная работа выполнена в рамках проектов «Исследование вопросов микромеханики разрушения гетерогенных и композитных материалов» на 2016-2020 гг. № гос. регистрации 0116TJ00583 от 29.04.2016, а также «Исследования структуры, механические и оптические свойства новых оптоэлектронных элементов на основе полимерно-жидкокристаллических композитов» на 2021-2025 гг. № гос. регистрации 0121TJ1107 от 10.03.2021, финансируемые из государственного бюджета Республики Таджикистан.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Цель исследования.** Разработка и исследование методики формирования композитов на основе многофункциональных полимеров и НЖК (7СВ) для определения зависимости морфологических характеристик (физико-механических и электрофизических) пленок от состава исходной композиции и других параметров технологического режима.

**Для достижения указанной цели были сформулированы следующие задачи:**

1. Синтезировать композитных пленок (полимерную матрицу, НЖК 7СВ, глицерин, растворитель) и подготовка оптимальных образцов для экспериментов.
2. Разработать варианты реализации эффекта переориентации молекул ЖК для изменения структурной и физико-механических характеристик композитных пленок в зависимости от соотношений компонентов, температуры и других внешних факторов.
3. Исследовать влияния размера, формы и режима растяжения на оптические свойства связующего материала.
4. Исследовать морфологические характеристики (электрофизические свойства) полимерно-жидкокристаллических пленок в температурном поле.
5. Изучить конформационные переходы в капсулированных полимером жидкокристаллических пленках
6. Выявить текстурные картины синтезированных пленок и конфигурации директора в объеме и на границах раздела полимер - НЖК 7 СВ.

**Объект исследования:** В качестве объекта исследования использовались тонкие пленки диспергированного полимером жидкого кристалла. Как компонент ЖК использовался широко известный нематик 4-н-гептил-4'-цианобифенил (7СВ) с температурой просветления  $T_c=42,5^\circ\text{C}$  и показатели преломления исследуемого 7СВ:  $n_{||}=n_{e,max}=1.725$  и  $n_{\perp}=n_o=1,534$  при температуре  $T=25^\circ\text{C}$  и длин волн  $\lambda=0,633$  мкм. Полимерными матрицами служили поливиниловый спирт (ПВС) и поливинилбутираль (ПВБ). Оба полимера обеспечивают тангенциальные граничные условия для выбранных ЖК.

**Предмет исследования.** Исследование физико-механических свойств полимерно-жидкокристаллических плёнок; изучение их структуры и морфологических характеристик в температурном поле, а также изучение конформационных переходов в зависимости от влияния механических полей и других внешних факторов.

**Научная ценность и новизна.**

1. **Впервые на эксперименте изучены** и научно обоснованы морфологические и физико-механические характеристики полимерно-жидкокристаллических плёнок в зависимости от соотношения компонентов и других параметров внешнего поля.
2. **Обнаружено**, что с ростом содержания компоненты ЖК на поверхности полимерной матрицы его прочность в некоторой степени снижается.
3. **Выявлены** процессы переориентации молекул НЖК 7СВ в полимерной матрице ПВБ. Они связаны с конкуренцией молекулярных и электростатических взаимодействий алкильных цепей и дипольных моментов на границе раздела.
4. **Установлено**, что наиболее стабильной конформацией молекулы 7СВ ( $X \equiv OCH_3$ ,  $OC_3H_7$ ) в исходном состоянии считается твист-конформация с углом поворота мономерной изомерии.
5. **Показано**, что удлинение алифатической цепи в фрагменте  $C_3H_7$  структурной формулы НЖК 7СВ при деформации не способствует сильным изменениям геометрической структуры молекулы.

**Теоретическая ценность исследования:** Общеизвестно, что композитные пленки с каплями жидких кристаллов благодаря высокими электрооптическими свойствами используются в области индикаторной техники и оптоэлектроники. Несмотря на всестороннее изучения их электрооптических свойств, существует острая необходимость в изучении и исследовании их физико-механических свойств. Результаты экспериментов показали, что такие композиционные материалы обладают определенной механической прочностью и высокой степенью деформации, и на этой основе под действием одноосного растяжения капли НЖК в слое полимерной матрицы существенно изменяют свою структуру. Выявлено влияние электрического поля на равновесной конфигурации директора молекулы жидкого кристалла. Установлено гомеотропное выравнивание поля директора, обусловленное электростатическим и молекулярным механизмом взаимодействия концевой фрагмента молекул НЖК (7СВ) с макромолекулами ПВБ на границе раздела.

**Практическая ценность исследования:**

1. Разработана технология получения новейшего класса синтезированного ДПЖК пленок, состоящей из полимерной пленки и НЖК типа 7СВ из серии алкил-цианофенилов с улучшенными морфологическими характеристиками, необходимых для фундаментальных научных исследований.
2. Полученные результаты данной работы могут быть рекомендованы к использованию в области создания новых оптоэлектронных элементов и индикаторных устройств.
3. Предложенные научные выводы направлены на сравнение результатов в области оптоэлектроники и дисплейной техники для композитов на основе полимерно-жидкокристаллических систем с учетом морфологических характеристик, изученных в настоящей работе.

**Выносимые на защиту основные положения:**

1. Формирование капли НЖК 7 СВ в объеме и на поверхности полимерной матрицы с заданными структурами и конфигурациями директора в зависимости от состава концентрации, условия приготовления смеси и режимов испытания.

2. Образование экстраординарные структуры внутри капли НЖК 7СВ с линиями дисклинации и точечными дефектами при одновременном действии механических сил и температуры.

3. Концентрационная зависимость величины разрывной прочности композитных пленок в зависимости от статического и динамического режима нагружения.

4. Температурная зависимость величины тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) исследуемого полимера в области фазовых переходов Кр – Нематик и Нематик – Изотропная жидкость с учетом доли энергии на приповерхностных слоев.

5. Контролируемости явления перекачки интенсивностей полос поглощения, характерные для валентными колебаниями в ИК-спектрах пленок в зависимости от процентных содержаниях НЖК 7СВ в составе полимерной матрицы.

**Степень достоверности результатов:** Для решения проблемы использовались современные методы исследования, ИК-спектроскопия, электрофизики, оптическая поляризационная микроскопия. Экспериментальные исследования проводились с использованием стандартов для измерения электрофизических свойств, ИК-спектроскопия, оптических характеристик и технология разработки полимерно-жидкокристаллических композитов. Полученных результатов подтверждается применением прямых физических методов (ИК-спектроскопия, электрооптическая и поляризационно-оптическая микроскопия), тщательной обработки результатов с использованием пакета прикладных программ (SigmaPlot, DShow and TWIN, MS Excel) и хорошим корреляцией полученных экспериментальных результатов с расчетами и данными других авторов.

#### **Соответствие паспорту научной специальности.**

Основа часть диссертационной работы соответствует следующим пунктам паспорту специальности «01.04.07 - Физика конденсированного состояния» 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. Структурные, морфологические и механические свойства наноматериалов и композитных структур на их основе. Методы исследования наноматериалов и композитных структур. Технологические методы получения наноматериалов, композитных структур, структур пониженной размерности, приборов и интегральных устройств на их основе.

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

**Апробация работы.** Основные результаты работы и разработки докладывались автором и обсуждались на следующих научных мероприятиях: Международной конференции

«Нано-2014», посвящённой 90-летию столицы Республики Таджикистан-города Душанбе (25 декабря 2014 г.); Республиканской научной конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния», ТНУ, Душанбе 2015 г.; Междунар. конфер. «Перспективы развития физической науки», посвящ. памяти (80-летию) Заслуженного деятеля науки и техники РТ, члена-корр. АН РТ, д. ф.-м. н, профессора Хакимова Ф.Х. ТНУ. г. Душанбе, 2017; 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), Sankt-Petersburg; June 18 – 22, 2017; Научно-практической конференции “Развития естественных наук в период Независимости РТ”, ГМИТ, Бустон: 04 января 2017 г.; Междунар. конфер. «Актуальные проблемы современной физики», посвящ. 80-летию Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, д. ф.-м. н., проф. Бозорова Б.Н. -Душанбе, ТНУ, 18 апреля 2018 г.; VI Междунар. конфер. “Современные проблемы физики” –Душанбе ФТИ им.С.Умарова АН РТ 28-30 июня 2018 г.; Республиканской научно-практической конференции «Роль естественно-математических наук в развитие промышленности Таджикистана. ГМИТ, г. Бустон, 4 января 2018 г.; VI Международной конференции «Современные проблемы физики», посвящ. 110 летию академика С.У. Умарова и 90-летию академика А.А. Адхамова, ФТИ им С. Умарова НАНТ, Душанбе, 28-30 июня 2018 г.; Международной конференции «Перспективы развития науки и образования», ТТУ им. академика М.С. Осими, Душанбе, 27-28 ноября 2019 г.; Республиканской конференции «Современные проблемы физики в процессе индустриализации Республики Таджикистан», г. Худжанд, ХГУ им. академика Б. Гафурова 29-30 апреля 2020 г.; Международном симпозиуме «Перспективные материалы и технологии» Минск, Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 23-27 августа 2021 г.; LXIV Международной конференции «Актуальные проблемы прочности» 4 – 8 апреля, 2022 г., Екатеринбург, Россия; IV Международная научно-практическая конференция «НАУКА и ТЕХНОЛОГИИ», г. Алматы, Казахстан, 2022 г.; Международной конференции на тему «Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)», ТНУ, г. Душанбе, 27-28 ноября 2022 г..

**Вклад автора.** Соискателем осуществлялся выбор методики проведения экспериментов и объектов исследований, разработка теоретических и численных методов, проектирование и оптимизации параметров перед их испытанием, анализ и обсуждение результатов экспериментов. Основная часть численных расчетов, а также разработка и подготовка научных публикаций, а также представления результатов работы на конференциях выполнены при его непосредственном участии.

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в 25 печатных работах, в том числе - 9 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК при Президенте РТ, 16 тезисов в материалах Международных и Республиканских научных конференциях.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объём диссертации 141 страниц, из них 114 машинописного текста, включая 32 рисунков. Список цитируемой литературы содержит 208 наименований и занимает 23 страниц.

**Ключевые слова:** полимер, жидкий кристалл, механическое напряжение, разрывная прочность, ИК-спектры, одноосная растяжения, деформация, ориентация, диэлектрическая проницаемость, температура, текстура, поляризационный микроскоп.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** диссертации научно обоснована актуальность работы, подробно изложены цели и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, выделены новые результаты, научная новизна и практическая значимость результатов, приведены сведения об апробации и областей применения материалов диссертации.

**Первая глава** посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию ориентационных процессов в дисперсных системах под действием внешнего электрического поля, а также при одноосном растяжении полимерной матрицы. Она обобщает восемь довольно крупных по объему и содержанию разделов. Раздел 1.1 дает общие сведения о мезофазном состоянии вещества. Там же изложены история открытия жидких кристаллов и научные разногласия между учеными. В разделе 1.2 приведены краткие сведения о разновидностях ЖК, их классификации, показаны особенности структурного упорядочения нематических, холестерических и смектических жидких кристаллов. В очередном разделе 1.3 излагаются физические и химические свойства мезофаз, такие как оптические, электрические и упругие, поскольку они являются основополагающими для проведения исследований по изучению динамических откликов ЖК. В разделе 1.4 рассматриваются основные электрооптические эффекты в НЖК. Основой экспериментальных исследований электрооптики ЖК служит тонкослойная ячейка ( $d=5-100$  мкм) с двумя прозрачными электродами. Между электродами имеется капиллярный зазор, фиксированный диэлектрическими прокладками. К электродам подают постоянное, синусоидальное или импульсное напряжение. Световые излучения проходят через «сэндвич» структуры вдоль оси  $z$  перпендикулярно электродам. В зависимости от знака диэлектрической анизотропии ( $\Delta\varepsilon$ ) и исходной ориентации молекул НЖК, дан общие сведения о видах деформации (splay-поперечный изгиб; twist-кручение; bend-продольный изгиб). В разделе 1.5.обсуждается ориентационные структуры в каплях нематика с разными граничными условиями. Выявлено, что процесс ориентационного упорядочения биполярных капель нематического ЖК в полимерной матрице, подвергнутой аксиально симметричному упругому растяжению, имеют форму сферы, а поверхность капель является идеально однородной. В разделе 1.6 изложены композитные ЖК материалы и их разновидности. Основные классы композитов составляют ЖК, диспергированные в полимерной матрице (ДПЖК) и стабилизированные полимером (СПЖК) и суспензиями. ЖК, стабилизированные полимером, называют также жидким кристаллом, стабилизированным полимерной сетью (PNLC) или полимером, диспергированным в ЖК (LCPD). Раздел 1.7 посвящен капсулированным полимером НЖК и методы их синтезирования. Изложены переходы Фредерикса, влияние добавки ПАВ, реализации температурно-индуцированной модификации граничных условий, а также превращение биполярной конфигурации в аксиальную. Там же указывается способы улучшения оптических характеристик поляризаторов света на основе ПДЖК. Анализированы факторы и параметры, действующие на механические, оптические и электрические свойства исследуемых пленок. Раздел 1.8 посвящен физико-механическому свойству ДПЖК пленок при одноосной деформации. Анализируются деформационные и прочностные свойства полимерных композитов в условиях эксплуатации (длительности, частоты, скорости, температуры, давления) при разных режимах деформации (сдвиг,

растяжение, сжатие, изгиб). Обосновываются возможности применения теории нелинейной вязко-упругости к интерпретации результатов по исследованию деформационного поведения композитных пленок.

**Во второй главе** диссертации изложены сведения об объектах исследования, обоснованы их выбор, описана методика приготовления образцов. Дана подробная характеристика о 4-н-гептил-4'-цианобифениле (7CB), с положительной диэлектрической проницаемостью  $\Delta\varepsilon > 0$ . Приведен количественный анализ физико-механических, электрофизических и оптических свойств полимеров, служащих в качестве матрицы (связующей) для дисперсных систем. Обоснован выбор полимерной матрицы, обеспечивающие тангенциальные граничные условия для НЖК 7CB. Здесь же изложены способы получения тонкопленочных дисперсных систем с помощью технологии фазового разделения жидкокристаллической и полимерной компонент в процессе полимеризации, а также эмульгированием НЖК в растворе полимера с последующим испарением растворителя. Указаны способы придания эластичности полимерных матриц путем добавления пластификатора (глицерина) и облегчении эффекта переориентации молекул нематика с использованием поверхностно-активных веществ. Подробно описан анализ оптических текстур капель жидкого кристалла в объеме и на поверхности тонкопленочных дисперсных систем с помощью поляризационного микроскопа ПОЛАР-2, оборудованной цифровой фотокамерой MYscore 500 V(Webbwrs) и подключенной к компьютеру.

Исследование механических характеристик проводилось при помощи разрывной машины типа «Улитка» [Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая теория прочности твердых тел// М.: Наука, 1974. 560 с.]. Диэлектрические измерения проводили при постоянной частоте 1 кГц мостом переменного тока Р-5079.

Для исследования спектральной характеристики использовали ИК-спектрофотометр с Фурье преобразованием марки IRAffinity-1 SHIMADZU в диапазоне 4000-400  $\text{см}^{-1}$  с разрешением 0,5  $\text{см}^{-1}$ . Идентификация состава пленок методом инфракрасной спектроскопии проводилась согласно [А.Х. Купцов, Г.Н. Жижин. Фурье-КР- и Фурье-ИК-спектры полимеров. Справочник. Физматлит, М. (2001). 656 с.], а расшифровку полученных спектров проводили на основании данных, приведенных в [Зотов С.К., Березин К.В., Нечаев В.В. Инфракрасный спектр и структура молекулы 4-гептил-4'-цианобифенила //Журнал физической химии. 2004. Т. 78, № 11. –с. 204-207].

**Глава III** описывает результаты анализа измерения экспериментальных данных по вопросам механических и электрофизических свойств композитных плёнок на основе ПВС/НЖК 7CB и ПВБ/НЖК 7CB. Общеизвестно, что исследование морфологии тонкопленочных дисперсных систем проводятся путем внедрения различных наполнителей и добавок, приводящие к существенному изменению их физико-химических свойств. Такой подход имеет двоякую природу: в одном случае подход сопровождается улучшением механических и физических свойств параметров и величин, в другом случае – наоборот. Выяснения природу такого противоречия, является целью данного параграфа диссертации.

Для определения размера, формы и координаты капли ЖК в однородном монослое полимерной пленки (ПВС, ПВБ), опыты проводили с помощью поляризационного микроскопа POLAR-2 в двух режимах. На рис. 1 приведены микрофотографии ДПЖК пленок в геометрии скрещённых поляризаторов и при выключенном анализаторе.

Как видно, в случае геометрии скрещённых поляризаторов наблюдается образование капли микронного размера с различной структурой (рис. 1, а). Формирование капли требуемого размера зависит от режима приготовления смеси композита. К ней относится время перемешивания компонентов полимера и ЖК. В зависимости от скорости ( $\omega$ ) и времени перемешивания будут формироваться капли различной формы и размеров. По мере увеличения скорости перемешивания большие капли расщепляются на более мелкие, а форма их остаются в виде сферы.

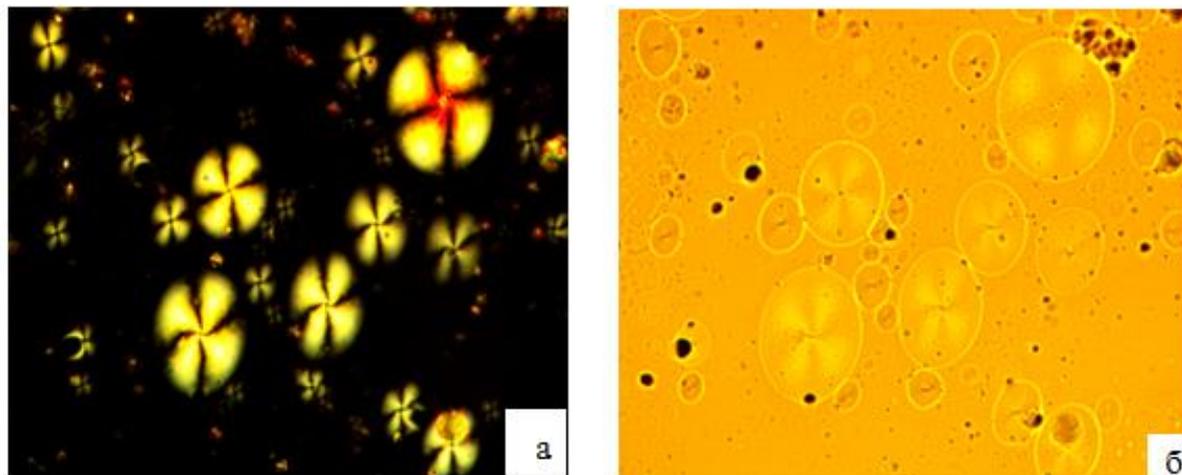


Рис. 1. Микрофотографии ДПЖК пленок в геометрии скрещенных поляризаторов (а) и при выключенном анализаторе (б)

В случае выключенного анализатора наблюдаются только линии дисклинаций вокруг капли, которые располагаются на границе раздела полимер-ЖК (рис. 1, б). При деформировании полимера в режиме динамической нагрузки наблюдаем две сценарии формирования структуры капель нематика: во-первых, сфероидальные капли преобразуются на эллипсоидальные с полуосями  $a$  и  $b$ , причем эти полуоси определяются по форме капли. Деформация, возникающая при одноосной растяжении, имеет отчетливо выраженный пороговый характер: критическая граница отделяет недеформированные капли нематика от деформированной.

Результаты измерений представлены в виде графика зависимости разрывной прочности пленок на основе ПВС и НЖК 7СВ от концентрации наполнителя (7СВ) приведены на рис. 2. Концентрация НЖК 7СВ в составе полимерной матрицы (ПВС и ПВБ) были выбраны согласно технической задании и указанные в главе 2 диссертации.

Видно, что для образцов, изготовленных на основе матрицы ПВС, изменения параметра механической прочности монотонно и нелинейно падает с увеличением компоненты НЖК 7СВ.

Из анализа результатов эксперимента следует, что величина механической прочности испытуемых образцов в исходном состоянии равен  $\sigma = 70$  МПа. Этот же параметр был определен и для образцов, содержащих 35% компоненты НЖК (7СВ), который в тех же условиях эксперимента составляет 39,8 МПа. Соответственно, потеря прочности таких образцов (35%) по сравнению с образцами в исходном состоянии составляет около 43%.

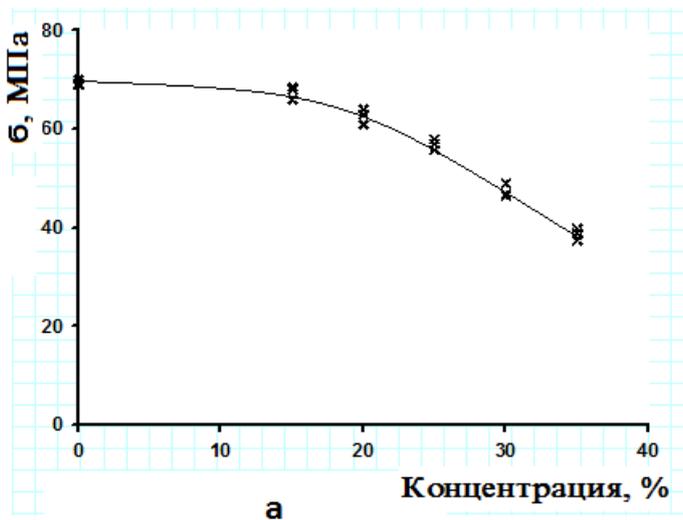


Рис. 2. Зависимости разрывной прочности плёнок состава ПВХ+7СВ от концентрации компонентов (7СВ)

Аналогичные экспериментальные измерения проводились и для композитных пленок на основе матрицы ПVB, результаты которых показаны на рис. 3.

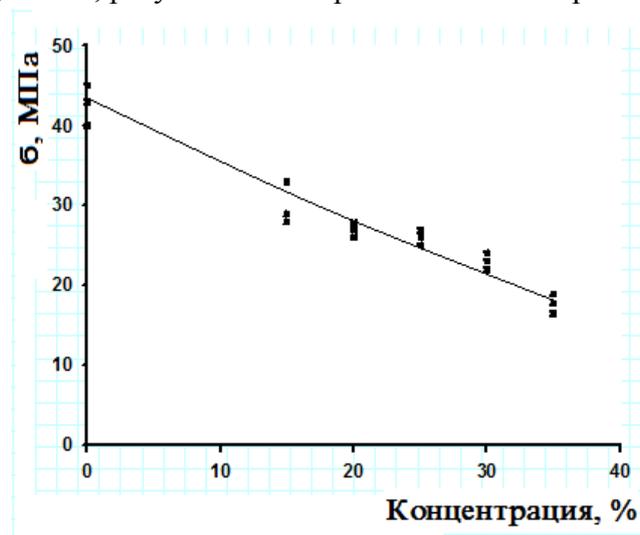


Рис. 3. Концентрационная зависимость разрывной прочности плёнок ПVB+НЖК (7СВ)

Видно, что в таком случае с увеличением концентрации компоненты НЖК (7СВ) для исследуемых образцов наблюдается значительная потеря прочности. Прочность образцов для плёнок ПVB в исходном состоянии  $\sigma = 45$  МПа, а для образцов с 35% концентрации 7СВ составляет  $\sigma = 20$  МПа, что на 55% меньше по отношению к исходному материалу. Если учесть, что для исходных полимеров, принятые нами в качестве связующего, величина разрывной прочности составляют соответственно  $\sigma_p = 63$  МПа для ПВХ [Энциклопедия полимеров М.: Советская энциклопедия, 1974. Т.2.- 1224 с.] и  $\sigma_p = 59$  МПа для ПVB, то вполне очевидно, что значения  $\sigma = 70$  МПа для исходного ДПЖК пленок на рис 2 с ПВХ матрицей и  $\sigma = 45$  МПа на рис. 3 для ПVB матрице принимают свои логические объяснение.

Капли микронного размера НЖК 7СВ, диспергированные в объеме полимерной матрицы, выполняют роли микродефектов конкретной формы и размеров (фрагмент рис 1,

а). При этом, чем выше концентрация НЖК (7СВ), тем больше изолированных дырок разнообразного размера появляются на поверхности и объеме полимерной пленки, соответственно, эти капли ускоряют процесс разрушения композитного образца при динамическом режиме нагружения.

Помимо доступности ПВС и ПВБ и его легкого технологического синтезирования, имеется еще один важный параметр, который способствует совместимости с алкилсодержащими мезофазами, а именно его прозрачности и показателя преломления светового излучения. Вышеуказанные преимущества ПВС и ПВБ даёт нам возможность внедрять к ним остальные компоненты (алкилцианобифенилы, поверхностно-активные вещества, растворители, ингибиторы) и исследовать прямыми физическими методами, так и определить их физико-механические свойства. Поэтому, последующие работы были посвящены определению механических параметров композитных пленок ПВС и ПВБ с различным содержанием компонент НЖК 7СВ. Результаты испытаний в виде графики зависимости  $\sigma=f(t)$  приведены на рис. 4 и 5. Механизм проведения опытов заключалась в следующем. Испытуемые пленки закреплялись к специальным зажимам и подвергались одноосному растяжению в динамическом режиме. Далее строятся диаграммы напряжения-деформация ( $\sigma=f(\epsilon)$ ), которые используются в будущем при расчетах прочности композитов, находящихся в условиях силового нагружения.

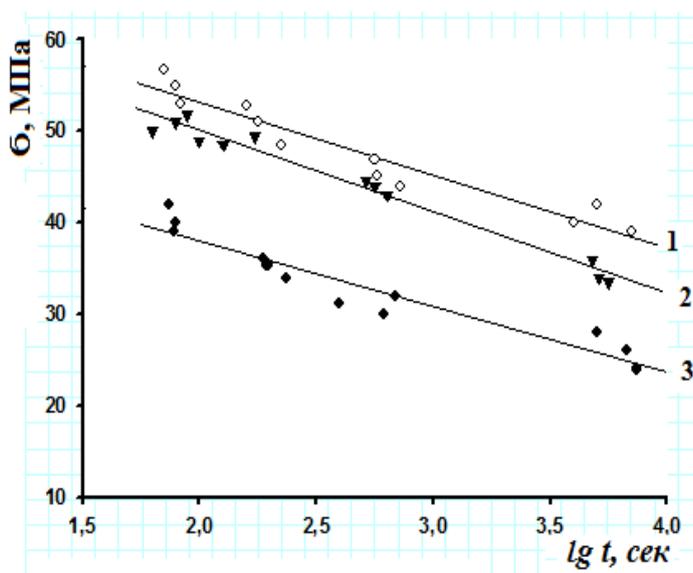


Рис. 4. Зависимости разрывной прочности ( $\sigma$ ) от времени деформирования пленок состава: (1)- исходного ПВС; (2)- ПВС+7СВ 15%; (3)- ПВС+7СВ 25%- компоненты НЖК

Как видно, для образцов ПВС в исходной форме и с плёнками состава ПВС+7СВ (25%) эти зависимости линейные. Для исходного ПВС (прямая 1), величина разрывной прочности  $\sigma$  для высокой скорости деформирования составляет  $\sigma=65,5$  МПа, а для медленной скорости нагружения, она равна  $\sigma=46$  МПа. Следовательно, потери прочности в таком режиме испытаний составляет около 29,7%. На рис. 4 показаны зависимости  $\sigma=f(t)$  образцов из КПЖК пленок в условиях растяжения при разных скоростях нагружения (прямая 1-10 МПа/с, прямая 2-1 МПа/с). Здесь прямые 1 и 2 построены как средние значения по данным 4 испытанных образцов при каждой опыте. Разница между прочностью образцов из ДПЖК пленок составляет ~ 30 %. На наш взгляд, это связано с

тем, что величины накопленных повреждений в образцах при нагружениях зависят от их скоростей.

В случае компоненты НЖК с соотношением 25% при скоростном деформировании значения  $\bar{\sigma}=38$  МПа, а для медленной скорости нагружения  $\bar{\sigma}=26,6$  МПа. На этот случай потеря прочности составляет 30%. Сопоставительный анализ потери прочности для серии образцов ПВС-исходный и с компонентами НЖК 7СВ показали, что во втором случае потеря в два раза больше.

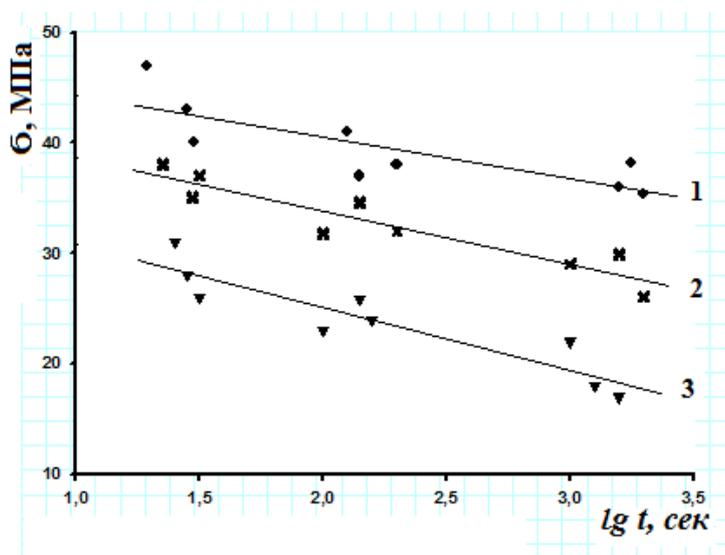


Рис.5. Зависимость разрывной прочности от времени деформирования ДПЖК пленок состава ПВБ и 7СВ: исходного ПВБ (1), 15%- (2) и 25% (3) компоненты НЖК 7СВ

Аналогичные измерения проводились и для образцов на основе ПВБ: эти результаты показаны на рис. 5. Видно, что для обеих серии компонентов (15 и 25%) эти зависимости также линейно. Однако, характер поведения  $\sigma$  сильно отличается относительно числовых значений: для образцов с 15% компоненты НЖК (прямая 2), величина  $\sigma$  при высокой скорости деформирования равна  $\bar{\sigma}=36,4$  МПа, а для медленной скорости нагружения,  $\bar{\sigma}=27,8$  МПа. Соответственно, потеря прочности в таком режиме испытаний составляет 23,6%. В случае компоненты НЖК с соотношением 25%, при скоростном деформировании значения  $\bar{\sigma}=28,8$  МПа, а для медленного скорости нагружения  $\bar{\sigma}=18,5$  МПа. На этот случай потеря прочности составляет уже 35,5 %. Сравнительный анализ потери прочности для двух серии компонентов НЖК в составе ПВБ показал, что во втором случае она в три раза больше.

Обнаруженный экспериментальный факт доказывает, что из-за роста компоненты НЖК в составе ПВБ количество капель нематика как на поверхности, так и в объеме матрицы приводит к ухудшению прочности. Равномерное распределение капель нематика способствует разрыву макромолекулы ПВБ и соответственно, падению прочности.

Следующий этап исследования была посвящена электрическим измерениям физических величин. Исследования взаимосвязи  $\text{tg} \delta$  от  $t^\circ\text{C}$  позволяет оценить время релаксации ориентации момента диполя в высокоэластическом и стеклообразном состояниях. Поэтому в данном разделе диссертации исследуются диэлектрические измерения с помощью моста переменного тока Р-5079, принцип работы которой изложен в главе 2. Были использованы стандартные измерительные ячейки с прижимными электродами.

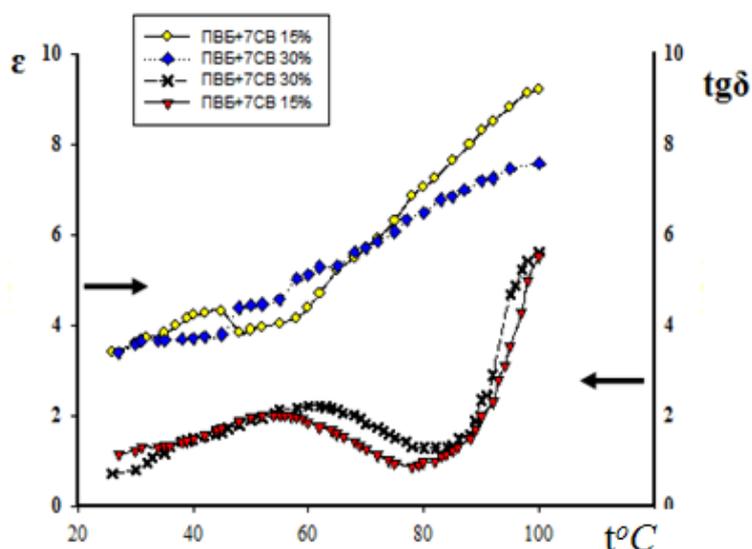


Рис. 6. Зависимость  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  от температуры для пленок состава ПВБ+7СВ

На рис. 6 показаны зависимости  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  от температуры для ДПЖК пленок ПВБ+7СВ с концентрациями 15 и 30% соответственно. Можно видеть, что с увеличением температуры наблюдается монотонное увеличение  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  исследуемых образцов, как до температуры перехода нематика в изотропное состояние, так и после нее. Монотонный рост  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  в диапазоне от 25 до 42 $^{\circ}\text{C}$ , когда мезоген находится в ЖК состоянии, объясняется усложнением разворота момента диполя молекул на границах раздела ПВБ и молекул НЖК 7СВ. В таком случае длинные оси молекул 7СВ ориентируются преимущественно перпендикулярно плоскости пленки, т.е. упорядочиваются либо радиально, либо планарно относительно направлению напряженности электрического поля (E).

На рис. 7 иллюстрированы график зависимости  $\text{tg}\delta$  от  $t^{\circ}\text{C}$  для концентраций 20 и 35%-ных соотношений НЖК 7СВ в составе ПВБ матрицы. Как видно, наблюдается три области релаксации: первая при 42-44 $^{\circ}\text{C}$ , вторая, наиболее ярко выраженная, в интервале 56-67 $^{\circ}\text{C}$  и третья в области высоких температур (84-87 $^{\circ}\text{C}$ ). Величина  $\text{tg}\delta$  резко возрастает выше температуры 95 $^{\circ}\text{C}$ . Этот эффект наблюдается тем раньше, чем ниже частота электрического поля. Резкий рост  $\text{tg}\delta$  связан на наш взгляд, скорее всего, с увеличением проводимости исследуемого образца. Высокотемпературный максимум и соответствующая ему  $\alpha$ -релаксация, наблюдаемые методом диэлектрической релаксации, в нашем случае, обнаруживается впервые.

Низкотемпературная  $\beta'$ -релаксация подтверждается данными работы [Захаров А.В. Динамические и диэлектрические свойства жидких кристаллов //Физика твердого тела, 2003, том 45, вып. 1 с. 174-179]. Размытый релаксационный переход в области 84-87 $^{\circ}\text{C}$  соответствует, на наш взгляд, к  $\alpha'$ - и  $\alpha''$ - релаксационным переходам, обнаруженным в работе [Барник М.И. Диэлектрические свойства многокомпонентных смесей НЖК //Кристаллография. 1979. Т. 24, Вып. 4. С. 811-816].

При сопоставительном анализе рассматриваемых релаксационных переходов следует иметь в виду, что ДПЖК пленки являются статистическим гетерофазным полимером, содержащим в зависимости от топологической предыстории 70-90% жидкокристаллической фазы и 30-10% аморфно-кристаллической фазы.

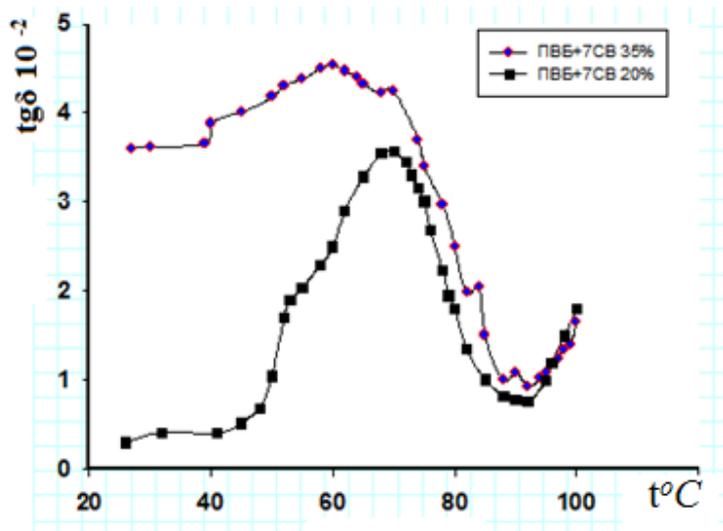


Рис. 7. Зависимость  $\text{tg}\delta$  от  $t^{\circ}\text{C}$  для ДПЖК пленок состава ПВБ+7СВ

Структура жидкокристаллической фазы описывается как нематической с плотной упаковкой, которая при плавлении переходит на изотропную фазу. По результатам работы [Green D.I. Davies G.R., Ward I.M., Alhaj-Mohammed M.H., Jawad S.A. /Mechanical and dielectric relaxations in liquid crystalline copolymers Polymer for Advanced Technologies. 1990. V.1. No 1. P. 41], релаксационные  $\beta$ - и  $\beta'$ -переходы в ДПЖК пленках обусловлены вращательной подвижностью соответственно алифатических цепей и вращение бензольных колец вокруг главной оптической оси. Эти результаты более подробно будут изложены в разделе 4 настоящей работы, а сейчас вполне достаточно указать на эффект размораживания подвижности не отдельных фрагментов алифатических цепей, а их комбинации в целом.

Таким образом, исследование электрофизических свойств ПВБ с диспергированными в них микроскопических капель НЖК 7СВ, на поведение конкретных величин  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  в температурном поле, показывает, что эффект молекулярного упорядочения директора молекул зависит от размеров и формы микрополости, а также молекулярной структуры самого ЖК.

В разделе 3.6 диссертации исследованы диэлектрические свойства диспергированных полимером капель нематика. Изучение композиционных сред, содержащих ЖК, показали, что их электрофизические свойства характеризуются локальным переходом Фредерикса и основной задачей в этих исследованиях заключается в установлении фазового перехода из твердого состояния в нематическую фазу, а также из нематическую фазу в изотропную жидкость в температурной поле. Очевидно, что данные переходы являются продолжением ориентационных эффектов молекул НЖК 7СВ при действии внешних факторов.

Аналитические сравнения результатов по диэлектрическим свойствам композитов на основе ПВБ и НЖК 7СВ, в основном происходят за счет изменения величины диэлектрической проницаемости ( $\epsilon'$ ). На рис. 8 приведены графики зависимости  $\epsilon'$  от  $t^{\circ}\text{C}$  для исследуемых нами пленок.

Видно, что с увеличением температуры наблюдается монотонное увеличение  $\epsilon$  исследуемых образцов как до температуры перехода нематик – изотропное состояние, так и после нее.

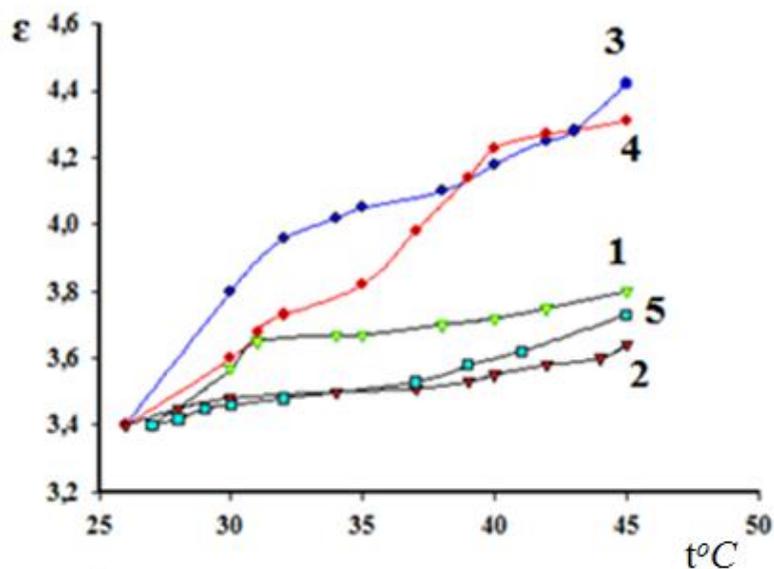


Рис. 8. График зависимости  $\epsilon$  от  $t^{\circ}\text{C}$  для ДПЖК пленок состава ПВБ+7СВ: 1) 15%, 2) 20%, 3) 25%, 4) 30%, 5) 35%.

Обнаруженный факт интерпретируется температурной зависимостью энергии сцепления на границах раздела связующего ПВБ и длинные оси молекул НЖК 7СВ, которые ориентируются в основном гомеотропно плоскостью пленки. Другими словами, они упорядочиваются либо радиально, либо планарно. Для образцов с концентрациями 15, 20 и 35% 7СВ состояние молекул ЖК при наложении электрического поля изменяются незначительно в любом направлении (кривые 1, 2, 5). Мы предполагаем, что для пленки с 25 и 30% концентрациям НЖК 7СВ, объем капель на поверхности полимера по отношению объема капель, находящиеся внутри, увеличивается. Поэтому с такой же пропорции увеличивается доля энергии, соответствующей закреплению молекул на поверхности пленки. Из-за этого, в образцах с указанными концентрациями НЖК 7СВ процесс переориентации директора начинается около температуры фазового перехода из кристаллической фазы в нематическую.

Таким образом, численный расчет точек кривых рис. 8 свидетельствует о связи внутримолекулярных конформационных движений гибких фрагментов молекул.

**В четвертой главе** диссертации приведены экспериментальные исследования особенностей характеристики ИК-спектров полимерных пленок, содержащих капли ЖК. Анализ и расшифровка ИК-спектров ДПЖК пленок является одним из важнейших вопросов в области химии и физики жидких кристаллов. Известно, что капли жидкого кристалла не изменяют внутреннюю структуру полимерной матрицы, поскольку эти два вещества не совместимы. Только прозрачный слой матричного полимера изолирует область вокруг капли жидкого кристалла, так что капля сохраняет свое положение в определенной структуре.

Результаты экспериментов представлены на рис. 9. В данном случае соотношения компонентов ПВС:НЖК 7СВ составляло относительно весовой части полимерной

матрицы 15% и 25% соответственно. Для удобства сравнения спектры поглощений исследуемых полос сдвинуты по вертикальной оси. Спектры исходного образца ПВС идентичны эталонным (стандартным) спектрам чистого полимера.

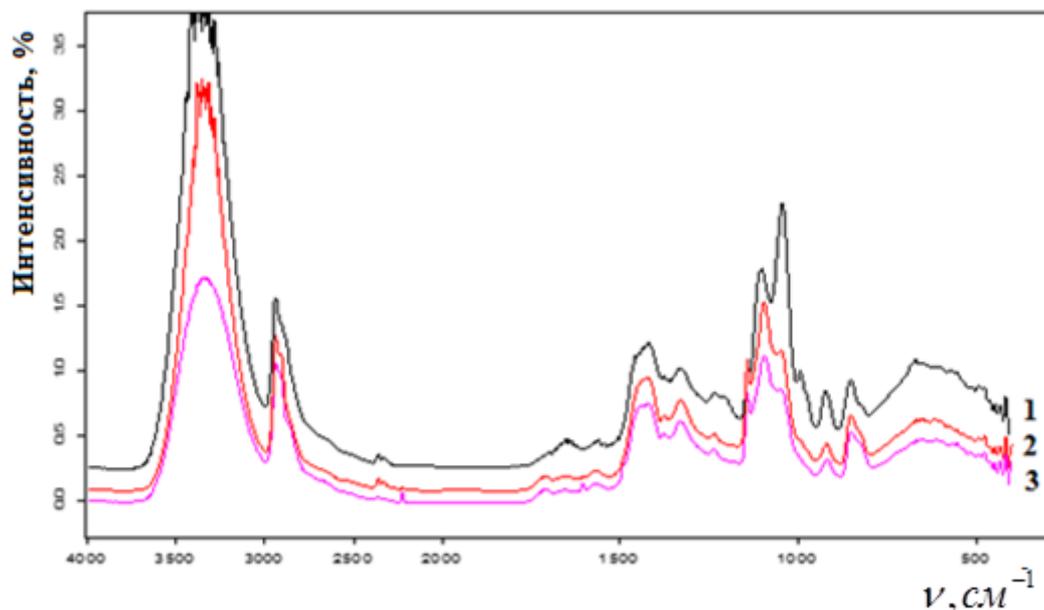


Рис. 9. ИК спектры поглощения пленок ПВС исходный 1, ПВС +7СВ (15 % 7СВ)-2, (25% 7СВ)-3 в диапазоне частот от 4000 до 400  $\text{см}^{-1}$

Из полного спектра поглощения (рис. 9, кривые 2, 3) видно, что для образцов с ПВС+НЖК 7СВ в диапазоне 2200-2225  $\text{см}^{-1}$  прослеживается полоса с небольшой интенсивностью. Она связана с валентным колебанием Q(CN) в нематическом жидком кристалле и характеризует колебанию полярной группы CN, которая непосредственно участвует в диполь-дипольном взаимодействии.

Соответственно, валентные колебания q(CN) фенильных колец и алкильной группы образуют полосы в области 2800-3100  $\text{см}^{-1}$ . Для более детального анализа спектров поглощения исследуемых образцов фрагмент этого спектра представлен на рис. 10.

Видно, что по сравнению с образцами в исходном состоянии полоса поглощения в диапазоне 800-1600  $\text{см}^{-1}$  незначительна для образцов с содержанием микроскопических капель. Это изменение основано на том, что в образцах полимерных пленок с добавками 7ЦВ наблюдается максимальная потеря интенсивности. Эти факты являются дополнительными аргументами к утверждению, что релаксационные  $\beta$ - и  $\beta'$ -переходы в ДПЖК пленках обусловлены вращательной подвижности алифатических цепей и вращение бензольных колец вокруг главной оптической оси, указанной в главе 3, во-первых, достоверны, а во-вторых, требуют более расширенного исследования.

Согласно первичному анализу, в области 1376-1418  $\text{см}^{-1}$  наблюдались две полосы малоинтенсивного поглощения, относящиеся к химической структуре ПВС и деформационными колебаниями (НСН), (ССН) группы  $\text{CH}_3$  алкильного радикала (7СВ). Если учесть, что полоса 1376  $\text{см}^{-1}$  не чувствительна к структурным превращениям, а ее дихроизм дает оценку к общей ориентации молекул НЖК 7СВ вдоль границы раздела двух фаз, то имеем основания считать, что взаимные изменения интенсивностей спектра полосы поглощения 1376  $\text{см}^{-1}$  связаны с процессами изменения ориентации молекул в центре капли по направлению растяжения.

Дальнейшее исследования инфракрасных спектров НЖК 7СВ при разных степенях относительной деформации показали, что существует два вида конформационных переходов молекулы в нематической фазе. При этом поглощение при  $1690\text{ см}^{-1}$  с ростом доли компоненты ЖК увеличивается, соответственно, происходит перераспределение интенсивности в пользу полосы поглощений при  $1740\text{ см}^{-1}$ .

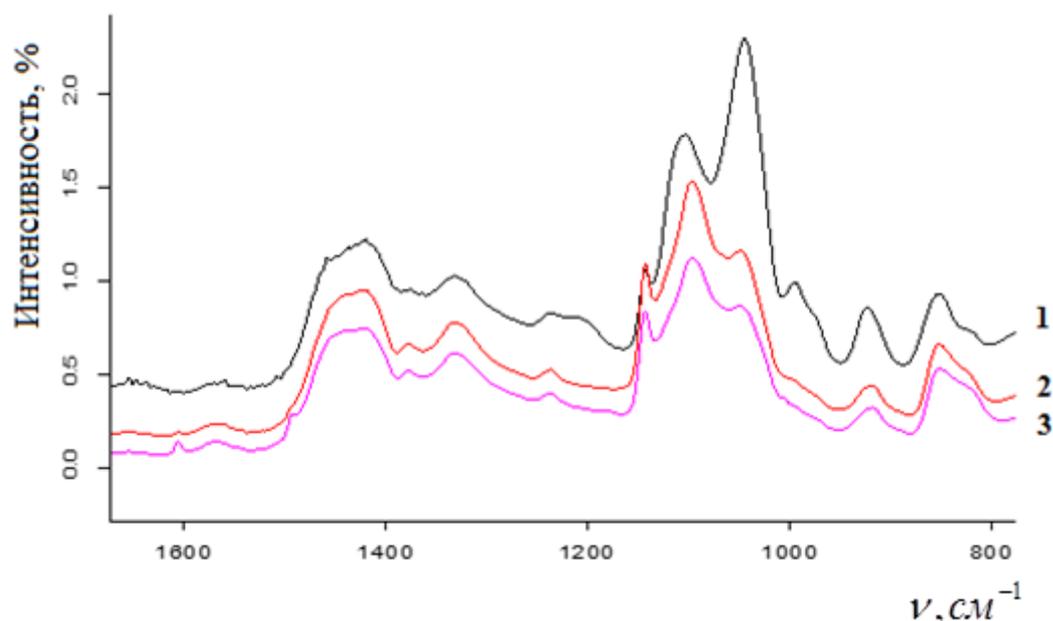


Рис.10 Фрагменты ИК спектров поглощения пленок ПВС исходный (1); ПВС+7СВ

Такие же картины наблюдаются и для полосы при  $3200 - 3500\text{ см}^{-1}$ , поэтому, угол между плоскостями бензольных колец составляет около  $45^\circ$ .

**Таблица 1.**

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

Тип колебания	Исходный		7СВ 15%		7СВ 20%		7СВ 25%		7СВ 30%	
	$\nu, \text{ см}^{-1}$	A								
$\nu(\text{C}\equiv\text{N})$	2328	110	2328	107	2330	89.4	2331	77.2	2333	66.4
$\nu_s(\text{C-O})$	1068	63.1	1068	60.3	1068	55.0	1069	50.5	1069	48.0
$\nu_{as}(\text{C-O})$	1295	274.8	1292	296.3	1289	300.6	1287	299.2	1286	296.7
$\nu(\angle \text{COC})$	529.4	17.8	529.1	16.6	528.2	14.1	527.8	11.4	528.0	8.8
$\nu(\angle \text{CC-H})_{\text{Ph}}$	1445	6.7	1442.5	3.35	1445	6.5	1438	5.8	1436	5.7
$\nu(\text{CC}, \angle \text{CC-H})$	1591	1.8	1588	1.8	1589	1.76	1588	1.7	1588	1.0
$\nu_s(\text{C-H})$	3200	19.8	3198	18.2	3192	11.0	3188	5.9	3188	7.0
$\nu_{as}(\text{C-H})$	3202	2.3	3199	3.1	3193	8.3	3189	12.0	3188	9.1
$\nu_{as}(\text{C-H})_{\text{CH}_3}$	3021	71.2	3021	70.7	320	69.5	3019	67.6	3018	65.1
$\nu(\angle \text{OCH})_{\text{CH}_3}$	1209	14.5	127	30.6	1206	48.9	1205	27.3	1204	3.6
$\nu_{as}(\delta_{\text{CH}_3})$	1480	15.2	1480	15.4	1480	14.2	1480	12.6	1480	11.9

Свободные конформационные переходы молекул 7СВ и его производных позволяют опытным путем исследовать их внутримолекулярного взаимодействия хромофорных групп. Для этой цели наиболее подходящим считается полимерно-жидкокристаллических систем при изменении состава одного из компонентов.

Характеристические частоты поглощения химических групп исследуемых полимеров (ПВБ) и интенсивность пиков зарегистрированных полос на ИК-спектрах приведены в таблице 1. Регистрированные ИК-спектры приведены на рис. 11. Сопоставительный анализ спектров показали, что в процессе фазового перехода формируется единая структура, отражающая наиболее крупные модули образований изоморфной фазы. Исключение составляет только компоненты 15% для НЖК 7СВ.

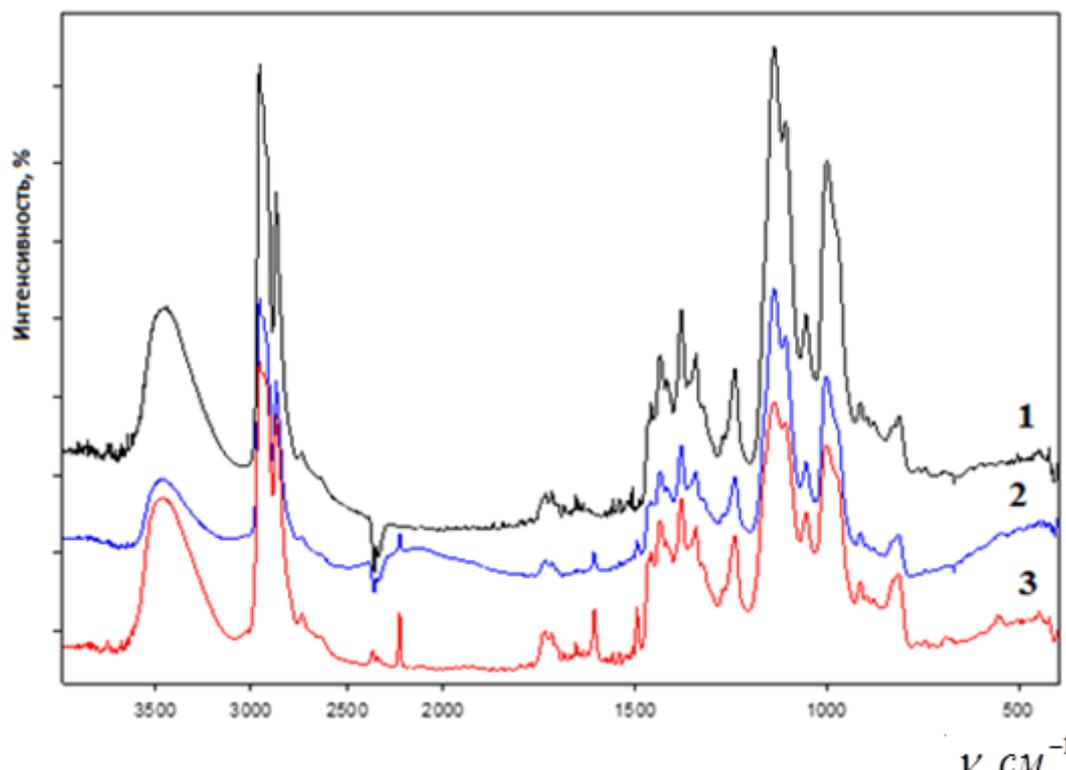


Рис. 11. ИК-спектры поглощения исходного ПВБ (1), ПВБ+7СВ (20%)–(2), 30% (3) в диапазоне частот от 4000 до 400  $\text{см}^{-1}$

Результаты расчета спектров в диапазоне 4000 – 400  $\text{см}^{-1}$  показали, что существуют сравнительно небольшое количество водородных связей, ответственных за поглощением кванта лазерного излучения. Вместе с тем, главные изменения прослеживаются и при концентрации 25%-ного содержания 7ЦВ в составе полимера. Дальнейшее увеличение концентрации НЖК 7ЦВ приводит к быстрому снижению интенсивности этой полосы практически до нуля при 30% концентрации данной компоненты.

С целью детального анализа отдельных полос поглощений исследуемого объекта, на рис. 12 показан фрагмент ИК-спектров для диапазона частот 1300-900  $\text{см}^{-1}$ . Как видно, после включения компоненты НЖК 7СВ, наличие бензольных колец подтверждает проявления дополнительного максимума в области высокочастотных колебаний, которая свидетельствует о существовании комплекса между мезофазы и изотропной жидкости.

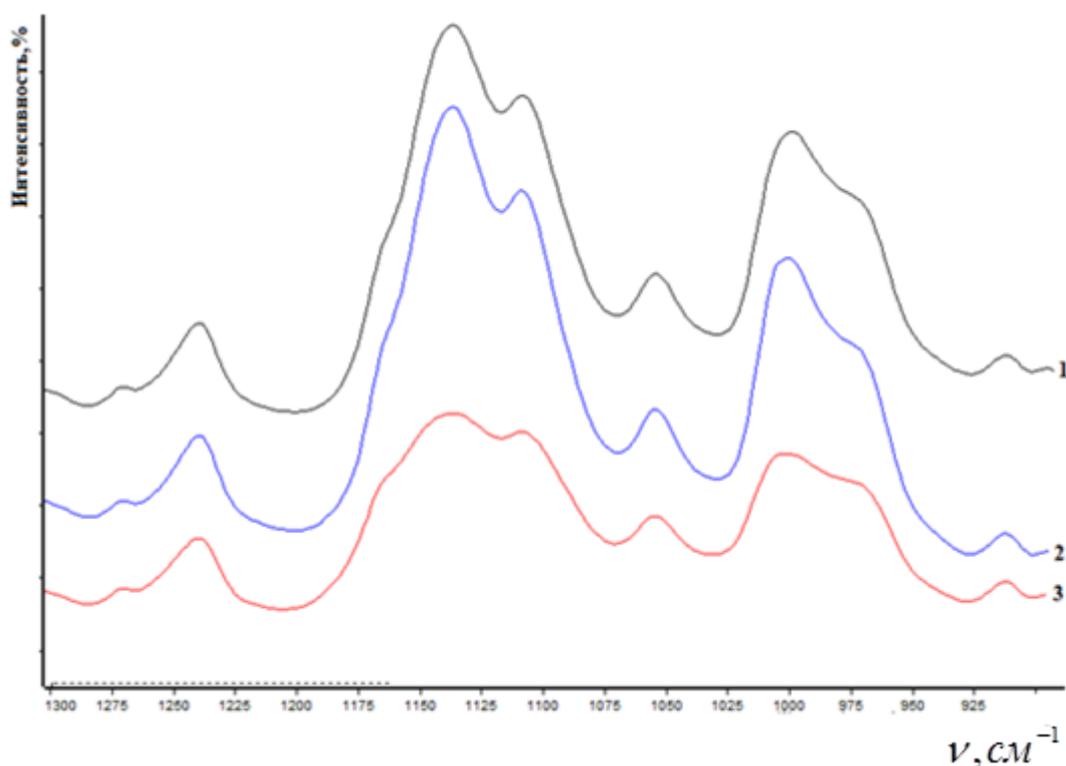


Рис. 12. Фрагменты ИК-спектров поглощения ПВБ (1), ПВБ+7СВ (20%) –(2), 30% (3) в диапазоне частот от 1300 до 900  $\text{см}^{-1}$

Таким образом, установили, что наиболее стабильной конформацией молекулы 7СВ ( $\text{X} \equiv \text{OCH}_3$ ,  $\text{OC}_3\text{H}_7$ ) в исходном состоянии считается твист-конформация с углом поворота мономерной изомерии, а после перехода к изотропной жидкости полностью восстанавливается исходная структура.

## ВЫВОДЫ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработан и предложен технологический способ приготовления смеси композитов с заданными структурами размера и формы капель, а также конфигурации молекул нематического жидкого кристалла в объеме и на поверхности полимерной матрицы [7-М, 10-М, 11-М].
2. Было обнаружено, что с возрастанием компонента НЖК прочность матричных полимеров ухудшается, что ускоряет процесс разрушения. Выявленный нами предел линейности ДПЖК пленок по механическим напряжениям соответствует уровням деформаций в указанном диапазоне в зависимости от условия эксперимента [6-М, 11-М, 21-М, 22-М].
3. Установлено, что исследования ползучести ДПЖК пленки характеризует их поведение в области нелинейной вязко-упругости при воздействии постоянной нагрузки. Они дают возможность определить интервалы напряжений, наиболее благоприятные для использования полимеров в качестве связующих и осуществления ориентации [13-М, 16-М].
4. Доказано, что для 7СВ из серии алкилцианобифенила в нематической фазе ориентируются в основном те молекулы, расположенные в середине капли и в областях

приграничной зоны двух гомогенных сред. Молекулы, расположенные вокруг боковых точечных дефектов, не реагируют на действие механических или электрических полей из-за сильного энергии сцепления между точечными дефектами и самой молекулы. [3-М, 6-М, 8-М, 20-М].

5. Установлено, что в изотропной фазе полностью исчезает анизотропность как оптической природы, так и диэлектрической. Выявленные нами процессы переориентации молекул НЖК 7ЦВ в ПВБ, связан с явлением перекачки интенсивностей в максимуме для характерных полос поглощений, ответственными за переориентации молекул на границе раздела [6-М, 8-М, 20-М].

6. Выявлено, что наиболее стабильной конформацией молекулы 7СВ ( $X \equiv OCH_3$ ,  $OC_3H_7$ ) в исходном состоянии считается твист-конформация с углом поворота мономерной изомерии, а после перехода к изотропной жидкости появляется ряд дополнительных максимумов, расположенных в низкочастотной области спектра. [4-М, 5-М, 25].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов:**

1. Экспериментальные результаты этой работы заложат основу для разработки и создания новых элементов в области фотоники и оптоэлектроники, так как их механические и морфологические характеристики комозитных пленок были значительно улучшены.

2. Разработан новейший тонкопленочный композитный материал на основе линейных полимеров и нематического жидкого кристалла типа 7ЦВ с модифицированными морфологическими характеристиками.

3. Результаты данной работы в области создания новых оптоэлектронных элементов, сенсорной технологии и индикаторных устройств рекомендованы к использованию.

4. Полученные и научно обоснованные результаты данной диссертации направлены для сравнения научных результатов в области научно-исследовательских работ на основе полимерно-жидкокристаллических композитов с учетом морфологических характеристик, изученных в данной работе.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

##### **1. Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:**

[1-А]. Каримов, С.К. Влияние солнечной радиации на механические свойства полимеров, модифицированных жидкими кристаллами /А. Абдуманонов, С.К. Каримов //Учён. зап. ХГУ, 2016, №3, с.37-41.

[2-А]. Каримов, С.К. Вобастагии мустахаммаи деформатсияшавии полиэтилен аз таъсири радиатсияи офтоб / А. Абдуманонов, С.К. Каримов // Номаи донишгохи ДДХ ба номи Б. Гафуров. 2015 №1/32, С.27-31.

[3-А]. Каримов, С.К. Исследования электрофизических свойств полимерно-жидкокристаллических пленок /П.Т. Мамаджонов, М.Х. Эгамов, С.К. Каримов //Учён.зап. ХГУ, №1-2017, С.111-114.

[4-А]. Каримов, С. К. Анализ ИК-спектров поглощения полимерных композитов, диспергированных жидкими кристаллами /С.К. Каримов, А. Абдуманонов //Ученые записки ХГУ им. акад. Б. Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд., 2019, №1, С. 29-34.

[5-А]. Каримов, С.К. Конформационные переходы в капсулированных полимером жидкокристаллических пленках /С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов. Доклады НАНТ 2022, Т.65, №1-2.-С.75-80 .

[6-А]. Каримов, С.К. Взаимосвязь диэлектрических и механических свойств плёнок на основе полимера и жидкого кристалла /С.К. Каримов //Известия НАНТ 2022, №2(187). –С.49-54.

[7-А]. Каримов, С.К. Влияние температуры на механические свойства композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла /С.К. Каримов, М.Х. Эгамов // Учёные записки ХГУ, серия естественные и экономические науки, 2022, №3(62). – С. 61-64.

[8-А]. Каримов, С.К. Влияние температуры на электрофизические характеристики полимерно-жидкокристаллических композитов /С.К. Каримов //Вестник Бохтарского государственного университета имени Н. Хусрава, серия естественных наук. №3 -2022. – С. 49-53.

[9-А]. Каримов, С.К. Температурные зависимости механических параметров полимерно-жидкокристаллических пленок /С.К. Каримов, Б.И. Махсудов //Международный научно-практический журнал. г. Алматы, Казахстан. 28-октября 2022 г. – 369-372.

## 2. Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[10-А]. Каримов, С.К. Эмульсионный способ приготовления полимерно-жидкокристаллических композиционных пленок. /М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов, С.К. Каримов //Материалы междунар.конф. «Нано - 2014», посвящённой 90 летию столицы Респ. Таджикистан города Душанбе, ТНУ, С.30-34.

[11-А]. Каримов, С.К. Влияние формы и размер капель нематика на прочность полимерного композита /С.К. Каримов //Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы современной физики», посвященной 75-летию профессора Х. Абдуллозаде, г. Худжанд С. 190 – 191.

[12-А]. Каримов, С.К. Омӯзиши мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии полимерҳои хаттӣ барои матритсаи композитӣ /С.К. Каримов //Респ. науч. конф. «Современные проблемы физики конденсированного состояния», г. Душанбе, 2015, с. 124-125

[13-А]. Karimov, S.K. Deformation behavior of polymeric liquid-crystalline films in a creep mode /S.K. Karimov, A. Abdumanonov, M.Kh. Egamov //The book of abstracts 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), June 19-21, 2017; Saint Petersburg, Russia.-St. Petersburg: Poly-technical Publishing House. 2017. – p. 170.

[14-А]. Каримов, С.К. Исследования механических свойств капсулированных полимером жидкокристаллические пленки /С.К. Каримов //Маводи конференсияи илмӣ-амалии «Рушди фанҳои табиатшиносӣ дар давраи Истиклолияти ЧТ», бахшида ба 80-солагии профессор М.М. Акрамова, 04.01.2017. ш. Бӯстон: ДКМТ, 2017 сах. 40.

[15-А]. Каримов, С.К. Температурные зависимости электрофизических параметров полимерно-жидкокристаллических композитов /С.К. Каримов, А. Абдуманонов, Э. Ч. Шаимов // Межд. конф. 80 - лет Хакимов Ф., ТНУ. г. Душанбе, 2017- С. 222-224.

- [16-А]. Каримов, С.К. Деформационные свойства полимерно-жидкокристаллических пленок в режиме ползучести /С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов //Матер. Международной научной конференции, посвященной 80-летию профессора Нарзиева Б.Н., ТНУ. г. Душанбе, 2018 – С. 58-59
- [17-А]. Каримов, С.К. Жидкокристаллические волноводные элементы с различной топологией модуляции границы раздела мезофаз /А. Мирсоков, С.К. Каримов // Республиканская научно-практическая конференция, посвященная к «Году развития и туризма и народных ремесел» Роль естественно-математических наук в развитие промышленности Таджикистана. Бустон, ГМИТ, 2-июня 2018, с 105-106.
- [18-А]. Каримов, С.К. Таъсири катраи нематик ба характеристикаи спектралии спирти поливинил /С.К. Каримов, А. Абдуманонов //Маводҳои конф. илмӣ-амалии “Муаммоҳои муосири илмҳои дақиқ ва нақши он дар ташаккули ҷаҳонбинии илмӣ ҷомеа” Худжанд 26-27 октябри 2018 г., - с.. 370-371.
- [19-А]. Каримов С.К. Исследование влияния капли нематика на спектральные характеристики поливинилбутираля /С.К. Каримов //Матер. VI Междунар. конфер. «Современные проблемы физики», посвящ. 110 летию академика С.У. Умарова и 90-летию академика А.А. Адхамова, Душанбе, 28-30 июня 2018 г. –Душанбе, 2018. С.281-284.
- [20-А]. Каримов, С.К. Особенности диэлектрических свойств композитов на основе полимера и жидкого кристалла /Каримов С.К. //Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии» г. Минск, 23-27 августа 2021 г.- с. 95-96
- [21-А]. Каримов, С.К. Особенности механических свойств композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла //С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов Материалы Симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. Душанбе:, 2021, с. 60-62
- [22-А]. Каримов, С.К. Влияние скорости нагружения на прочность композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла /С.К. Каримов //LXIV Международная конференция «Актуальные проблемы прочности» 4 - 8 апреля, 2022 года, Екатеринбург, Россия, с. 49-51
- [23-А]. Каримов, С.К. Электрофизические свойства нематических жидких кристаллов в составе полимерной матрицы /С.К. Каримов //Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук – Душанбе: РТСУ, 2022. - С. 125-127.
- [24-А]. Каримов, С.К. Получение микрополяризаторов на основе капсулированных полимером жидкокристаллических пленок / У.Дж. Рахимова, С.К. Каримов, М.Х. Эгамов //IV Международная научно-практическая конференция «НАУКА и ТЕХНОЛОГИИ» /сост.: Р. Дүйсенбин и.т.д – г.Алматы, Казахстан, 2022 – с.130-135.
- [25-А]. Каримов, С.К. Конформационный анализ полимерно-жидкокристаллических систем по данным ИК-спектроскопии /С.К. Каримов, Б.И. Махсудов //Междунар. конфер. «Мақоми физика дар рушди илм, маориф ва инноватсия» посвящ. «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (2020-2040 гг)», ТНУ, 27.10.2022.- С. 100-102.

## АННОТАЦИЯ

диссертации Каримова Сорбона Каримовича, на тему “Структура и физико-механические свойства полимерных плёнок диспергированных жидким кристаллом” представленную к защите в диссертационный совет 6D.КOA-056 при Таджикском национальном университете на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

### 01.04.07 Физика конденсированного состояния

**Ключевые слова:** полимер, жидкий кристалл, механические напряжения, разрывная прочность, ИК-спектры, капля, одноосная растяжения, деформация, ориентация, диэлектрическая проницаемость, температура, текстура, поляризационный микроскоп.

**Актуальность диссертационной работы.** В последнее время проведен ряд оригинальных исследований, нацеленных на разработку и изучения ЖК структур с управляемым поверхностным сцеплением. Однако до сих пор существует научная проблема создания композитных пленок КПЖК с оптимальными структурными и механическими свойствами. Это ситуация во многом определяет научную значимость результатов представляемого исследования, поскольку ко времени его завершения предполагается получить комплекс экспериментальных и теоретических данных, подробно описывающих физические механизмы протекающих эффектов.

**Объект исследования:** В качестве объекта исследования использовались пленки капсулированного полимером жидкого кристалла. Как компонент ЖК использовался широко известный нематик 4-н-гептил-4'-цианобифенил (7ЦВ) с температурой просветления  $T_c=42,5^\circ\text{C}$  и показателя преломления исследуемого 7ЦВ:  $n_e=1.725$  и  $n_o=1.534$  при температуре  $T=25^\circ\text{C}$  и длин волн  $\lambda=0,633$  мкм. В качестве полимерной матрицы были использованы два полимера: поливинилбутираль (ПВБ) и поливиниловый спирт (ПВС).

**Цель работы.** Разработка и исследование методики формирования композитов на основе многофункциональных полимеров и НЖК (7ЦВ) для определения зависимости морфологических характеристик (физико-механических и электрофизических) пленок от состава исходной композиции и других параметров технологического режима.

#### Полученные результаты и их новизна:

1. Впервые на эксперименте изучены и научно обоснованы морфологические и физико-механические характеристики полимерно-жидкокристаллических плёнок в зависимости от соотношения компонентов и других параметров внешнего поля.
2. Обнаружено, что с ростом содержания компоненты ЖК на поверхности полимерной матрицы его прочность в некоторой степени снижается.
3. Выявленные процессы переориентации молекул НЖК 7ЦВ в связующей полимерной матрице ПВБ связаны с конкуренцией молекулярных и электростатических взаимодействий алкильных цепей и дипольных моментов на границе раздела двух сред.

#### Область применения:

1. Экспериментальные результаты этой работы заложат основу для разработки и создания новых элементов в области фотоники и оптоэлектроники, так как их механические и морфологические характеристики композитных пленок были значительно улучшены.
2. Разработан новый композиционный материал на основе полимерной пленки и нематических жидких кристаллов типа 7ЦВ с модифицированными морфологическими характеристиками.

3. Предложенные научные выводы направлены на сравнение результатов в области оптоэлектроники и дисплейной техники для композитов на основе полимерно-жидкокристаллических систем с учетом морфологических характеристик, изученных в настоящей работе.

#### ABSTRACT

**dissertation of Karimov Sorbon Karimovich, on the topic “Structure and physical-mechanical properties of polymer films dispersed by liquid crystal” submitted for defense to the dissertation council 6D.KOA-056 at the Tajik National University for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialty 01.04.07 Condensed state physics**

**Keywords:** polymer, liquid crystal, mechanical stresses, breaking strength, IR spectra, drop, uniaxial tension, deformation, orientation, permittivity, temperature, texture, polarizing microscope.

**The relevance of the dissertation work.** Recently, a number of original studies aimed at the development and study of LC structures with controlled surface anchoring have been carried out. However, there is still a scientific problem of creating composite films CFLC with optimal structural and mechanical properties. This situation largely determines the scientific significance of the results of the present study, since by the time of completing, it is supposed to obtain a set of experimental and theoretical data that describe in detail the physical mechanisms of the occurring effects.

**Object of study:** Films of liquid crystal encapsulated by polymer were used as the object of study. The well-known nematic 4-n-heptyl-4'-cyanobiphenyl (7CB) with a clearing temperature  $T_c=42.5^\circ\text{C}$  and refractive indices of the studied 7CB:  $n_e=1.725$  and  $n_o=1,534$  at a temperature  $T=25^\circ\text{C}$  and wavelength  $\lambda$  was used as a component of the LC.  $=0.633\ \mu\text{m}$ . Two polymers were used as the polymer matrix: polyvinyl butyral (PVB) and polyvinyl alcohol (PVA).

**The purpose of the work.** Development and study of a technique for the formation of composites based on multifunctional polymers and NLC (7CB) to determine the dependence of the morphological characteristics (physical, mechanical and electrophysical) of films on the composition of the initial composition and other parameters of the technological regime.

#### **The results obtained and their novelty:**

1. For the first time, the morphological and physico-mechanical characteristics of polymer-liquid-crystal films depending on the ratio of components and other parameters of the external field were studied and scientifically substantiated in the experiment.

2. It was found that with an increase in the content of the LC component on the surface of the polymer matrix, its strength decreases to some extent.

3. The revealed processes of reorientation of NLC 7CB molecules in the PVB binder polymer matrix are associated with the competition between molecular and electrostatic interactions of alkyl chains and dipole moments at the interface between two media.

#### **Application area:**

1. The experimental results of this work will lay the foundation for the development and creation of new elements in the field of photonics and optoelectronics, since their mechanical and morphological characteristics of composite films have been significantly improved.

2. A new composite material based on a polymer film and nematic liquid crystals of the 7CB type with modified morphological characteristics has been developed.

3. At the same time, they are aimed at comparing scientific results in the field of research work based on polymer-liquid crystal composites, taking into account the morphological characteristics studied in this work.