

**АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА**

*На правах рукописи*

**МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО  
МАГНИТНЫМИ ЧАСТИЦАМИ БЕНТОНИТА И  
ПОЛИЭТИЛЕНА**

Специальность: **2220.01- «Физика полупроводников»**

Отрасль науки: Физика

**Соискатель: Иманова Севиндж Рамазан кызы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени доктора философии  
по физике

**Гянджа 2021**

Диссертационная работа была выполнена в Институте Физики НАН Азербайджана в лаборатории 1.8 "Физика и техника высоких напряжений".

**Научный руководитель:** Ведущий научный сотрудник  
Института физики НАН доктор  
физико-математических наук  
**Шамистан Махмуд оглы Гасанлы**

**Официальные оппоненты:**

Доктор физико-математических наук,  
профессор **Огтай Бахадыр оглы Тагиев**

Доктор физико-математических наук,  
профессор **Адиль Полад оглы Абдуллаев**

Доктор физико-математических наук,  
профессор **Рахим Салим оглы Мадатов**

Диссертационный совет ED 1.14 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий на базе Института Физики НАН.

**Председатель**  
диссертационного совета:

Действительный член НАНА  
доктор физико-математических наук,  
профессор **Мамедов Назим Тимур оглы**

**Ученый секретарь**  
диссертационного совета:

Доктор физических наук, доцент  
**Мехтиева Рафига Забил кызы**

**Председатель**  
научного семинара:

Доктор физико-математических наук,  
профессор **Мехтиев Талат Рзагулу оглы**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы и степень изученности темы.** Одним из важных направлений в полупроводниковой электронике, является создание устройств, работающих при высоких частотах электромагнитных полей, температурах, излучениях и т. д.. В последние годы интенсивно развиваются исследования процессов получения композиционных материалов на основе полимеров и природных слоистых силикатов. Полимерные композитные материалы обладают рядом особенных свойств, за счет чего получили широкое применение в микроэлектронике, информационных системах и т.д.. Взаимодействия на межфазных границах приводят к изменению свойств отдельных компонентов систем в целом, в результате чего композиционные материалы приобретают принципиально новые свойства, а это в свою очередь приводит к увеличению возможностей их практического применения. Аналогично и модифицированные магнитными наноразмерными частицами бентонитовые композиты могут быть широко использованы в различных областях электро-радиотехнике в качестве полупроводниковых и диэлектрических материалов. Для создания датчиков электрических и магнитных полей дросселей, трансформаторных, антенных сердечников и радиопоглощающих материалов. Дисперсность ферритов  $Fe_2O_3$  позволяет рассматривать эти вещества как эффективные сорбенты. Структура и распределение наночастиц ферритов  $Fe_2O_3$  может создаваться под действием внешнего магнитного поля. Для каждого материала используемого для изготовления различных электронных устройств, одним из важных электрофизических характеристик является удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , которое определяет электропроводимость данного материала. Это обстоятельство позволяет применить рассмотренную во многих работах, перколяционную модель для описания электрических и магнитных свойств неоднородной среды. Применение теории

перколяции позволяет создать такое распределение частиц, что возникающие свойства образца могут решить поставленные задачи. При этом определяя параметры, порога перколяции, электрические и магнитные свойства ограничиваются некоторой областью перколированной среды. Геометрические характеристики фрактального множества, по которому проходит протекание около порога перколяции, определяются законам критичности.

Характеристики нанокompозитных сред имеют существенные отличия от параметров отдельных наночастиц, входящих в состав композитных материалов. Множество нанокластеров образуют нанокompозитную среду с эффективными диэлектрическими и магнитными проницаемостями. Такие наноструктуры называется моделью эффективной среды и имеют особое значение в физике нанокompозитов.

Учитывая указанные выше их преимущества, исследование электрофизических и магнитных свойств композитных магнитных материалов и построение на их основе сердечников, датчиков магнитных полей сверхвысокой частоты и мощности является актуальным. Одним из важнейших параметров является их быстроедействие, определяемое во многом скоростью релаксационных процессов. В связи с этим важно изучать механизмы поляризации и температурных зависимостей поляризационных процессов в изучаемых материалах.

Температурные исследования релаксационных процессов в бентонитовых нанокompозитах с ферритовым наполнителем  $Fe_2O_3$  на высоких частотах и температурах мало исследованы. По этой причине изучение электрических и магнитных свойств композитных магнитных материалов на высоких частотах и в широком температурном диапазоне представляется нам актуальным.

Все вышеперечисленные обстоятельства и обусловили актуальность темы данной диссертационной работы.

**Цель работы.** Установление взаимосвязи закономерностей процессов переноса носителей тока и изучение

диэлектрических, электрофизических, магнитных свойств бентонитовых композитов с полимерной матрицей и с ферритовым  $Fe_2O_3$  наполнителем во внешнем переменном электрическом и магнитном поле в зависимости от температуры, частоты, с целью создания на их основе элементов наноэлектроники, энергетики и электро-радиотехники и др.

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

- ✓ Обзор и анализ литературных данных по данной теме и бентониту.
- ✓ Выбор технологии и установление режимов получения тонкопленочных композитов основе бентонита и полиэтилена, а также бентонитовых образцов с ферритовым ( $Fe_2O_3$ ) наполнителем.
- ✓ Исследования частотных и температурных зависимостей в интервале температур (300-600)К диэлектрических, электрофизических свойств композитов с составом (5-75)% бентонита и (95-25)% полиэтилена.
- ✓ Создание перколяционной модели созданных бентонитовых композитов и определение их перколяционных параметров.
- ✓ Исследования влияния размера частиц компонентов бентонитовых композитов на их диэлектрические, электрофизические и магнитные свойства.
- ✓ Исследование диэлектрических, электрофизических и магнитных свойств бентонита-ферритовых ( $Fe_2O_3$ ) композитов во внешнем электрическом и магнитном поле в интервале температур (77-500)К и электропроводности в интервале (300-600)К.

**Методы и объект исследования.** Для выполнения диссертационной работы объектом исследования явились бентонитовые композиты с полимерной матрицей, и композиты с ферритовым наполнителем  $Fe_2O_3$ . Все исследования проведены на современных экспериментальных приборах имеющих высокую измерительную точность. Исследования проводились для чистого бентонитового образца с толщиной

6,5мм, композитов с толщиной 150мкм-180мкм процентное содержание которых менялась в интервалах 5-70% (БТ) и 95%-30%(ПЭ), а также для цилиндрических бентонитовых образцов с  $Fe_2O_3$  длиной 16мм и диаметром 7мм. Микрофотографии поверхностей композитов были сделаны на микроскопе фирмы Альтами. Дифрактограммы бентонитовых порошков были получены на дифрактометре XRD-D8 фирмы *Broker* на  $CuK_{\alpha}$  излучении. Измерения емкости  $C$ , сопротивлений  $R$ ,  $Z$ , и диэлектрических потерь  $D$  композитов проводились с помощью цифрового измерителя иммитанс, на основе которых вычислялись диэлектрические параметры  $\epsilon$ ,  $tg\delta$ ,  $\epsilon''$   $\epsilon'$ , и электропроводность  $\sigma$  бентонитовых образцов.

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

- Ярко-выраженная дисперсии диэлектрических параметров в низкочастотной области электрического поля, в бентонитных композитах с полимерной матрицей различного состава, объясняется механизмом поляризации Максвелла–Вагнера.
- Изменение величины удельного сопротивления бентонитных композитов возникает как следствие изменения содержания бентонита.
- Бентонитовые образцы различного состава с полимерной матрицей проявляют чувствительность к частотным и температурным изменениям.
- Перколяционная модель объясняет магнитные, электрические и диэлектрические свойства бентонито-ферритовых  $Fe_2O_3$  композитов различных составов, электрические свойства которых описываются моделью Эфроса – Шкловского.
- Механизм проводимости в бентонито-ферритовых ( $Fe_2O_3$ ) композитах носит зонный характер. В композитах при температуре (300-500)К зависимость  $\ln \sigma = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  указывает на полупроводниковый характер.

- Фазовый переход магнитных образцов с составом 50%БТ+50%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 40%БТ+60%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наблюдается при температуре (320-340)К называемой температурой Кюри, при котором магнитные образцы переходят в состояния парамагнитности.
- Уменьшение размеров ферритовых частиц Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и частиц бентонита оказывает влияние на диэлектрические, электрофизические и магнитные свойства бентонито-ферритовых композитов.
- Выявление ОМС в бентонито-ферритовых композитах, которая изменяется с ростом размера ферритовых частиц.

#### **Научная новизна работы.**

- Исследованы закономерности дисперсии диэлектрических параметров бентонитовых композитов в частотном диапазоне (25–10<sup>6</sup>) Гц переменного электрического поля.
- Электрофизические и магнитные свойства бентонитовых композитов объясняются в рамках перколяционной модели с учетом теории Эфроса – Шкловского.
- Исследованы электрофизические характеристики композитов, на основе полиэтилена (ПЭ) и бентонита (БТ), и влияние объемного содержания наполнителя на ВАХ и на величину удельного сопротивления (при фиксированном напряжении).
- Исследовано влияние температуры отжига на электрофизические и диэлектрические свойства бентонитовых образцов отожженных при температуре: 400<sup>0</sup>С, 500<sup>0</sup>С, 600<sup>0</sup>С, 800<sup>0</sup>С, 1000<sup>0</sup>С.
- Исследованы температурные зависимости диэлектрических и электрофизических параметров композитов. Обнаружен, температурный гистерезис зависимостей диэлектрических параметров композитов 30%(БТ)+70%ПЭ и 50%(БТ) +50%ПЭ.
- Исследованы частотные и температурные зависимости диэлектрических, электрофизических и магнитных параметров бентонитовых композитов на переменном электрическом и магнитном поле.

- Исследовано влияние размера магнитных частиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на величину ОМС в исследуемых бентонитовых образцах, и уменьшение ОМС с ростом переменного магнитного поля.

### **Научная и практическая ценность работы:**

Проведенные исследования позволили получить сведения: о механизме проводимости носителей тока, о диэлектрических параметрах, о магнитных характеристиках композитов, о влиянии различных факторов на электрофизические диэлектрические и магнитные характеристики в исследованных композитах. Бентонитовые композиты с полимерной матрицей и с ферритовым  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  наполнителем могут успешно использоваться в микроэлектронике, электрорадиотехнике и т.д.. На основе полученных композитных материалов можно будет изготовить низковольтные, малоэнергоемкие, дешевые, варисторные, а также другие элементы. Можно применять как электронный частотный ключ в области резкого уменьшения сопротивления при (150-160)кГц, и в качестве ограничителя перенапряжения при росте сопротивления при ( $f > 160$  кГц). В этом случае при низких значениях частоты сопротивление не препятствует течению тока, а при больших значениях  $f$  оно будет играть роль поглощающего фильтра. Бентонито-ферритовые  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  образцы с высокими значениями  $\mu$  и малыми потерями в области низких частот, могут применены для радиокомпонентов высокочастотной аппаратуры, для создания трансформаторных антенных сердечников, дросселей, и т.д.. Образцы с малыми значениями  $\mu$  в области высоких частот полезно используется при создании радиопоглощающих материалов. Линейная зависимость намагниченности бентонито-ферритовых композитов характерна для магнитодиэлектриков, которые широко применяются в качестве сердечников в колебательных контурах электро-радиотехнике. Элементы с ОМС на основе бентонита и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  могут быть применены в качестве поглотителей электромагнитных волн.



### **Апробация работы.**

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и республиканских конференциях:

- Gənc alimlərin II beynəlxalq elmi konfransı. // Влияние модификации на магнитные характеристики композитов на основе магнитных частиц и бентонита. (Gəncə Dövlət Universiteti 2017).
- Respublika Beynəlxalq Elmi Konfras Müasir təbiət Elmlərinin Aktual Problemləri. //Диэлектрические свойства композитов на основе магнитных микронаночастиц и бентонита. (Gəncə Dövlət Universiteti 2018).
- Международная научно-практическая конференция Discovery Science Research. //Температурная зависимость магнитных параметров композитов модифицированных магнитными частицами. (Петразаводск 2020).
- Международная научно-практическая конференция IV European Science forum. // Влияние размера частиц на магнитные характеристики композитов на основе бентонита и магнитных нано-макрочастиц. (Петразаводск 2020).

**Опубликованные научные работы.** По теме диссертационной работы было опубликовано 13 научных работ, 9 из них являются научной статьей (4 из которых входят в систему международного индекса Springer и Импакт фактор), и 4 из них являются конферасным материалом.

**Структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основных выводов и списка использованной литературы. Работа изложена на 162 страницах, включая 9 таблиц, 16 рисунков, 77 графиков и списка использованных литературных ссылок в количестве 136 наименований.

Диссертационная работа была выполнена в лаборатории 1.8 " Лаборатория физики и техники высокого напряжения" Института Физики НАН Азербайджана.

## Содержание работы.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы и решаемые в соответствии с ней задачи, изложены выносимые на защиту основные положения, отмечена практическая ценность и научная новизна полученных результатов, изложено кратко по главам содержание диссертации.

**Первая глава** посвящена обзору литературных данных по бентониту и наполнителям. Особого внимания требует состав бентонитовой глины  $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ , так как он имеет многокомпонентный состав и 32% всего веса составляют Si, Fe- 4,43%, Mg-2,22%, Al-8,29% и т.д. Кремнекислородный тетраэдр  $[SiO_4]^{4-}$  является основной структурной единицей глин. Эти структуры более слабыми ионными силами скрепляются со слоями  $Mg(OH)_2$  или  $Al(OH)_3$ , компенсирующими отрицательный заряд комплексного аниона.

Из анализа литературных данных установлено, что физико-магнитные свойства нанокмозитов на основе полимеров, магнетитов и бентонитов исследованы недостаточно. Выявлен круг задач, решение которых актуально.

**Во второй главе** рассматривается применение теории перколяции для исследования прохождения переменного тока в перколированной среде-диэлектрической бентонитовой матрице с ферромагнитным наполнителем  $Fe_2O_3$ . На основе теории Эфроса – Шкловского исследованы электрические и магнитные взаимодействия в перколированной среде.

Перколированная среда (p- $Fe_2O_3$  и (1-p) - БТ) помещалась в слабое магнитное поле причем ферритовые частицы изолированы между собой диэлектрической прослойкой.

Анализируя результаты теоретических и экспериментальных исследований, в данной работе рассчитаны величины магнитной проницаемости  $\mu$ ,  $\mu'$  и  $\mu''$  и  $\sigma$  перколированной среды, с различными долями наполнителя- $Fe_2O_3$ .

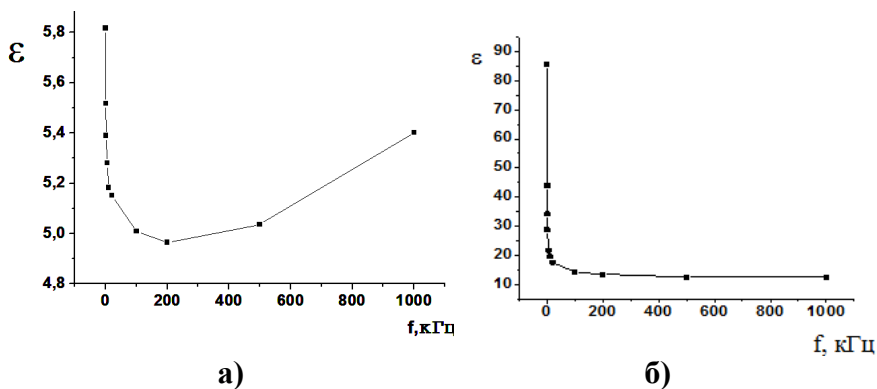
Описывается измерения магнитной восприимчивости магнитных композитов методом Фарадея и методы синтеза композиций на основе бентонита и полимеров, а также композитов на основе бентонита и магнитных частиц (ферритов  $Fe_2O_3$ ). Для смешивания первичных продуктов полимера и наполнителя  $Fe_2O_3$  используется более простой и универсальный метод смешивания, в результате чего получается гомогенная смесь компонентов. Процесс смешивания осуществляют в сухом виде с помощью микромельниц. Для получения композитных нелинейных резисторов на основе бентонита в основном используются следующие технологические методы: горячее прессование, экструзия и осаждение. Метод горячего прессования увеличивает область применения нелинейных резисторов. Например, можно создавать элементы, которые ограничивают перенапряжение в устройствах высокого напряжения. Метод горячего прессования позволяет синтезировать образцы с разной толщиной и т. д..

**В третьей главе** исследованы частотные и температурные зависимости диэлектрических и электрофизических свойств бентонитовых образцов на переменном электрическом поле.

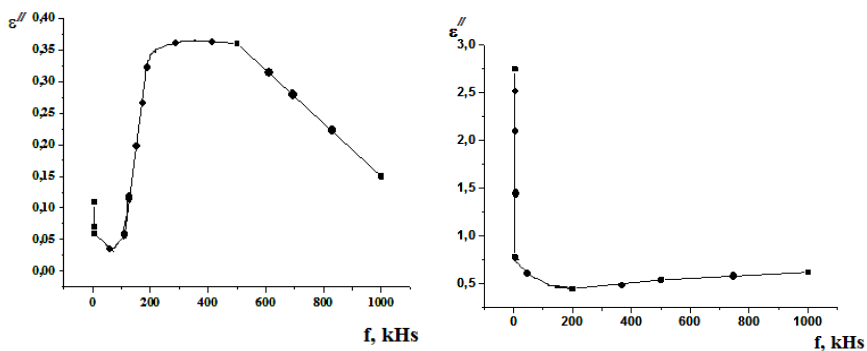
Для исследования частотной зависимости диэлектрических параметров бентонитовых композитов были изготовлены композиты из порошков бентонита и полиэтилена, которые предварительно был измельчены в шаровой мельнице Fritsch с фарфоровыми шарами. Композиты, были получены из гомогенной смеси компонентов путем горячего прессования при температуре  $140^\circ\text{C}$  и давлении 15 МПа. Содержание композитов варьировалось в диапазоне (5-70)%БТ и (95-30)%ПЭ соответственно. Толщина образцов составляла (150-180)мкм.

В результате исследований было установлена в композитах ярко-выраженная дисперсия диэлектрических параметров (граф.1, 2). Частотные зависимости  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$

указывают на возникновение в композитном материале при воздействии на его переменного поля, несколько видов поляризации, причиной которого является неоднородность материала. В данной зависимости проявляются дипольно-миграционные поляризации Максвелла-Вагнера (график 2). Значение  $\epsilon$  и  $\epsilon''$  чистого бентонита и бентонитовых композитов показаны в таблице 1.

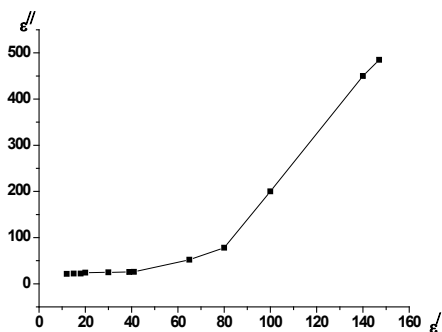


**График 1.** Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты переменного поля. а) 5%БТ+95%ПЭ, б) 55%БТ+45%ПЭ

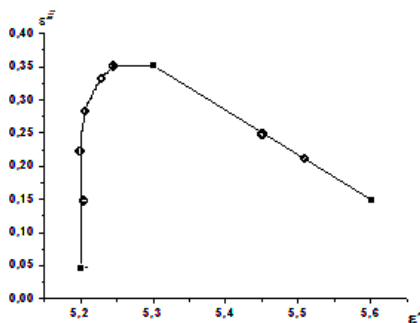


**График 2.** Частотная зависимость мнимой части диэлектрической проницаемости на переменном поле а) 20%БТ+80%ПЭ б) 40%БТ+60%ПЭ.

В зависимости  $\epsilon$ ,  $\epsilon''$  и  $D$  от частоты (график 1, 2, 3, 4) видно, что максимум наблюдается при низких значениях частоты, что указывает на появление межфазной поляризации за счет мигрирующих зарядов на границе раздела полиэтилена и бентонита. На графике 3 показаны зависимости  $\epsilon'' = f(\epsilon')$  описываемые диаграммой Коул-Коула, замечается отличие диаграммы от окружностей при больших значениях частоты, что объясняется наличием множества времен релаксации из-за неоднородности данного композитного материала, а так же образованием сквозной проводимости. В данной зависимости не обнаружены явления диэлектрической релаксации, которые были предсказаны моделью Дебая. Для композитов более 40% бентонита эта зависимость  $\epsilon'' = f(\epsilon')$  указывает на существование миграционной поляризации в данном материале.

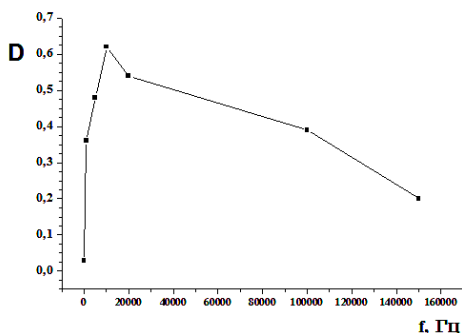


а)



б)

**График 3.** Диаграмма Коул-Коула для композитов а) 70% БТ + 30% ПЭ б) 20% БТ + 80% ПЭ

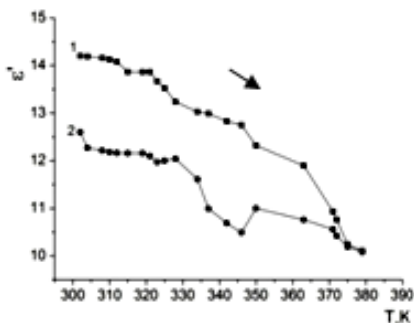


**График 4.** Частотная зависимость диэлектрических потерь для композита 55%БТ+45% ПЭ.

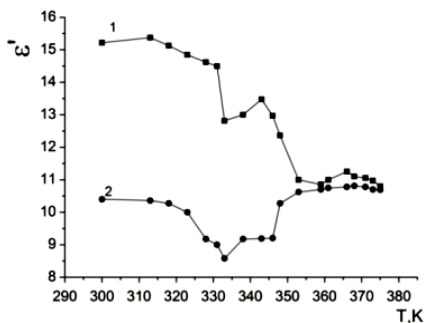
**Таблица 1.** Значение диэлектрической проницаемости и мнимой части диэлектрической проницаемости  $\epsilon''$  чистого бентонита и бентонитовых композитов.

f, кГц	Чистый бентонит		5%БТ+95%ПЭ		30%БТ+70%ПЭ		55%БТ+45%ПЭ		70%БТ+45%ПЭ	
	$\epsilon$	$\epsilon''$	$\epsilon$	$\epsilon''$	$\epsilon$	$\epsilon''$	$\epsilon$	$\epsilon''$	$\epsilon$	$\epsilon''$
0,025	1117,6	858,53	5,9	0,14543	8,9	0,45	85,44	25,3	558	535,33
0,5	644,54	196,43	5,52	0,06622	8,53	0,31	43,94	19,7	255,6	232,69
1	597,76	155,82	5,39	0,05389	8,34	0,2749	34,2	14,1	136,8	106,83
5	514,6	100,92	5,58	0,0558	8,64	0,2674	28,81	10,7	105,6	76,47
20	483,40	81,02	5,21	0,05666	8,1	0,2335	21,65	6,1	58,8	34,98
100	470,41	74,322	5,6	0,42578	7,97	0,2309	19,47	4,9	47,4	25,56
200	400,24	70,91	5,02	0,49152	7,78	0,1787	17,58	4,12	39,36	18,97
500	384,64	75,44	4,98	0,31729	7,72	0,1697	14,16	2,78	25,83	10,41
1000	337,1	87,87	5,05	0,2183	7,82	0,1716	13,51	2,3	23,646	8,21

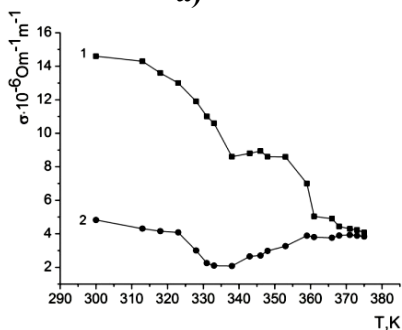
В температурной зависимости диэлектрических параметров и электропроводности композитов обнаружен температурный гистерезис (график 4 а,б,в,г). Объяснением этому может служить существование фазового перехода ( $T > 360\text{K}$ ) полимерной матрицы. При охлаждении от высокой температуры до  $360\text{K}$  кривые зависимостей  $\epsilon'$ ,  $D$  и  $\sigma$  и кривые нагрева совпадают. А это означает, что температурный гистерезис происходит при температуре  $< 360\text{K}$ . Причем величины  $\epsilon'$ ,  $D$  и  $\sigma$  (график 4 а,б,в г) принимают различные значения при одинаковых значениях температуры, а именно, эти величины больше при нагревании образцов, нежели при охлаждении. Обнаруженный эффект связан с эффектом, асимметрии температурной эволюции электрически активных дефектов. Считаем, что общей закономерностью полученных зависимостей, является повышение энергии активации с ростом температуры (процесс нагрева), за счет чего происходят переходы носителей заряда на новые энергетические уровни. Но при уменьшении температуры (процесс охлаждения), в нашем случае до комнатной, происходит уменьшение энергии активации, за счет чего уровни Ферми внутри запрещенной зоны образца начинают смещаться, и поэтому заряды, захваченные на ловушках, освобождаются, изменяя тем самым диэлектрические и электрофизические свойства среды. Такое поведение композита может быть связано с термостимулированным процессом перераспределения заряда на границе частица-матрица, его накоплением на более глубоких ловушках и, как следствие, возникновение неравновесных состояний среды. Установлено, что высоконаполненные композитные системы весьма чувствительны к температурным и частотным изменениям и могут представлять интерес для практического применения в различных областях техники, например, в датчиках температуры и т.д.



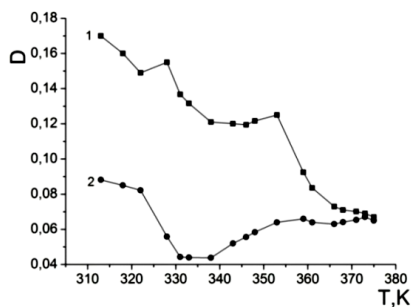
а)



б)



в)



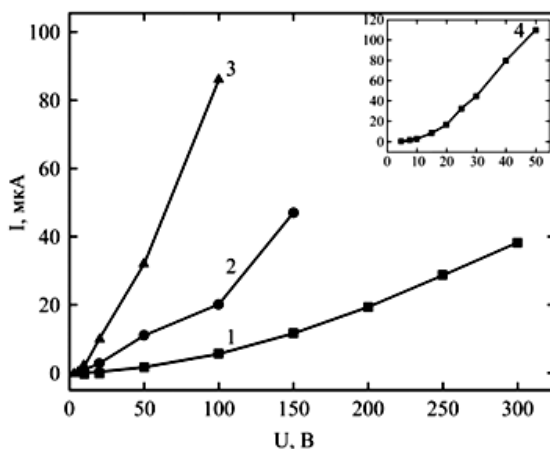
г)

**График 5.** Зависимость реальной части диэлектрической проницаемости от температуры при  $f=1\text{МГц}$  для композита **а)** 30%БТ+70%ПЭ. **б)** 50%БТ+50%ПЭ. 1-нагрев, 2-охлаждения. в) электропроводности от температуры при  $f=1\text{МГц}$  для композита 50% ММТ+50%ПЭ. 1-нагрев, 2-охлаждения.

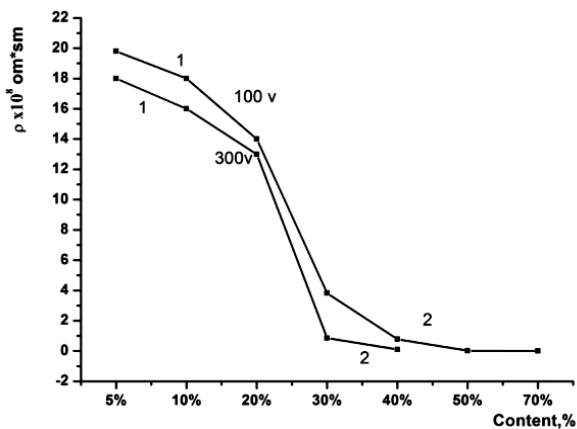
Характерной особенностью полупроводниковых материалов является нелинейность ВАХ, которая связано с приконтактными явлениями, а так же с эффектом сильных полей. С этой целью на всех образцах были исследованы ВАХ и удельное сопротивление  $\rho$ . Получено, что ВАХ исследованных композитов носит нелинейный характер, причем нелинейность ВАХ ярко выражена при БТ>30% (график б), т. е ВАХ



бентонитовых резисторов носит варисторный характер. Было установлено, что для чистого бентонита ВАХ также носит нелинейный характер (график 6-(4)). Как видно из графика, несмотря на разные значения приложенного напряжения зависимости удельного сопротивления от процентного содержания наполнителя носит экспоненциальный характер графике 7. Часть кривой (1) на графике 7 соответствует большому значению  $\rho$ , определяемому сопротивлением полимера. С увеличением процентного содержания наполнителя величина  $\rho$  экспоненциально уменьшается (часть 2). На основе их в будущем можно разработать различные низковольтные, малоэнергоёмкие и другие элементы для использования в микроэлектронике.



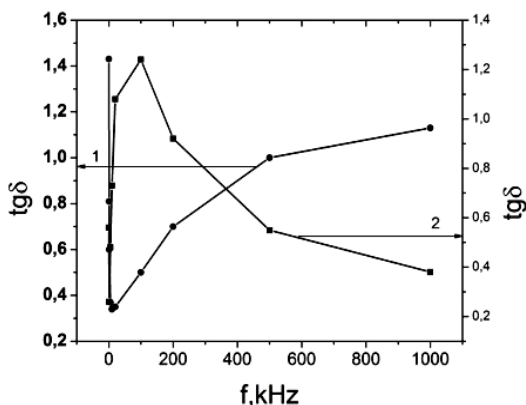
**График 6.** Вольт-амперные характеристики композитов с различным содержанием наполнителя :1– 50% БТ+ 50% ПЭ; 2– 60% БТ + 40% ПЭ; 3– 70% БТ + 30% ПЭ; 4-100% БТ



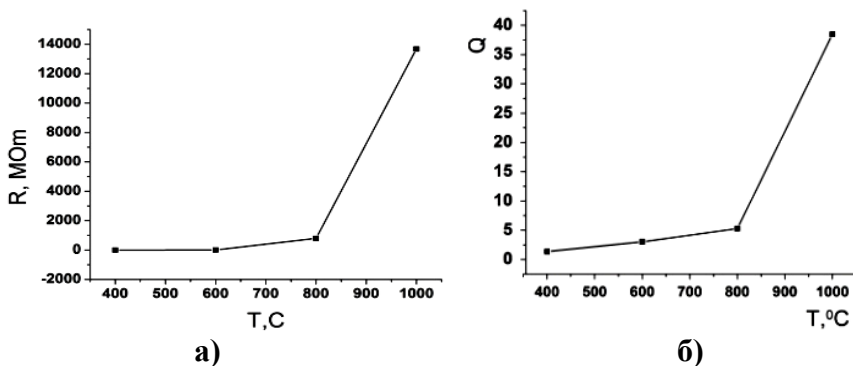
**График 7.** Зависимость электрического сопротивления композита от процентного содержания наполнителя (при 100V и 300 V).

На основе БТ при комнатной температуре были изготовлены образцы в виде шайб толщиной 1,5мм и диаметром 7мм исследованы электрофизические характеристики. Полученные диски прессовались под давлением 1ГПа, без нагрева, и пять из них подвергались отжигу при 400<sup>0</sup>С, 500<sup>0</sup>С, 600<sup>0</sup>С, 800<sup>0</sup>С и 1000<sup>0</sup>С в печи RH15/15. После отжига были исследованы электрофизические и диэлектрические характеристики образцов. Получено, что температура отжига сильно влияет на электрофизические характеристики бентонита график 8-10. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери уменьшаются, с ростом температуры отжига. Для отожженного при температуре 500<sup>0</sup>С образца, с увеличением частоты  $tg\delta$  увеличивается, достигая максимума при  $f=150\text{кГц}$ , далее монотонно убывает (граф.8); Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты имеет дисперсный характер  $\epsilon = f(F)$ ; диэлектрическая проницаемость достигает наибольшего значения ( $\epsilon=50000$ ) на образце не подвергавшемуся отжигу, в то время как наименьшее значение

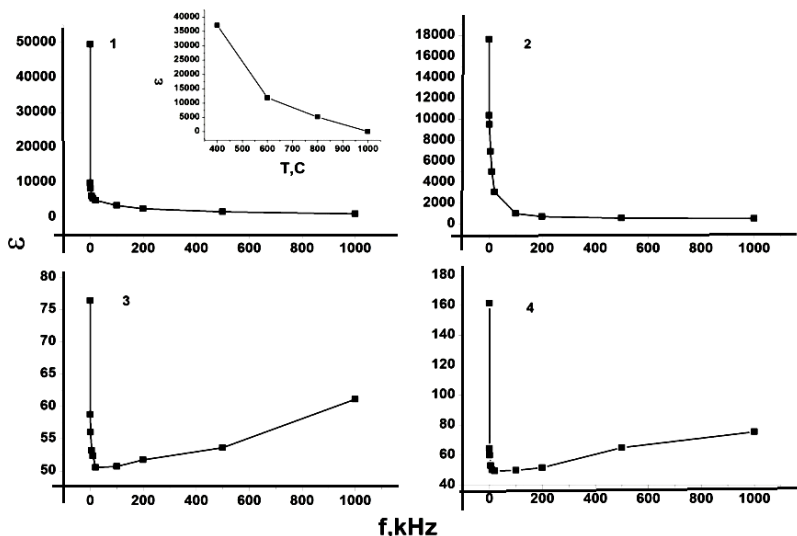
( $\epsilon = 39$ ) достигается на отожженном при  $1000^{\circ}\text{C}$  образце (граф.10). Сопротивления бентонита растет, добротность увеличивается (график 9). Это в свою очередь увеличивает вероятность их практического применения при изготовлении высоковольтных и высокочастотных устройств.



**График 8.** Зависимость диэлектрических потерь от частоты переменного поля: 1- $T=25^{\circ}\text{C}$ , 2- $T=500^{\circ}\text{C}$ .



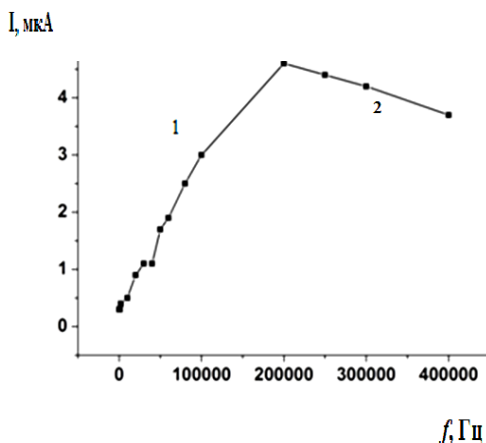
**График 9.** Зависимость а) электрического сопротивления б) добротности от температуры отжига.



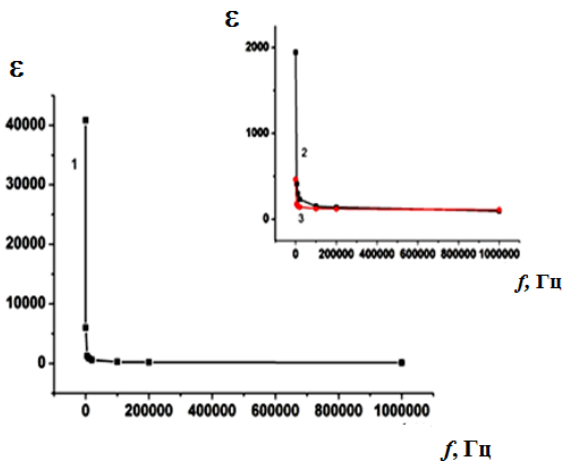
**График 10.** Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты при различных температурах отжига.

Исследовано изменение активного сопротивления на основе модифицированного при 3000об/мин, 6000об/мин, и не модифицированного бентонитовых образцов, под действием частоты переменного поля. Размер бентонитовых частиц после модификации при 3000 об/мин составил (440–560)нм, а при 6000об/мин – (140–260)нм. Путем прессования были изготовлены диски диаметром 7,2мм и длиной 4,1мм. Далее были исследованы ВАХ всех образцов, дисперсия диэлектрических параметров, а также зависимость сопротивления от частоты при температуре 300К. В зависимости электрического тока от частоты было получено, что с увеличением частоты переменного поля величина электрического тока увеличивается, достигая максимального значения (график 11 область 1) при  $f = 200$  кГц, а с дальнейшим ростом  $f$  (Гц) величина электрического переменного тока уменьшается до минимума (график 11 область 2). На графике 12 изображены частотные зависимости диэлектрической

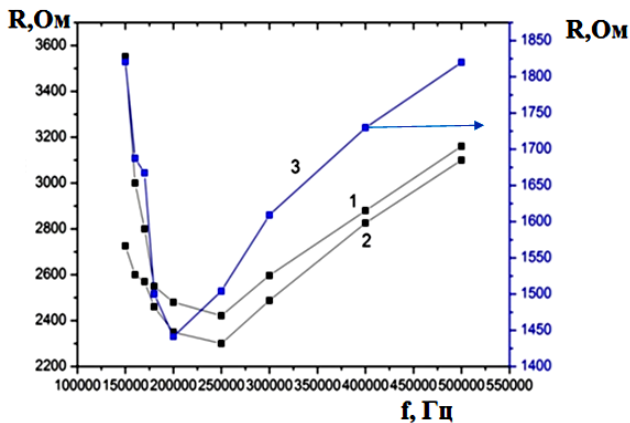
проницаемости для не модифицированных и модифицированных образцов. Как видно из графика эта зависимость имеет дисперсный характер. А в таблице 2 показаны значения  $\varepsilon$  для всех образцов, из которых явно видно влияние степени модификации на эти значения. Выявлено уменьшение  $\varepsilon$  с ростом степени модификации. Причиной уменьшения  $\varepsilon$  считаем, является дробление частиц бентонита в процессе измельчения, что способствует увеличению площади поверхности, и соответственно росту тока в образцах ( $I = envS$ ) и уменьшению сопротивления образца ( $R_{ак} = \frac{1}{\sigma S}$ ).



**График 11.** Частотная зависимость силы тока на переменном поле для модифицированного бентонита при 6000 об/мин ( $U=1.14$  В).



**График 12** Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты поля 1-немодифицированного, 2 и 3-модифицированного бентонита.



**График 13** Зависимость сопротивления от частоты переменного поля: 1- не модифицированный бентонит, 2-модифицированный бентонит при 3000 об/мин -№1, 3-модифицированный бентонит при 6000 об/мин -№2 ( $U=1,14В$ )

**Таблица 2.** Значение  $\varepsilon$  для не модифицированного и модифицированного бентонита.

$f$ , кГц	$\varepsilon$ Не модифициро- ванный бентонит (№ 1)	$\varepsilon$ модифицированный бентонит, 3000 об/мин (№ 2)	$\varepsilon$ модифицированный бентонит, 6000 об/мин (№ 3)
0,025	40800	20400	5920
0,5	6000	1944	464
5	1224	412,8	176
10	856,8	300	155,2
20	592,8	231,6	142,56
100	255,6	150	124,16
200	180	138	121,6

При измельчении частиц бентонитового порошка (при модификации порошков), происходит сильное трение между частичками и в результате они сильно нагреваются. За счет этого нагрева происходит испарение ОН группы и так же молекулы воды, что приводит к уменьшению полярности и, следовательно, уменьшению диэлектрической проницаемости образцов (см. таб.1). Как видно из графика 13, при увеличении  $f$ ,  $R_a$  уменьшается до минимума при  $f=200$ кГц для бентонита модифицированного при 6000 об/мин, и  $f=250$ кГц для образцов немодифицированного бентонита и модифицированного при 3000 об/мин бентонита.

Причиной роста активного сопротивления в области высоких частот является скин-эффект. Полученные экспериментальные результаты можно применять как электронный частотный ключ в области резком уменьшении активного сопротивления, и как ограничитель перенапряжений при росте активного сопротивления.

**Четвертая глава.** В данной главе исследуются магнитные характеристики композитов на основе магнитных частиц ( $Fe_2O_3$ ) и бентонита и применением теории перколяции для

исследования электрофизических и магнитных свойств перколированной среды. Используемые компоненты предварительно были модифицированы в мельнице типа FRITSCH:

- Определенное количество бентонита было модифицировано в течение 30 минут, при обороте 6000 об/мин.
- Модифицирование ферритовых частиц проводилось в следующих режимах

*a. 10 минут при обороте 3000 об/мин (M1),  $d_{3000}=1,35\text{мкм}$*

*b. 10 минут при обороте 6000 об/мин (M2),  $d_{6000}=0,68\text{мкм}$*

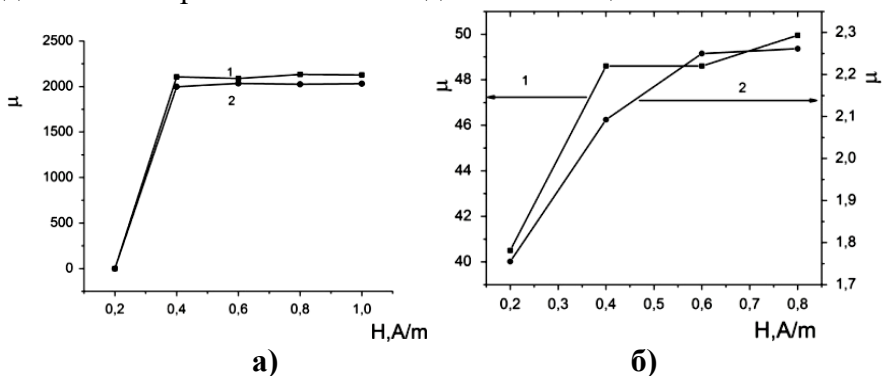
Далее, смешивая компоненты, путем прессования были получены образцы в виде круглых дисков, длиной 16мм и диаметром 7мм. Процентное содержание полученных композитных образцов было следующим:

60%M1+40%МБ, 40%M1+60%МБ, 50%M1+50%МБ, 60% M2+40% МБ, 40%M2+60% МБ, 50% M2 +50% МБ

Показано, что независимо от процентного содержания и модификации компонентов с ростом напряженности переменного поля магнитная проницаемость  $\mu$  композитов 60% ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) растет, доходит до максимального значения, а затем с ростом поля стремится к насыщению. В зависимости  $\mu$  от частоты в композитах 40%БТ+60%( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) замечается спад  $\mu$ . Установлены причины изменения магнитных параметров исследованных композитов. Установлено влияние степени модификации компонентов на магнитные характеристики композитов, а именно, в композитах с модификацией магнитных частиц в 3000 об/мин и 6000 об/мин независимо от процентного содержания компонентов магнитные характеристики различаются, в композитах с модификацией магнитных частиц в 3000 об/мин величины намагниченности и магнитной проницаемости больше 1,2 раза, чем в 6000 об/мин. (график 14-15). Получено, что с ростом напряженности переменного поля независимо от процентного содержания компонентов величина намагниченности растет, а магнитной



проницаемости достигает максимального значения и в дальнейшем рост поля выходит на насыщения.



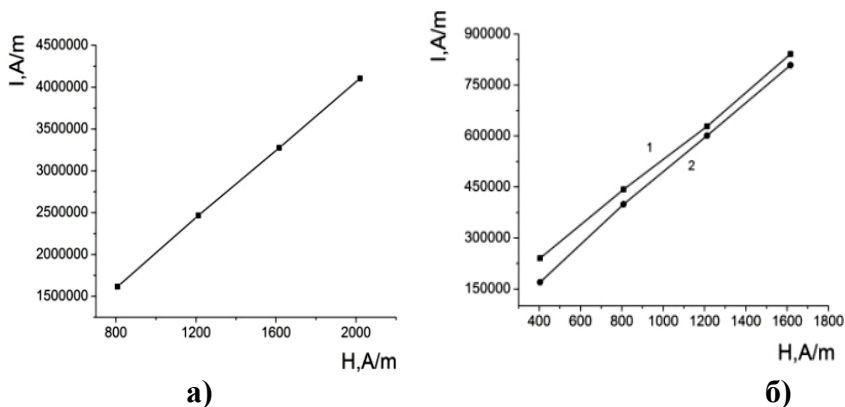
**График 14.** Зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля. а)  $f=500$  Гц, 1-60% M1+40%МБ, 2-60% M2+40% МБ. б) 1-  $f=2$  кГц; 2-  $f=20$ кГц.

Исходя из вышеизложенных фактов, зависимость магнитной проницаемости от величины напряженности переменного магнитного поля можно объяснить следующим образом: с ростом напряженности магнитного поля за счет увеличения доменных границ, растет число доменов, ориентированных по направлению внешнего поля, в результате чего увеличивается значение магнитной проницаемости. С дальнейшим ростом напряженности магнитного поля число доменов, ориентированных по направлению внешнего поля уменьшаются, и тем самым зависимость магнитной проницаемости от поля стремится к насыщению.

С увеличением величины переменного поля доменные границы скачкообразно необратимо смещаются. Максимальная крутизна кривой намагничивания достигается в области, где доменные границы необратимо смещаются. Второй механизм намагничивания обретает большую роль тогда, когда увеличивается напряженность магнитного поля. Вторым механизмом намагничивания это вращение, сопровождаемое постепенным поворотом магнитных моментов доменов под

действием магнитного поля из легкого направления намагничивания в более трудное.

Образцы с высокими значениями магнитной проницаемости и малыми потерями в области низких частот, могут, применены как магнитные материалы для радиокомпонентов высокочастотной аппаратуры.



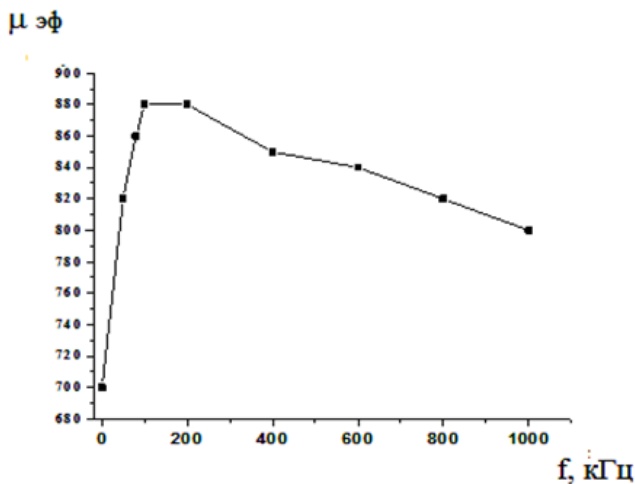
**График 15.** Зависимость намагниченности композитов от напряженности магнитного поля а) при  $f=500$  Гц б) при  $f=20$  кГц 1-при 3000 об/мин, 2- при 6000 об/мин .

Образцы с малыми значениями магнитной проницаемости в области высоких частот полезно используется при создании радиопоглощающих материалов.

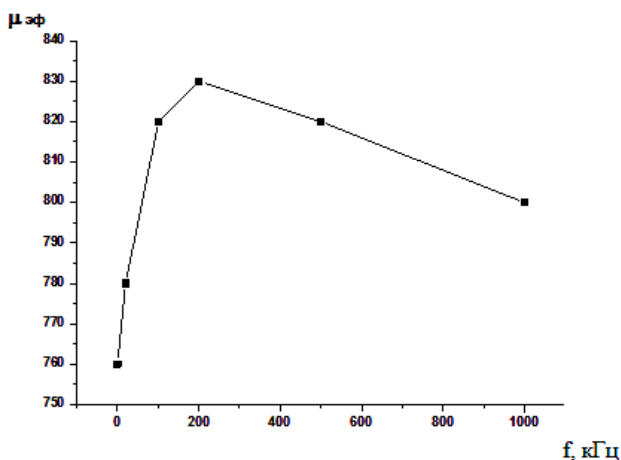
Применением теории перколяции исследованы электрофизические и магнитные свойства перколированной среды. Модифицированные магнитными частицами композиты могут являться перспективными материалами для практических применений, так как под действием полей различной природы в них наблюдается механическая связь между кластерами ферритовых частиц и наполнителями, то есть подобные композиты будут обладать магнитоэлектрическими свойствами. Поэтому при изучении магнитоэлектрических свойств

композитов на основе **магнитных частиц** и **бентонита** важно знать положение порога перколяции которая является одной из основных характеристик перколяционной системы служит порог перколяции  $p_c$ . По теории эффективного поля порог перколяции для сферических частиц металла и диэлектрика в трехмерной системе равен 0,33. Если же гранулы обладают различными размерами то и в двумерном и в трехмерном случае порог перколяции возрастает. При этом считается что, формирование больших кластеров различной формы, приводящее к увеличению порога перколяции, происходит за счет притяжения между гранулами. Притяжение между ними связаны Кулоновскими и магнитными взаимодействиями. В магнитных системах процесс происходит иначе. Однодоменные частицы образуют крупные цепочки, замыкая при этом магнитный поток. В итоге порог перколяции  $p_c$  растет за счет образования больших кластеров в гранулированных соединениях

Исследованы зависимости  $\rho$  и  $\sigma$  от порога перколяции для композитов, частотные зависимости эффективной магнитной проницаемости исследуемой перколированной среды (график 16-18). Показано, что с приближением к порогу перколяции  $p_c=0,35$  удельное сопротивление убывает, проводимость возрастает. Это говорит о том, что все большее число отдельных ферромагнитных наногранул в композитах  $(p)\text{Fe}_2\text{O}_3 - (1-p)$  МБТ смыкаются с образованием отдельных кластеров гранул  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в матрице МБТ (график 18).



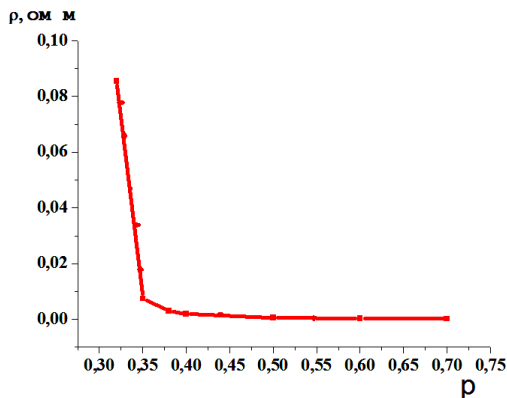
а)



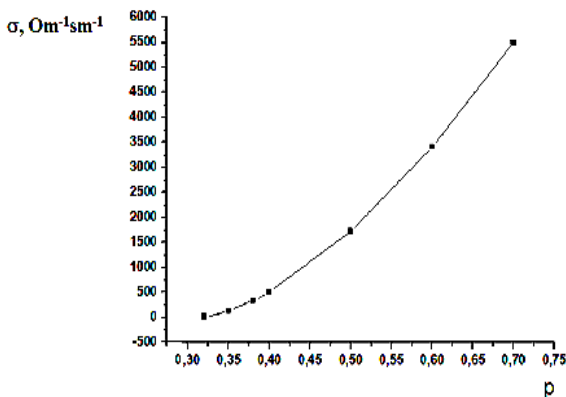
б)

**График 16.** Зависимость эффективной магнитной проницаемости от частоты для композита:

а) 50%(M<sub>1</sub>)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50%МБТ б) 60%(M<sub>2</sub>)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+40% МБТ при H=660 А/м.



а)

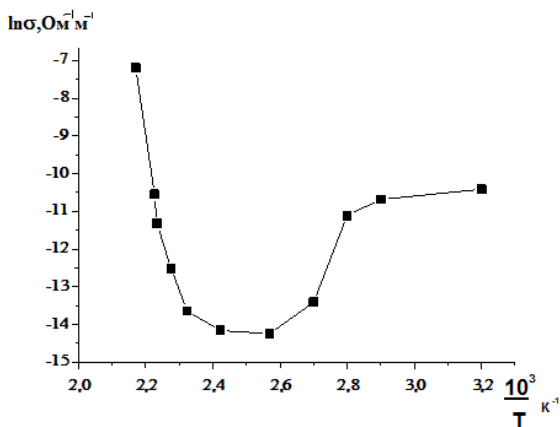


б)

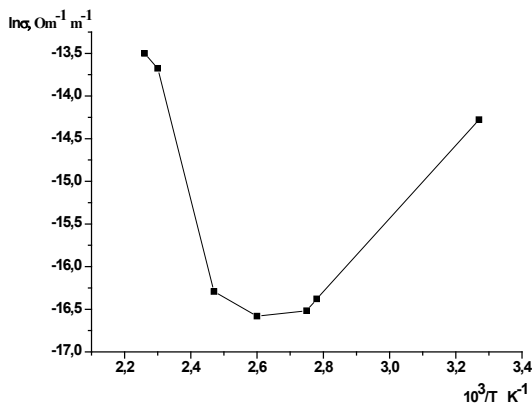
**График 17.** Зависимости а) удельного сопротивления  $\rho$  и б) электропроводности  $\sigma$  от порога перколяции для композитов  $(x)\text{Fe}_2\text{O}_3 - (1-x)\text{БТ}$  при комнатной температуре.

Исследованы температурные зависимости проводимости для образцов (график 19): №1-50%(M<sub>1</sub>)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50%МБТ, №2-60%(M<sub>2</sub>)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+40%МБТ. Отметим, что размер магнитных частиц при 3000об/мин(M<sub>1</sub>) больше, чем в 6000об/мин(M<sub>2</sub>) ( $d_{3000}=1,35\text{мкм}$ ,  $d_{6000}=0,68\text{мкм}$ ). Показано, что для исследуемых

образцов зависимости  $\ln\sigma=f\left(\frac{10^3}{T}\right)$ , обладают аналогичным характером, т.е. величина  $\sigma$  уменьшается и доходит до минимального значения, с увеличением температуры, далее с увеличением температуры величина  $\sigma$  растет. Зависимости  $\ln\sigma=f\left(\frac{10^3}{T}\right)$ , указывают на полупроводниковый характер. Для исследуемых образцов по наклону прямых на участке собственной проводимости были определены энергии активации по формуле:  $\Delta E=0,23 \operatorname{tg} \alpha$ , эВ. и с ростом степени модификации энергия активации увеличивается, а  $\ln\sigma$  уменьшается. Величина энергии активации для образца №1  $E_a=1,1$ эВ, а для образца №2  $E_a=2,4$ эВ соответственно. Кроме того, было получено, что степень модификации влияет на  $\sigma$  композитов, а именно: для образца №1  $\sigma=3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ , для образца №2  $\sigma=6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$  соответственно.



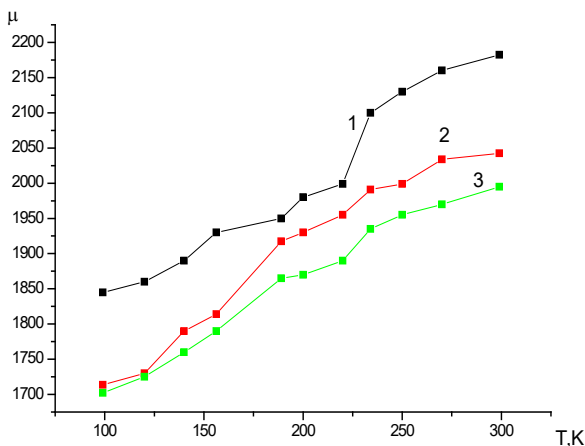
а)



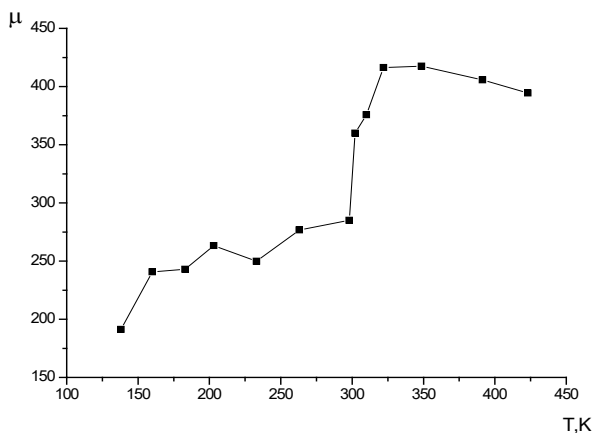
б)

**График 18.** Зависимость электропроводности от температуры для композитов 50%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50%БТ и 60%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.+40%БТ

Исследованы температурные зависимости магнитных параметров бентонитовые композитов с Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> частицами. Получено, что магнитная проницаемость  $\mu$  с ростом температуры растет и достигает максимального значения, а затем с ростом температуры уменьшается. Таким образом, для композитов №1  $\mu$  с ростом температуры растет и достигает максимального значения (график 19). Для композитов №2  $\mu$  с ростом температуры растет достигает максимума при T=340К, а затем с ростом температуры уменьшается. (график 20).



**График 19** Зависимость магнитной проницаемости от температуры для композита 50%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50%БТ при 3000об/мин, 1- H=602 А/м, 2- H=1200 А/м , 3-H=1800 А/м



**График 20.** Зависимость магнитной проницаемости от температуры для композита 60%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.+40%БТ при 6000об/мин. H=602 А/м, f= 200Гц.

Исследовано влияния размера частиц на магнитные характеристики композитов на основе бентонита и магнитных

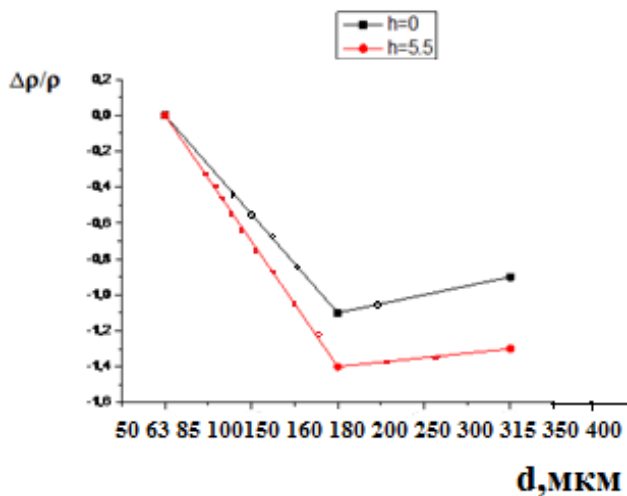


наночастиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Используя планетарную мельницу FRITSCH и сито, были получены следующие магнитные частицы:

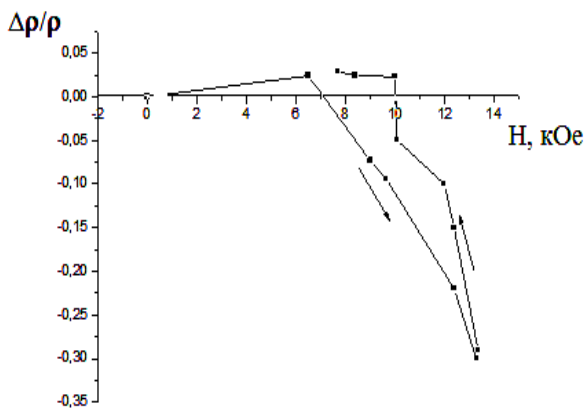
- |  |  |
|--|--|
| 1. $d < 63 \mu\text{м}$ ,                    | 4. $160 \mu\text{м} < d < 250 \mu\text{м}$ , |
| 2. $63 \mu\text{м} < d < 100 \mu\text{м}$ ,  | 5. $250 \mu\text{м} < d < 315 \mu\text{м}$ , |
| 3. $100 \mu\text{м} < d < 160 \mu\text{м}$ , | 6. $315 \mu\text{м} < d < 400 \mu\text{м}$   |

Исследуемые композиты высотой 4 мм, диаметром 7 мм, были получены из гомогенной смеси порошков компонентов путем холодного прессования при температуре 300К.

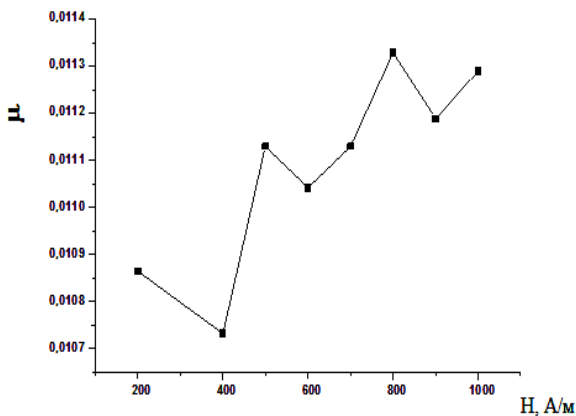
На всех образцах были исследованы диэлектрические параметры а также магнитная проницаемость. Диэлектрические параметры были измерены с помощью цифрового имитанса E7-20 в диапазоне частот  $(25-10^6)$ Гц, а величина магнетосопротивления с помощью тераомметра типа В7-06. Исследовались зависимости магнетосопротивления от напряженности магнитного поля. Показано что, не зависимо от величины приложенного магнитного поля и размера частиц наблюдается отрицательное магнетосопротивления. А также величина (ОМС) с ростом размера частиц уменьшается, доходит до минимального значения при  $d=160-250 \mu\text{м}$ , а затем снова растет (график 21). Причиной уменьшения сопротивления с ростом размера частиц, является то, что с увеличением размера частиц увеличивается, число проводящих частиц тем самым увеличивается проводимость и как результат уменьшается величина сопротивления. Дальнейший рост магнетосопротивления по всей вероятности связан с тем, что с увеличением размера частиц из-за их агломерации число носителей тока уменьшается, соответственно, уменьшается проводимость и растет сопротивление. С ростом магнитного поля МС сразу становится отрицательным и с дальнейшим ростом магнитного поля увеличивается в сторону положительного значения (график 22).



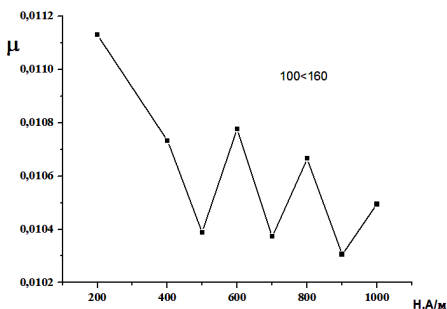
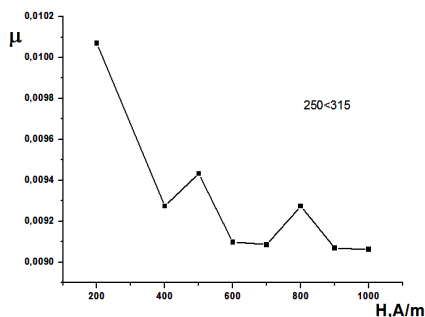
**График 21.** Зависимость магнетосопротивления от размера частиц



**График 22.** Зависимость магнетосопротивления от величины магнитного поля для композита 50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ +50%МБТ.



**График 23.** Зависимость магнитной проницаемости от величины магнитного поля для композита 50%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50% БТ. (d<63мкм)



а)

б)

**График 24.** Зависимость магнитной проницаемости от величины магнитного поля для композита 50% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> +50% БТ. а) 250мкм<315мкм б) 100мкм<160мкм

Полученный результат объясняется в предположении того, что в композитах одновременно существуют, как кластеры, так и изолированные гранулы магнитных частиц. При этом они характеризуются различными величинами магнитной анизотропии и наличием диполь–дипольного взаимодействия между кластерами и ближайшими к ним гранулами.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В бентонитовых композитах с полимерной матрицей обнаружена ярко-выраженная дисперсия диэлектрических параметров. В области низких частот 25Гц-100кГц значения  $\epsilon$  и  $\epsilon'$  уменьшаются. На образцах до 40% БТ, величины  $\epsilon''$ , с ростом частоты в области низких частот, сначала медленно, а затем сильно уменьшаются, доходят до минимальных значений, а затем с ростом частоты растут до максимума, с дальнейшим ростом частоты уменьшаются, причем, с увеличением процентного содержания наполнителя наблюдаемый максимум смещаются в область высоких частот.

2. Установлено влияние концентрации частиц БТ на ВАХ и на величину удельного сопротивления бентонитовых композитов с полимерным наполнителем. Величина удельного сопротивления экспоненциально уменьшается с увеличением концентрации частиц БТ. Нелинейность ВАХ выражена в композитах с полимерной матрицей при БТ>30%.

3. Установлено наличие температурных гистерезисов зависимостей диэлектрических параметров и проводимости композитов с 50%БТ+50%ПЭ, 40%БТ+60%ПЭ. Системы высоко – наполненных композитов чувствительны к температурным и частотным изменениям. В процессе нагрева с ростом температуры диэлектрические параметры уменьшаются.

4. Для композитов 50%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50%МБТ и 60%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+40%МБТ было получено:

- при температуре (300-500)К зависимость  $\ln\sigma=f(10^3/T)$  указывает на полупроводниковый характер, механизм проводимости в исследуемых композитах носит зонный характер.

- для композитов 50%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+50%МБТ  $\mu$  с ростом температуры растет и достигает максимального значения, а  $\mu$  композита 60%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+40%МБТ достигая максимума при T=340К, а затем с ростом температуры уменьшается. Магнитность с ростом температуры растет, достигая

максимального значения, а затем с ростом температуры уменьшается. Магнитные моменты композитов с ростом температуры растут достигают максимума при  $T=430\text{K}$ , а затем с ростом температуры уменьшается. Показано, что основными причинами уменьшения магнитной проницаемости: 1- вихревые токи, созданные за счет Э.Д.С. самоиндукции; 2 - магнитные потери; 3 - внутреннее магнитное поле, созданное свободными полюсами хаотично распределенных магнитных частиц.

5. С приближением к порогу перколяции  $p_c=0,35$  удельное сопротивление убывает. Все большее число отдельных ферромагнитных наногранул в композитах  $(p) \text{Fe}_2\text{O}_3-(1-p) \text{МБТ}$  смыкаются с образованием отдельных кластеров  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в матрице БТ, которые объединяются и формируется сплошная сетка кластеров.

6. Уменьшение размера частиц изменяет электрофизические, магнитные и диэлектрические параметры композитов. На образце с модификацией ферритовых частиц при 3000об/мин:

50% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ +50%МБТ и 60% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ +40%БТ величины диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости и электропроводности  $\sigma=3 \cdot 10^{-5} \text{Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  больше чем на образце при 6000об/мин 50% $\text{Fe}_2\text{O}_3$  + 50%БТ, 60% $\text{Fe}_2\text{O}_3$  + 40%МБТ,  $\sigma=6 \cdot 10^{-7} \text{Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ .

7. Независимо от величины приложенного магнитного поля и размера частиц, в исследуемых композитах наблюдается отрицательное магнитное сопротивление. Которая с ростом размера частиц ОМС уменьшается, доходя до минимального значения, а затем снова растет.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ОПУБЛИКОВАННОЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

1. Иманова С.Р., Гасанли Ш.М., Гюльмамедов К.Дж., Самедова У.Ф. Особенности диэлектрических параметров композитов на основе неполярного полимера и бентонита (глистного минерала). // Баку. Elmi - Texniki jurnal №2 . 2016 стр. 115.
2. Гасанли Ш.М., Иманова С.Р., Самедова У.Ф. Электрофизические характеристики композитных нелинейных резисторов на основе полимера и бентонита. //Электронная обработка материалов, 2017, 53 (4), стр. 85-89.
3. Иманова С.Р., Гасанлы Ш.М., Гулиев Н.И. Влияние модификации на магнитные характеристики композитов на основе магнитных частиц и бентонита. //Gəncə Dövlət Universiteti. Gənc Alimlərin II Beynəlxalq Elmi Konfrans. 2017 , стр.203.
4. Иманова С.Р., Гасанлы Ш.М., Самедова У.Ф., Гулиев Н.И. Диэлектрические свойства композитов на основе магнитных микронаночастиц и бентонита. //Gəncə Dövlət Universiteti . Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. 2018 год ч.V стр. 141.
5. Иманова С.Р., Гасанлы Ш.М., Халилова Ш.Г. Температурная зависимость проводимости композитов на основе магнитных частиц и бентонита. // Проблемы энергетики 2018. №3, стр.61-64.
6. Иманова С.Р., Сафарзаде У.М., Гусейнова А.Г. Влияние температуры отжига на электрофизические характеристики немодифицированного бентонита. // Проблемы энергетики 2018, Вып. №2 стр.29.
7. Imanova Sevinj R., Hasanli Shamistan M., Samadova Ulkar F., Guseynov Rasim K., Safarzade Ulviyye M. Influence of Annealing Temperature on Electrical Properties of Unmodified Bentonite. //EJERS, European Journal of Engineering Research and Science Vol. 3, No. 6, June 2018.page28-31.Белгия.

8. Иманова С.Р., Ш.М.Гасанли, У.М.Сафарзаде. Температурная дисперсия диэлектрических характеристик композитов на основе полиэтилена и наноглин  $\text{Na}^+$  монтмориллонита. //Журнал технической физики. 2019. Вып. №2 стр.85.С.Петербург.
9. Гасанли Ш.М., Иманова С.Р. Особенности частотной зависимости сопротивления в модифицированных образцов на основе наноглин  $\text{Na}^+$  -монтмориллонита . //Электронная обработка материалов. Кишнев Молдавия Том 55 (2019). № 6. стр. 55-59.
10. Иманова С.Р. Электрофизические характеристики модифицированных образцов основе наноглин  $\text{Na}^+$  монтмориллонита. //Проблемы энергетики №3,2019. стр.65.
11. Иманова С.Р. Температурная зависимость магнитных параметров композитов модифицированных магнитными частицами. Международная научно-практическая конференция. //Discovery Science Research. 2020 стр160. г. Петрозаводск.
12. Иманова С.Р., Гасанли Ш.М. Влияние размера частиц на магнитные характеристики композитов на основе бентонита и магнитных нано-макрочастиц. IV Международной научно-практической конференции.// European Science Forum. 29 мая 2020 г. стр240 г. Петрозаводск.
13. Иманова С.Р. Зависимость магнетосопротивления композитов, на основе модифицированного магнитными микрочастицами бентонита от размера частиц. //Проблемы энергетики. 2020 № стр.29-33

Защита диссертации состоится 26 января 2021 года на заседании диссертационного совета ED 1.14 действующего на базе Института Физики НАН. 6 11<sup>00</sup>

Адрес: AZ1143, г.Баку, пр., Г.Джавида, 131

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Физики Национальной Академии Наук Азербайджанской Республики.

Электронная версия диссертации и автореферата размещена на официальном сайте Института Физики Национальной Академии Наук Азербайджанской Республики.

Автореферат разослан по соответствующим адресам 24 января 2021 года.

*Алиев К*



Подписано в печать: 23.12.21

Формат бумаги: А5

Объём: 40394

Тираж: 70