

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 10.08.2023 16:07:15
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:



Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«30»

мая

2023 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, 2023

I. Аннотация

1. 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.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Процессы перемагничивания магнетиков» изучается в элективном модуле «Магнетизм» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она развивает практические навыки получения информации о магнитных свойствах реальных физических объектов. Для успешного освоения данной дисциплины необходимы знания по курсам «Физика магнитных явлений», «Физика магнитных материалов», «Микромагнетизм». Профессиональные компетенции, формируемые при изучении данной дисциплины необходимы при прохождении

производственной и преддипломной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы, 108 академических часов, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 26 часов, лабораторные работы 52 часа, в том числе практическая подготовка 52 часа;

самостоятельная работа: 30 часов, в том числе контроль 27 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи. УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	ПК-2.1. Проводит экспериментальные исследования с применением научно-исследовательского оборудования в соответствии с утвержденными методиками. ПК-2.2. Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 8 семестре.

6. 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
6. Методы измерения динамических свойства магнитомягких ферромагнетиков (динамические свойства магнетиков):	8			8
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		
Лабораторные работы				
1.Использование метода амперметра-	16		10	6

<p><u>вольтметра:</u></p> <p>1.1. Измерение динамической кривой намагничивания МММ;</p> <p>1.2. Изучение влияния частоты перемагничивания на ход динамической кривой намагничивания;</p> <p>1.3. Изучение влияния подмагничивания постоянным магнитным полем на форму динамической кривой намагничивания;</p> <p>1.4. Изучение зависимости коэффициента размагничивания от намагниченности по основным кривым намагничивания при изменении длины полосовых образцов.</p> <p>2. <u>Изучение потерь на перемагничивание (метод ваттметра):</u></p> <p>2.1. Изучение потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов в зависимости от величины индукции;</p> <p>2.2. Изучение частотной зависимости потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов;</p> <p>2.3. Разделение полных потерь на перемагничивание на составные части.</p> <p>2.4. Изучение влияния подмагничивания постоянным магнитным полем на величину потерь на перемагничивание ферромагнитных образцов.</p> <p>3. <u>Применение резонансных методов:</u></p> <p>3.1. Определение индуктивности катушки произвольных размеров резонансным способом;</p> <p>3.2. Определение компонент магнитной проницаемости магнитомягких материалов методом куметра;</p> <p>3.3. Определение частотной зависимости начальной магнитной проницаемости методом куметра.</p> <p>4. Использование осциллографа в магнитных измерениях:</p> <p>4.1. Исследование динамической петли гистерезиса методом электронного осциллографа.</p> <p>4.2. Исследование динамической петли гистерезиса ферромагнитных материалов двухканальным ферротестером TR-9801/A.</p> <p>Промежуточные аттестационные занятия (А3).</p>	16		10	6
<p>16</p> <p>16</p> <p>4</p>			10	6
ИТОГО	108	22	44	42

Ш. 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 могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 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>Владеть - 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>Уметь – 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</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.	характеристик ферромагнитных 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>
Начальный уметь - оценивать степень достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.	<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 $U = 80 \text{ В}$ не более $1,0\%$¹. Прибор имеет шкалу $0 \div 100 \text{ В}$. Класс точности на корпусе прибора обозначен одним числом¹.</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>

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

		5. При анализе полученных результатов свободно оценивает степень их достоверности на основании устоявшихся алгоритмов решения поставленной задачи.
Начальный знать - 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 Уметь – 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 Знать – 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>

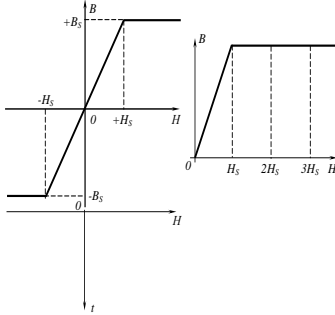
		<p>4. Хорошо знает предмет исследования и основные технические устройства, для получения информации о динамических магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>5. Свободно ориентируется в приборной базе и оборудовании, обеспечивающем возможность получения информации о динамических свойствах исследуемых объектов.</p>
<p>Промежуточный Уметь – 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 Знать - 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>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</p>	<p>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</p>	<p>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</p>
<p>Начальный</p> <p>Уметь – 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>Знать – 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 H_{cl} может быть определена как из кривой размагничивания в координатах «намагниченность – внешнее поле» $I(H_e)$, так и из кривой размагничивания в координатах «намагниченность внутреннее поле» $I(H_i)$. 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 Уметь – 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 H^- 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 $H_I = H_e - H_o = H_e - NI$, здесь H_e - внешнее перемагничивающее поле, H_o - собственное размагничивающее поле, величина которого принимается пропорциональной намагниченности испытуемого образца $H_o = NI$. Как называется коэффициент пропорциональности N, 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 Знать – 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:

1. Гуфан, А. Ю. Физика магнитных явлений : учебник / А. Ю. Гуфан. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2020. — 372 с. — ISBN 978-5-9275-3552-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180688>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Лилеев, А. С. Механизмы перемагничивания магнитных материалов. Моделирование процессов перемагничивания : учебное пособие / А. С. Лилеев. — Москва : МИСИС, 2020. — 49 с. — ISBN 978-5-907226-94-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156005>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. 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 / А. Н. Зайдель. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-0643-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167741>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Аксенова, Е. Н. Методы оценки погрешностей при измерениях физических величин : учебно-методическое пособие / Е. Н. Аксенова, Н. П. Калашников. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 40 с. — ISBN 978-5-8114-3559-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/113371>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. 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.
4. Пастушенков, А.Г. Электрические измерения магнитных величин [Электронный ресурс] : [учеб. пособие]. (Ч. 1) / А. Г. Пастушенков ; Твер. гос. ун-т, Каф. магнетизма. - Тверь : Тверской государственный университет, 2000. - 121 с.
5. 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).

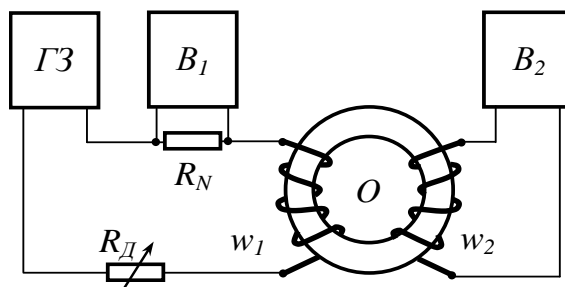


Рис. 1. ГЗ - генератор звуковых сигналов; B_1 и B_2 - вольтметры переменного тока; O - образец; w_1 и w_2 - намагничивающая и измерительная обмотки; R_N – одноомное сопротивление; R_D – добавочное сопротивление

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.

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.

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

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

$$\mu_{ампл.} = \frac{B_i}{H_i} \left[\frac{Гс}{Э} \right] \quad (3)$$

как функцию от внешнего намагничивающего поля.

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

Графически начальная $\mu_{нач}$ и максимальная μ_{max} магнитные проницаемости определяются из измеренных кривых намагничивания. Иметь в виду, что в случае равенства масштабов по осям B и H $\mu_{нач} = \text{tg } \alpha$, а $\mu_{max} = \text{tg } \beta$ (рис. 2). Угол α – угол AOH между касательной к кривой намагничивания при намагничивающем поле стремящемся к 0 и осью поля. Угол β – 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 $\mu = k \cdot \text{tg } \alpha$ (β). k –

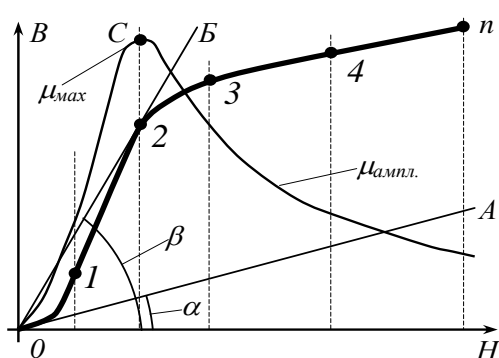


Рис. 2. К методике определения $\mu_{нач}$, μ_{max} и $\mu_{ампл}$

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 (Δ) и относительную (δ) 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 $m_B = \frac{U_{2cp}}{4w_2fS} \cdot \frac{1}{a_B}$.

- Если намагничивающую обмотку испытуемого образца w_I представить в виде однослойного соленоида, то напряженность магнитного поля в его геометрическом центре можно рассчитать из соотношения

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

здесь w_I – 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

$$H = \frac{w_I I}{l} \left[\frac{A}{M} \right].$$

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 соответствие 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 μ_{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 μ_n . Определение. Сходство и различие динамической μ_n и статической μ_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

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Учебно-научная лаборатория магнитных и электрических измерений № 40 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Лабораторные электронные весы с гирей M-ER 122ACF JR-600.01 LCD 2. Вольтметр АКПП-2101 3. Вольтметр АКПП-2101 4. Источник питания с опцией интерфейса USB АКПП-1141 5. Источник питания с опцией интерфейса USB АКПП-1141 6. Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S 7. Компьютер с монитором 940N Core 6550 Vox/Asus P5KSE/2*1024DDRII/160/7200/DVDRW/ 8. Экран настенный ScreenMedia 153*203 9. Мультиметр цифровой высокой точности UT804 10. Установка импульсного намагничивания "Мишень" 11. Мультиметр цифровой высокой точности UT804 (2 шт.) 12. Электромагнит (3 шт.) 13. Электромагнит ЭМ-1 14. Осциллограф С-1-68 15. Ферротестер 16. Блок питания Б5-9 17. Вольтметр В7-27А (2 шт.) 18. Генератор Г3-102 (3 шт.) 19. Источник питания Б-5-8 (2 шт) 20. Осциллограф С-1-65 	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.</p> <p>Kaspersky Endpoint Security для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020</p> <p>Архиватор 7-Zip - бесплатно</p> <p>Acrobat Reader DC - бесплатно</p> <p>Google Chrome – бесплатно</p> <p>Почта Outlook – бесплатно</p> <p>Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;</p> <p>NI MAX Measurement & Automation Explorer – бесплатно</p> <p>Microsoft Visual Studio 2019 - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.</p> <p>Mozilla Firefox -бесплатно</p>

	21. Генератор ГЗ-34 (2 шт.) 22. Блок питания Б-5-21 23. Микровеберметр Ф-190 24. Проектор VenQ MP777 25. Блок питания 26. Вольтметр В-7-23 27. Генератор ГЗ-109 28. Генератор Ф-578 29. Источник питания Б-5-21	
--	---	--

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</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 IC00000027 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 -</p>

(170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	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
---	--

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	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
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.

6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021