

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 12:11:13  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Процессы перемагничивания магнетиков**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Карпенков А.Ю.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом**

Процессы перемагничивания магнетиков

### **2. Цель и задачи дисциплины**

*Целью освоения дисциплины является:*

- формирование у студентов системного подхода к выполнению поставленной практической задачи в области исследования магнитных свойств физических объектов (ферромагнитных и др.) в условиях динамического намагничивания и перемагничивания.

*Задачами освоения дисциплины являются:*

- знакомство студентов с основными методиками измерения, метрологическими характеристиками и способами применения магнитоизмерительных систем для получения информации о свойствах ферромагнитных материалов в переменных магнитных полях;
- выработка практических навыков использования основных методик измерения магнитных свойств ферромагнитных объектов в переменных магнитных полях;
- подготовка обучающихся к прохождению всех видов практик, выполнению научно-исследовательской и выпускной квалификационной работы.

### **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Процессы перемагничивания магнетиков» (Б1.В.ДВ.10.01) относится к дисциплинам по углублению профессиональных компетенций курсов по выбору вариативной части блока 1 структуры основной образовательной программы. Содержательно она развивает практические навыки получения информации о магнитных свойствах реальных физических объектов, изучаемых в естественнонаучном и профессиональном циклах («Современные проблемы ФМЯ», «Магнетизм в конденсированных средах», «Магнитные измерения», «Основы физического материаловедения» и пр.).

Обучающийся готовится к активной работе на практических и лабораторных занятиях в процессе освоения программы направления 03.03.02 – Физика, прохождению всех видов практик, а также выполнению научно-исследовательской работы и подготовки выпускной квалификационной работы.

#### 4. Объем дисциплины:

3 зачетных единицы, 108 академических часов, **в том числе**

**контактная работа:** лекции 22 часа, лабораторные работы 44 часа,

**самостоятельная работа:** 42 часа.

#### 5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p><b>ПК-1</b> способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p><b>Знать:</b> предмет исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.</p> <p><b>Уметь:</b> оценивать степень достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками физического мышления для выработки системного, целостного взгляда на проблемы, возникающие при планировании и решении поставленной экспериментальной задачи.</p>
<p><b>ПК-2</b> способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и</p>	<p><b>Знать:</b> оборудование и приборную базу, обеспечивающую возможность получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p><b>Уметь:</b> составить схему измерительной системы для выполнения поставленной экспериментальной задачи.</p>

информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	
<b>ПК-3</b> готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	<b>Знать:</b> закономерности формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и методы их измерения. <b>Уметь:</b> практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений.

**6. Форма промежуточного контроля – зачет (8 семестр)**

**7. Язык преподавания русский**

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) работы	
1. Поведение магнитомягких ферромагнетиков в постоянных магнитных полях (статические свойства магнетиков).	4	2		2
2. Поведение магнитомягких ферромагнетиков в переменных магнитных полях (динамические свойства магнетиков).	4	2		2
3. Перемагничивание ферромагнитных материалов магнитным полем, имеющим переменную и постоянную составляющие.	4	2		2
4. Цели и задачи измерения магнитных свойств МММ. Принципы построения измерительных устройств. Объекты исследования Способы получения переменных, постоянных и комбинированных магнитных полей.	4	2		2
5. Методы измерения статических свойств магнитомягких ферромагнетиков.	4	2		2
<b>6. Методы измерения динамических свойства магнитомягких ферромагнетиков (динамические свойства магнетиков):</b>	<b>8</b>			<b>8</b>
6.1.Объект исследования;	2	2		

6.2. Исследование процессов намагничивания магнитомягких ферромагнетиков в переменных магнитных полях (измерение динамической кривой намагничивания);	2	2		
6.3. Потери на перемагничивание;	2	2		
6.4. Изучение магнитной проницаемости магнитомягких ферромагнетиков на высоких частотах;	2	2		
6.5. Динамическая петля гистерезиса;	2	2		
6.6. Применение фазочувствительных приборов для исследования гистерезисных кривых магнитомягких материалов при частотах до 1000 Гц.	2	2		
<b>Лабораторные работы</b>				
<b>1. <u>Использование метода амперметра-вольтметра:</u></b>	16		10	6
1.1. Измерение динамической кривой намагничивания МММ;				
1.2. Изучение влияния частоты перемагничивания на ход динамической кривой намагничивания;				
1.3. Изучение влияния подмагничивания постоянным магнитным полем на форму динамической кривой намагничивания;				
1.4. Изучение зависимости коэффициента размагничивания от намагниченности по основным кривым намагничивания при изменении длины полосовых образцов.				
<b>2. <u>Изучение потерь на перемагничивание (метод ваттметра):</u></b>	16		10	6
2.1. Изучение потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов в зависимости от величины индукции;				
2.2. Изучение частотной зависимости потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов;				
2.3. Разделение полных потерь на перемагничивание на составные части.				
2.4. Изучение влияния подмагничивания постоянным магнитным полем на величину потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов.				
<b>3. <u>Применение резонансных методов:</u></b>	16		10	6
3.1. Определение индуктивности катушки произвольных размеров резонансным способом;				
3.2. Определение компонент магнитной проницаемости магнитомягких материалов методом куметра;				
3.3. Определение частотной зависимости начальной магнитной проницаемости				

методом куметра. 4. Использование осциллографа в магнитных измерениях:	16		10	6
4.1. Исследование динамической петли гистерезиса методом электронного осциллографа.				
4.2. Исследование динамической петли гистерезиса ферромагнитных материалов двухканальным ферротестером TR-9801/A.	4		4	
Промежуточные аттестационные занятия (АЗ).				
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>22</b>	<b>44</b>	<b>42</b>

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

3.1. Методические пособия по теме дисциплины;

3.2. Методические разработки (руководства по выполнению практических задач и лабораторных работ), включающие в себя:

- комплекс тем по рассматриваемым разделам дисциплины с примерами решения поставленных задач;
- рекомендации по выполнению лабораторных работ;
- рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;

3.3. Примеры разрабатываемых практических задач.

3.3. Пример построения алгоритма выполнения разрабатываемых практических задач.

### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Форма проведения промежуточной аттестации:** студенты, освоившие программу курса «Процессы перемагничивания магнетиков» могут сдать зачет согласно «Положению о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.). Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах)» студентов ТвГУ (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1:** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>Заключительный</p> <p><b>Владеть</b> - навыками физического мышления для выработки системного, целостного взгляда на проблемы, возникающие при планировании и решении поставленной экспериментальной задачи.</p>	<p>1 - Почему при определении цены деления сетки по вертикальной оси осциллографа в единицах индукции предпочтительнее использование выражения</p> $m_B = \frac{U_{2cp}}{4w_2fS} \cdot \frac{1}{a_B}, \text{ а не } m_B = \frac{m_B RC}{w_2S} \cdot \frac{1}{a_B}.$ <p>2 - Что лежит в основе определения цены деления сетки по вертикальной оси осциллографа в единицах индукции с помощью соотношения</p> $m_B = \frac{U_{2cp}}{4w_2fS} \cdot \frac{1}{a_B}.$	<p>1. Не владеет навыками физического мышления и системного подхода при решении проблем, возникающих в процессе решения поставленной физической задачи.</p> <p>2. Владеет отдельными навыками анализа экспериментального материала при выполнении поставленной должностной практической задачи.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет навыками анализа экспериментального материала при выполнении поставленной должностной практической задачи.</p> <p>4. Хорошо владеет навыками анализа экспериментального материала при выполнении поставленной должностной практической задачи.</p> <p>5. Свободно ориентируется системном подходе при решении проблем, возникающих в процессе планирования и решения поставленной физической задачи.</p>
<p>Заключительный</p> <p><b>Уметь</b> – использовать навыки физического мышления и системного подхода при оценке степени достоверности получаемой информации о магнитных свойствах</p>	<p>1 - Описать алгоритм измерения основной кривой индукции магнитомягкого материала в переменном магнитном поле.</p> <p>2 – Проанализировать, почему объекты исследования для определения динамических характеристик ферромагнитных</p>	<p>1. Не имеет навыков физического мышления и системного подхода при проведении оценки степени достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p>

исследуемых объектов.	материалов изготавливаются из тонколистового материала?	<p>2. Имеет отдельные представления о способах оценки степени достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>3. Умеет удовлетворительно использовать навыки физического мышления и системного подхода при оценке степени достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>4. Хорошо использует навыки физического мышления и системного подхода при выполнении поставленной должностной практической задачи.</p> <p>5. Самостоятельно применяет системный подход при подходе при оценке степени достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p>
<p>Начальный <b>уметь</b> - оценивать степень достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p>	<p>1. Описать способы построения объектов исследования, позволяющие получать динамические характеристики наиболее близкие к статическим характеристикам исследуемых образцов.</p> <p>2. Каким классом точности должен обладать вольтметр для того, чтобы обеспечить относительную погрешность измерения напряжения <math>U = 80 \text{ В}</math> не более <math>1,0\%^1</math>. Прибор имеет шкалу <math>0 \div 100 \text{ В}</math>. Класс точности на корпусе прибора обозначен одним числом<sup>1</sup>.</p>	<p>1. Не умеет самостоятельно анализировать полученные результаты с использованием устоявшихся алгоритмов.</p> <p>2. При анализе полученных результатов самостоятельно использует отрывочные знания о применении устоявшихся алгоритмов.</p> <p>3. Удовлетворительно анализирует полученные результаты с использованием устоявшихся алгоритмов, но не всегда может получить окончательный результат.</p> <p>4. Умеет самостоятельно анализировать полученные результаты с использованием устоявшихся алгоритмов.</p>

<sup>1</sup>  $1 \cdot 10^n$ ;  $1,5 \cdot 10^n$ ;  $(1,6 \cdot 10^n)$ ;  $2 \cdot 10^n$ ;  $2,5 \cdot 10^n$ ;  $(3 \cdot 10^n)$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$ ; ( $n=1, 0, -1, -2$  и т.д.)



		5. При анализе полученных результатов свободно оценивает степень их достоверности на основании устоявшихся алгоритмов решения поставленной задачи.
Начальный <b>знать</b> - предмет исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.	1. Почему динамические свойства магнетиков лишь условно могут быть названы характеристиками исследуемого материала?  2. Динамическая кривая намагничивания (основная кривая индукции). Определение. Сходство и различие между динамической и статической кривыми намагничивания.	1. Не знает предмет исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.  2. Знает лишь отдельные положения предмета исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.  3. Удовлетворительно знает предмет исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.  4. Хорошо знает основные предмет исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.  5. Исчерпывающе владеет аппаратом исследования динамических свойств магнетиков для получения необходимой измерительной информации.

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2:** способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный <b>Уметь</b> – используя стандартные алгоритмы под руководством специалиста	1. Описать структуру построения измерительного устройства для отображения динамической петли	1. Не умеет воспроизвести схему для измерения динамических магнитных характеристик при

<p>уметь воспроизвести схему для измерения динамических магнитных характеристик при выполнении поставленной экспериментальной задачи.</p>	<p>гистерезиса если объект исследования имеет полосовую или тороидальную форму.</p> <p>2 - Описать структуру построения измерительного устройства для измерения динамической кривой намагничивания (кривой индукции) для образца тороидальной формы.</p>	<p>выполнении поставленной экспериментальной задачи.</p> <p>2. Имеет отдельные представления о способах получения сведений о динамических магнитных характеристиках ферромагнитных объектов.</p> <p>3. Удовлетворительно разбирается в воспроизвести схем для измерения динамических магнитных характеристик при выполнении поставленной экспериментальной задачи.</p> <p>4. Хорошо ориентируется в алгоритмах построения схем для измерения динамических магнитных характеристик при выполнении поставленной экспериментальной задачи.</p> <p>5. Свободно владеет способами воспроизведения схем для измерения динамических магнитных характеристик ферромагнетиков при выполнении поставленной экспериментальной задачи.</p>
<p>Начальный <b>Знать</b> – оборудование и приборную базу, обеспечивающую возможность получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p>	<p>1 – Способы получения переменных магнитных полей (структура построения намагничивающего устройства, расчетные формулы, выбор параметров, связанных с геометрией объектов исследования).</p> <p>2 - Почему объект исследования, предназначенный для измерения динамических свойств магнетиков должен обладать либо минимальным, либо нулевым собственным полем размагничивания?</p>	<p>1. Не знает оборудование и приборную базу, обеспечивающую возможность получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p> <p>2. Имеет отрывочные представления о способах получения информации о динамических свойствах магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>3. Удовлетворительно знает оборудование и приборную базу, обеспечивающую возможность получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов, делает отдельные ошибки.</p>

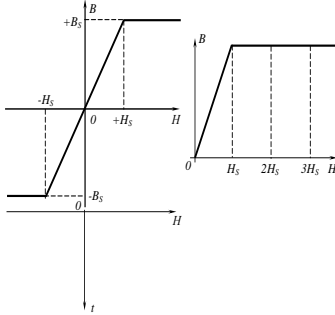
		<p>4. Хорошо знает предмет исследования и основные технические устройства, для получения информации о динамических магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>5. Свободно ориентируется в приборной базе и оборудовании, обеспечивающем возможность получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p>
<p>Промежуточный <b>Уметь</b> – используя устоявшиеся алгоритмы сформировать и самостоятельно воспроизвести схему для измерения динамических свойств магнетиков в рамках поставленного экспериментального задания.</p>	<p>1 - Описать структуру построения измерительного устройства для измерения потерь на перемагничивание методом ваттметра при частотах до 1 кГц.</p> <p>2 - Описать структуру построения измерительного устройства для измерения динамической кривой намагничивания (кривой индукции) для полосового образца.</p>	<p>1. Не умеет воспроизвести схему для измерения динамических свойств магнетиков в рамках поставленного экспериментального задания.</p> <p>2. Имеет отдельные представления о схемах для измерения динамических свойств магнетиков в рамках поставленного экспериментального задания.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет основными навыками воспроизведения схем для измерения динамических свойств магнетиков в рамках поставленного экспериментального задания.</p> <p>4. Хорошо владеет навыками составления схем для измерения динамических свойств магнетиков в рамках поставленного экспериментального задания.</p> <p>5. Свободно владеет навыками составления схем для измерения динамических свойств магнетиков в рамках поставленного экспериментального задания.</p>
<p>Промежуточный <b>Знать</b> - оборудование и приборную базу,</p>	<p>1. Основные методы определения общих потерь на перемагничивание (общая</p>	<p>1. Не знает приборы и установки для получения информации о</p>

<p>обеспечивающую возможность получения информации о динамических характеристиках ферромагнитных объектов.</p>	<p>классификация по способу построения измерительных схем).</p> <p>2. Основные методы измерения динамической петли гистерезиса (общая классификация, структура построения измерительных систем).</p>	<p>динамических свойствах исследуемых объектов.</p> <p>2. Имеет отрывочные представления о приборах и установках для получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p> <p>3. Удовлетворительно знает основные технические устройства, для получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов, допускает отдельные ошибки.</p> <p>4. Хорошо знает приборы и установки для получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p> <p>5. Свободно оперирует знаниями о приборах и установках для получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p>
--	--	--

**3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-3:** готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований.

<p><b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b></p>	<p><b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</b></p>	<p><b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b></p>
<p>Начальный</p> <p><b>Уметь</b> – практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений.</p>	<p>1 – В каком случае при расчете напряженности магнитного поля в тороидальном соленоиде более грамотно использовать не средний, а средний гармонический радиус?</p> <p>2 - Зависит ли величина коэффициента размагничивания (фактора формы) объекта исследования от его размеров?</p>	<p>1. Не умеет практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений.</p> <p>2. Обладает отдельными представлениями практического использования знаний в области магнетизма и практических измерений.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет практическими навыками в использовании знаний в области магнитных свойств объектов</p>

		<p>исследования и магнитных измерений.</p> <p>4. Хорошо ориентируется в приемах практического использования знаний в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений</p> <p>5. Свободно владеет навыками практического использования знаний в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений.</p>
<p>Начальный</p> <p><b>Знать</b> – закономерности формирования и проявления динамических магнитных свойств ферромагнитных объектов исследования и закономерности построения схем их измерения.</p>	<p>1 - Перечислить магнитные параметры, характеризующие магнитный материал.</p> <p>2 - Почему коэрцитивная сила по намагниченности <math>H_{cl}</math> может быть определена как из кривой размагничивания в координатах «намагниченность – внешнее поле» <math>I(H_e)</math>, так и из кривой размагничивания в координатах «намагниченность внутреннее поле» <math>I(H_i)</math>. Ответ обосновать на примере.</p>	<p>1. Не знает закономерности формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и методы их измерения.</p> <p>2. Имеет отрывочные представления о закономерностях формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и методах их измерения.</p> <p>3. Удовлетворительно знает закономерности формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и методы их измерения.</p> <p>4. Хорошо знает закономерности формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и методы их измерения.</p> <p>5. Свободно оперирует закономерностями формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и владеет методами их измерения.</p>

<p>Промежуточный <b>Уметь</b> – практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования конечной формы для проведения измерения их динамических свойств при планировании и выполнении поставленной экспериментальной задачи.</p>	<p>1. </p> <p>Построить ход динамической кривой намагничивания (зависимость переменной составляющей индукции от переменной составляющей намагничивающего поля) при подмагничивании постоянным полем, когда величина подмагничивающего постоянного поля <math>H^-</math> если:</p> $H^- = 0,5H_s^-, H^- = 1,0H_s^-,$ $H^- = 2,0H_s^-, H^- = -0,5H_s^-,$ $H^- = -1,0H_s^-, H^- = -2,0H_s^-.$ <p>2. В общем случае полагают, что напряженность магнитного поля в магнетике равна <math>H_I = H_e - H_o = H_e - NI</math>, здесь <math>H_e</math> - внешнее перемагничивающее поле, <math>H_o</math> - собственное размагничивающее поле, величина которого принимается пропорциональной намагниченности испытуемого образца <math>H_o = NI</math>. Как называется коэффициент пропорциональности <math>N</math>, от чего зависит его величина?</p>	<p>1. Не умеет использовать практические знания в области получения экспериментальных сведений о свойствах магнитного материала при исследовании объекта конечной формы.</p> <p>2. Имеет отдельные представления о получения экспериментальных сведений о свойствах магнитного материала при исследовании объекта конечной формы.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет основными навыками получения экспериментальных сведений о свойствах магнитного материала при исследовании объекта конечной формы.</p> <p>4. Хорошо владеет навыками получения экспериментальных сведений о свойствах магнитного материала при исследовании объекта конечной формы.</p> <p>5. Свободно владеет навыками получения экспериментальных сведений о свойствах магнитного материала при исследовании объекта конечной формы.</p>
<p>Промежуточный <b>Знать</b> – и практически использовать знания в области динамических магнитных свойств ферромагнитных объектов исследования и построения схем для магнитных измерений.</p>	<p>1 – Почему при исследовании динамических свойств ферромагнетиков стремятся уменьшить коэффициент размагничивания объекта исследования практически до нуля?</p> <p>2 – Почему при изменении длины разомкнутого образца мы наблюдаем изменение хода (формы) динамической кривой</p>	<p>1. Не знает закономерности формирования сигнала измерительной информации при измерении магнитных параметров образцов конечной формы.</p> <p>2. Имеет отрывочные представления о формировании сигнала измерительной информации при измерении магнитных</p>

	намагничивания.	<p>параметров образцов конечной формы.</p> <p>3. Удовлетворительно знает закономерности формирования сигнала измерительной информации при измерении магнитных параметров образцов конечной формы.</p> <p>4. Хорошо знает основные закономерности формирования сигнала измерительной информации при измерении магнитных параметров образцов конечной формы.</p> <p>5. Свободно ориентируется в закономерностях формирования сигнала измерительной информации при измерении магнитных параметров образцов конечной формы.</p>
--	-----------------	---

**V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

*а) Основная литература:*

Боровик Е. С. Лекции по магнетизму / Е. С. Боровик, В. В. Еременко, А. С. Мильнер. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 510 с. -Электронный ресурс. - Режим доступа:

<http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475>

*б) Дополнительная литература:*

1. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин: учебное пособие. - Изд. 3-е, стер. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2009 (Архангельск). - 106 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=146](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=146)
2. Пастушенков А.Г. Измерительные преобразователи. Гальваномагнитные и индукционные преобразователи [Электронный ресурс] : [учеб. пособие]. (Ч.1) / А.Г. Пастушенков; Твер. гос. ун-т, Каф. Магнетизма. – Тверь: ТвГУ, 2001. - 103 с.

3. Пастушенков, А.Г. Электрические измерения магнитных величин [Электронный ресурс] : [учеб. пособие]. (Ч. 1) / А. Г. Пастушенков ; Твер. гос. ун-т, Каф. магнетизма. - Тверь : Тверской государственной университет, 2000. - 121 с.
4. Пастушенков А.Г. Методы измерения физических величин. Виды, методы и средства измерений [Электронный ресурс] : [учеб. пособие]. / А. Г. Пастушенков ; Твер. гос. ун-т, Каф. Магнетизма. – Тверь: ТвГУ, 2001. - Ч. 1. - 113 с.

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Внутренние информационные ресурсы:

Научная библиотека ТвГУ – <http://library.tversu.ru>;

Сервер доступа к модульной объектно-ориентированной динамической учебной среде Moodle – <http://moodle.tversu.ru>;

Сервер обеспечения дистанционного обучения и проведения Web-конференций Mirapolis Virtual Room – <http://mvr.tversu.ru>;

Репозиторий научных публикаций ТвГУ – <http://eprints.tversu.ru>.

Внешние информационные ресурсы:

Научная электронная библиотека eLibrary.ru;

Электронная база данных диссертаций РГБ;

База данных Реферативных журналов ВИНТИ;

Полнотекстовый доступ к журналам AIP (Американский институт физики);

Полнотекстовый доступ к журналам и книгам издательства Springer Verlag;

Полнотекстовый доступ к отдельным журналам и книгам Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers);

Реферативная база Inspec (доступ к рефератам и полным текстам монографий и научных статей в области физики, электротехники, электроники, коммуникаций, компьютерных наук и информационных технологий).



Лицензионное программное обеспечение:

Системное ПО:

Операционная система Microsoft Windows (версии XP и 7-10);

Microsoft Windows Server (версии 2003 R2 и 2008 R2);

Novell Netware 5.1.

Офисные программы:

- Microsoft Office Professional (версии 2003, 2007 и 2010-2010+).

Графика:

- Adobe Photoshop (версии CS2, CS4);
- Adobe Acrobat Professional (версии 7, 8, 9).

Научные расчеты и графика:

- OriginLab OriginPro 8.1.

Вспомогательное ПО:

- Словари ABBYY Lingvo;
- Антивирусное ПО Symantec Endpoint Protection.
- 

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### **7.1. Перечень лабораторных работ по курсу «Процессы перемагничивания магнетиков»**

Лабораторная работа №1. Измерение динамической кривой намагничивания магнитомягких ферромагнетиков.

Лабораторная работа №2. Изучение влияния частоты перемагничивающего поля на ход динамической кривой намагничивания.

Лабораторная работа №3. Изучение влияния подмагничивания постоянным магнитным полем на форму динамической кривой намагничивания.

Лабораторная работа №4. Определение коэффициента размагничивания и зависимости его величины от длины и намагниченности полосовых образцов по основным кривым намагничивания.

Лабораторная работа №5. Изучение потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов в зависимости от величины индукции.

Лабораторная работа №6. Изучение частотной зависимости потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов.

Лабораторная работа №7. Разделение полных потерь на перемагничивание на составные части.

Лабораторная работа №8. Изучение влияния подмагничивания постоянным магнитным полем на величину потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов.

Лабораторная работа №9. Определение индуктивности цилиндрической катушки произвольных размеров по параметрам электрической цепи резонансным способом.

Лабораторная работа №10. Определение компонент магнитной проницаемости тороидальных образцов магнитомягких материалов методом куметра.

Лабораторная работа №11. Определение частотной зависимости начальной магнитной проницаемости методом куметра.

Лабораторная работа №12. Определение комплексной проницаемости тороидальных образцов магнитомягких материалов с помощью автоматического моста переменного тока Е7-8.

Лабораторная работа №13. Использование электронного осциллографа при исследовании динамической петли гистерезиса ферромагнитных материалов.

Лабораторная работа №14. Исследование динамической петли гистерезиса ферромагнитных материалов полем двухканальным ферротестером TR-9801/А.

## 7.2. Примеры выполнения лабораторных работ

### 1. Лабораторная работа №1

#### Измерение динамической кривой намагничивания магнитомягких ферромагнетиков

**Цель работы:** измерение динамической кривой намагничивания (кривой индукции), построение зависимости амплитудной магнитной проницаемости от величины намагничивающего поля, определение начальной и максимальной амплитудной магнитной проницаемости исследуемых ферромагнитных образцов.

**Используемые приборы и оборудование:** вольтметры электронные ВЗ-38 (2 шт.), генератор звуковых сигналов Г109; приставка с образцовым (одноомным) сопротивлением, образец №1\* тороидальной формы с намагничивающей  $w_1$  и измерительной  $w_2$  обмотками, провода соединительные.

Структурная схема для измерения динамической кривой намагничивания методом амперметра-вольтметра (рис. 1).

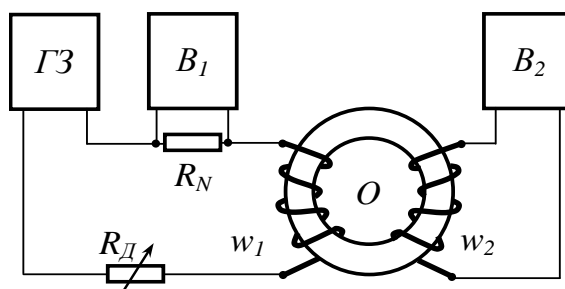


Рис. 1. ГЗ - генератор звуковых сигналов;  $B_1$  и  $B_2$  - вольтметры переменного тока;  $O$  - образец;  $w_1$  и  $w_2$  - намагничивающая и измерительная обмотки;  $R_N$  – одноомное сопротивление;  $R_D$  – добавочное сопротивление

#### Задание 1. Измерение динамической кривой намагничивания.

Динамическая кривая намагничивания (кривая индукции) измеряется при изменении переменного намагничивающего поля (частотой 50 Гц) от нулевого (минимального) значения до максимально возможного.

\* Холоднокатанный сплав 49К2ФА:  $B(400 \text{ А/м}) = 1,2-2,0 \text{ Тл}$ ,  $B(2500 \text{ А/м}) = 2,1-2,2 \text{ Тл}$ ,  $P_{1,8/40} = 25-39 \text{ Вт/кг}$ ,  $P_{2,0/400} = 30-55 \text{ Вт/кг}$ ,  $H_c = 40-140 \text{ А/м}$ ,  $\mu_r=5500$  [10].

Используя формулы (1), (2) и измеренные значения  $E_d$  и  $I_d$  рассчитать значения намагничивающего поля  $H_i$  и соответствующие им значения индукции  $B_i$  исследуемого образца.

$$B_m[\Gamma c] = \frac{E_{cp}[B] \cdot 10^8}{4w_2 f[\Gamma y] S[cm^2]} \quad (\text{СГС}), \quad B_m[T] = \frac{E_{cp}[B]}{4w_2 f[\Gamma y] S[m^2]} \quad (\text{СИ}) \quad (1)$$

$$H[\mathcal{E}] = \frac{0,4\pi w_1 I[A]}{l_{cp}[cm]} \quad (\text{СГС}), \quad H\left[\frac{A}{m}\right] = \frac{w_1 I[A]}{l_{cp}[m]} \quad (\text{СИ}) \quad (2)$$

Построить зависимости  $B(H)$  исследуемых образцов. Полученные результаты представить в графической форме.

Задание 2. Построить зависимости амплитудной магнитной проницаемости от величины намагничивающего поля.

По данным, полученным при выполнении первого задания, рассчитать и построить зависимость амплитудной магнитной проницаемости

$$\mu_{ампл.} = \frac{B_i}{H_i} \left[ \frac{\Gamma c}{\mathcal{E}} \right] \quad (3)$$

как функцию от внешнего намагничивающего поля.

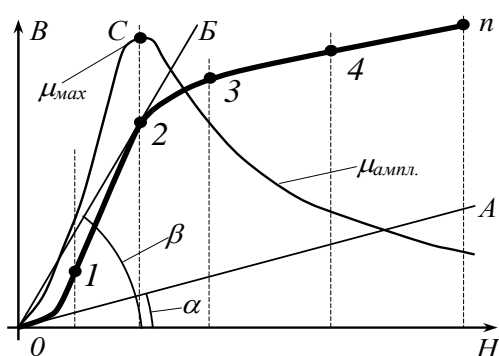


Рис. 2. К методике определения  $\mu_{нач.}$ ,  $\mu_{max.}$  и  $\mu_{ампл}$

Значение  $\mu_{нач}$  определяется из выражения (3) при минимальном значении намагничивающего поля ( $H \rightarrow 0$ ) и  $\mu_{max}$  — как максимальное значение отношения  $B/H$  (при  $H \rightarrow 1,2H_c$ ).

Графически начальная  $\mu_{нач.}$  и максимальная  $\mu_{max.}$  магнитные

проницаемости определяются из измеренных кривых намагничивания.

Иметь в виду, что в случае равенства масштабов по осям  $B$  и  $H$   $\mu_{нач} = tg \alpha$ , а  $\mu_{max} = tg \beta$  (рис. 2). Угол  $\alpha$  - угол  $AON$  между касательной к кривой намагничивания при намагничивающем поле стремящемся к 0 и осью поля.

Угол  $\beta$  - угол  $BOH$  между касательной к кривой намагничивания в точке перехода от участка намагничивания к участку насыщения (2), проходящей

через начало координат. Если масштабы по осям разные  $\mu = k \cdot \operatorname{tg} \alpha$  ( $\beta$ ).  $k$  – отношение масштаба по оси  $B$  к масштабу по оси  $H$ .

Динамическая кривая намагничивания  $B(H)$  и зависимость  $\mu(H)$  для каждого из исследуемых образцов должны быть представлены на одной координатной плоскости.

### **7.3. Примеры заданий для промежуточной аттестации успеваемости**

7.3.1. Типовые задания для оценивания результатов сформированности компетенции ПК-1.

#### **Категория знать:**

- Динамические свойства магнетиков (общее определение).
- Какие условия перемагничивания необходимо указывать, чтобы использовать магнитные характеристики, определенные в переменных магнитных полях в качестве свойств магнитного материала?

#### **Категория уметь:**

- Объяснить сходство и различие динамической и статической петель гистерезиса. Какие физические процессы ответственны за площадь петли гистерезиса. Обосновать на примере.
- Рассчитать абсолютную ( $\Delta$ ) и относительную ( $\delta$ ) ошибки определения теоретического предела максимального энергетического произведения  $(B \cdot H)_{\max}^t = \frac{B_r^2}{4}$ , если остаточная индукция постоянного магнита  $B_r = (11,00 \pm 0,35)$  кГс.

Ошибка измерения определяется систематическими погрешностями.

#### **Категория владеть:**

- Что лежит в основе определения цены деления сетки по вертикальной оси осциллографа в единицах индукции с помощью соотношения  $m_B = \frac{U_{2cp}}{4w_2 f S} \cdot \frac{1}{a_B}$ .
- Если намагничивающую обмотку испытуемого образца  $w_1$  представить в виде однослойного соленоида, то напряженность магнитного поля в его геометрическом центре можно рассчитать из соотношения

$$H = \frac{w_1 I}{\sqrt{l^2 + D^2}} \left[ \frac{A}{м} \right],$$

здесь  $w_1$  – число витков обмотки,  $I$  – значение тока (амплитудное значение в случае переменного тока),  $l$  – длина намотки соленоида,  $D$  – средний диаметр витка соленоида.

Почему в расчетах при выполнении лабораторных работ мы используем, как правило, соотношение

$$H = \frac{w_1 I}{l} \left[ \frac{A}{м} \right].$$

*7.3.2. Типовые задания для оценивания результатов сформированности компетенции ПК-2.*

**Категория знать:**

- Показать графически, из каких составляющих формируется магнитное поле в межполюсном пространстве электромагнита.
- Магнитная цепь в магнитных измерениях. Определение. Область применения.

**Категория уметь:**

- Что необходимо учитывать при измерения основной кривой намагничивания и петли гистерезиса магнитных материалов в переменных магнитных полях?
- Привести основные отличия в построении измерительных систем для измерения статических и динамических свойств магнетиков.

*7.3.3. Типовые задания для оценивания результатов сформированности компетенции ПК-3.*

**Категория знать:**

- Собственное поле размагничивания. В каких случаях оно возникает и от чего зависит его величина?
- Как можно опытным путем определить величину собственного поля размагничивания и коэффициента размагничивания образца?

**Категория уметь:**

- Описать алгоритм измерения частотной зависимости коэрцитивной силы при использовании генератора переменных сигналов с ограниченной мощностью.
- Описать структуру построения измерительного устройства для измерения динамической кривой намагничивания (кривой индукции).

#### **7.4. Методические указания для решения практических вопросов**

Перечень методических разработок, доступных в научной библиотеке ТвГУ – <http://library.tversu.ru> поименован в списке основной 6, 7 и дополнительной 8 – 14 литературы.

#### **7.5. Требования к рейтинг-контролю.**

Максимальная сумма баллов, которые можно получить за семестр 100.

- полусеместровая и семестровая аттестации 40 баллов (две контрольных работы по 20 баллов);
- два бонусных задания 10 баллов (по 5 баллов каждый);
- 10 баллов за работу на занятиях в семестре;
- 40 баллов за выполнение всех лабораторных работ (4 балла за задание).

Все баллы, полученные в течение семестра, суммируются. Задания по лабораторным работам должны быть выполнены полностью.

В соответствии с Положением о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ:

Студенту, набравшему 50 баллов и выше по итогам работы в семестре, в экзаменационной ведомости и зачетной книжке выставляется оценка «зачтено».

Студент, набравший от 20 до 49 баллов включительно, сдает зачет в последнюю неделю семестра по данной дисциплине. Баллы, полученные на зачете, проставляются в ведомости.

Студенту, набравшему в течение семестра меньше 20 баллов, в экзаменационной ведомости выставляется оценка «незачтено». Данному студенту разрешается передача зачета по направлению деканата на последней неделе семестра.

#### **7.6. Примерные вопросы для полусеместровой рейтинговой аттестации**

Поведение ферромагнетиков в переменных и постоянных магнитных полях:

1. Особенности поведения ферромагнетиков в переменных магнитных полях. Причины отличия магнитных параметров, полученных в постоянных и переменных магнитных полях одинаковой амплитуды.
2. Динамические свойства магнетиков (общее определение).
3. Какие условия перемагничивания необходимо указывать, чтобы использовать магнитные характеристики, определенные в переменных магнитных полях.

#### Магнитный гистерезис:

1. Магнитный гистерезис. Петля гистерезиса. Определения, примеры.
2. Петля гистерезиса динамическая и статическая (сходство и отличие). Какие физические процессы ответственны за площадь петли гистерезиса. Обосновать на примере.
3. Динамическая петля гистерезиса. Определение. Зависимость ее формы от частоты при генераторе переменного напряжения ограниченной и неограниченной мощности.
4. Предельная петля гистерезиса (определение).
5. Частная петля гистерезиса, семейство частных петель гистерезиса (определения, примеры). Симметричные и несимметричные гистерезисные циклы.

#### Намагничивание ферромагнетиков в переменных и постоянных магнитных полях:

1. Кривая намагничивания (определение), виды кривых намагничивания.
2. Динамическая кривая намагничивания (основная кривая индукции). Определение. Сходство и различие между динамической и статической кривыми намагничивания.
3. Кривая первоначального намагничивания. Определение, способ измерения.
4. Кривая первоначального намагничивания (определение, условия получения, области кривой намагничивания, пример).
5. Основная кривая намагничивания (индукции). Определение, способ получения.



### Магнитная проницаемость:

1. Магнитная проницаемость (определение).
2. Максимальная амплитудная магнитная проницаемость  $\mu_{max}$ . Определение, форма записи (формульные выражения). Описать экспериментальные способы определения.
3. Начальная амплитудная магнитная проницаемость  $\mu_{нач}$ . Определение, форма записи (формульные выражения). Описать экспериментальные способы определения.
4. Динамическая амплитудная проницаемость  $\mu_n$ . Определение. Сходство и различие динамической  $\mu_n$  и статической  $\mu_a$  амплитудной проницаемости.
5. Амплитудная магнитная проницаемость и ее виды. Какая кривая намагничивания лежит в основе определения амплитудной магнитной проницаемости.

### **VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

Преподавание учебной дисциплины «Процессы перемагничивания магнетиков» строится на сочетании классических и проблемно-практических лекций, на которых в форме дискуссии рассматриваются элементы программы курса, требующие конкретного решения для предложенных граничных условий в алгоритме решения предложенной задачи. Практические навыки выполнения экспериментальных задач приобретаются в процессе выполнения лабораторных работ. В процессе двусторонней деятельности формируются умения логически мыслить, и применять физические законы для решения конкретных практических проблем, понимать смысл универсальности проявления законов природы. При необходимости, рассмотрение и решение практических задач ведется с

применением офисных, графических и научно-графических программ поименованных в разделе VI настоящей рабочей программы дисциплины.

Степень освоения рассматриваемого материала определяется в периоды полусеместровой и семестровой рейтинговой аттестации при проведении тестирования и самостоятельной письменной работы.

Удельный вес занятий лекционного типа от общего объема часов составляет 20%, на самостоятельную работу - 40% от общего числа часов.

#### **IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

<b>Наименование специальных* помещений</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебно-научная лаборатория магнитных и электрических измерений № 40 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вольтметр В7-78/1</li> <li>2. Экран настенный ScreenMedia 153*203</li> <li>3. Контроллер GPIB-USB-HS 778927-01</li> <li>4. Сканер для вольтметра В7-78/1</li> <li>5. Сканер для вольтметра В7-78/1</li> <li>6. Двухфазный Lock-in усилитель SR 830</li> <li>7. Двухфазный Lock-in усилитель SR 830</li> <li>8. Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5"</li> <li>9. Установка "Мишень"</li> <li>10. Системный блок P4 1.6 512/ASUS P4B266/DDR2*512/80Gb ST380021A(2ШТ)+клавиатура+мышь</li> <li>11. Переносной комплект мультимедийной техники</li> </ol>	<p>Google Chrome – бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p> <p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

Аудитория для проведения лекционных и практических занятий (А-40) оборудованная мультимедийной показывающей техникой.

Лабораторное оборудование кафедры физики конденсированного состояния, предназначенное для обеспечения практикума «Процессы перемангничивания магнетиков».

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт                  2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь                  3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-port DGS-1016D                  4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО                  5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО                  6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»                  7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно                  Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009                  Google Chrome - бесплатно                  Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно                  Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.                  Lazarus 1.4.0 - бесплатно                  Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно                  Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011                  MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012                  Microsoft Express Studio 4 - бесплатно                  MiKTeX 2.9 - бесплатно                  MPICH 64-bit – бесплатно                  MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно                  Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017                  MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.