

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 23.08.2022 12:11:05
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf375f08

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)

Магнитные измерения

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

3 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

Магнитные измерения

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.).

Задачами освоения дисциплины являются:

- знакомство студентов с основными методиками измерения, метрологическими характеристиками и способами применения магнитоизмерительных систем для получения информации о свойствах магнитотвердых и магнитомягких материалов в статических магнитных полях;
- выработка практических навыков работы с магнитоизмерительными системами;
- подготовка обучающихся к прохождению всех видов практик, выполнению научно-исследовательской и выпускной квалификационной работы.

3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Магнитные измерения» (Б1.В.ДВ.05.01) входит в вариативную часть учебного плана и относится к дисциплинам по углублению профессиональных компетенций курсов по выбору. 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», «Процессы перемагничивания магнетиков», «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 36 часов, лабораторные работы 36 часов, **самостоятельная работа:** 36 часов.

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>ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.</p>	<p>Знать: предмет исследования и возможные способы получения необходимой измерительной информации.</p> <p>Уметь: оценивать степень достоверности получаемой информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>Владеть: навыками физического мышления для выработки системного, целостного взгляда на проблемы, возникающие при планировании и решении поставленной экспериментальной задачи.</p>
<p>ПК-2 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 информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>Знать: оборудование и приборную базу, обеспечивающую возможность получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>Уметь: составить схему измерительной системы для выполнения поставленной экспериментальной задачи.</p>
<p>ПК-3 готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований.</p>	<p>Знать: закономерности формирования и проявления магнитных свойств объектов исследования и методы их измерения.</p> <p>Уметь: практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений и планирования выполнения экспериментальной задачи.</p>

6. Форма промежуточного контроля зачет (5 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

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные занятия	
Введение в технику магнитных измерений				
1. <i>Измерение физических величин:</i> Элементарные сведения об измерениях. Ошибки, виды ошибок. О точности вычислений, необходимое число измерений.	4	4		
2. <i>Средства электрических измерений (виды и характеристики):</i> Определение, метрологические характеристики, способы выражения и нормирования пределов допустимых погрешностей, эталоны, образцовые и рабочие меры.	4	2		2
3. <i>Магнитные измерения:</i> Определение. Задачи магнитных измерений. Предмет исследования. Гистерезис, параметры петли гистерезиса. Классификация магнитных материалов и методов магнитных измерений; структура построения СМИ.	8	6		2
4. <i>Способы получения магнитных полей:</i> переменные, постоянные и импульсные магнитные поля. Устройства для получения статических магнитных полей, основные правила и соотношения.	6	4		2
5. <i>Первичные преобразователи магнитных величин:</i> Определение. Классификация. Типы. Структура построения и свойства. Области применения.	6	4		2
6. <i>Магнитная цепь:</i> Определение. Применение разомкнутой магнитной цепи для измерения магнитных свойств образцов МТМ малых размеров.	6	4		2
7. <i>Гистериографы:</i> Применение неполностью замкнутой и замкнутой магнитной цепи.	4	4		

8. <i>Определение погрешности при проведении измерения магнитных величин: определение исходных параметров исследуемых образцов, определение и расчет погрешностей, подготовка объектов исследования.</i>	6	4		2
9. Импульсные магнитные поля.	2	2		
10. Особенности работы исследователей в условиях сильных магнитных полей.	2	2		
2. Получение и измерение статических магнитных полей				
Введение в технику эксперимента (планирование и выполнение эксперимента).	2		2	
<u>Статические свойства магнетиков (часть 1)</u>	14		8	6
1. Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.				
2. Изучение зависимости индукции и топографии магнитного поля соленоида от величины протекающего тока.				
3. Расчет индукции магнитного поля катушки с током, определение постоянной соленоида.				
4. Определение параметров соленоида с помощью микровеберметра Ф190.				
<u>Статические свойства магнетиков (часть 2)</u>	16		10	6
5. Градуировка (поверка) магнитоэлектрического веберметра (флюксметра)				
6. Определение зависимости величины индукции магнитного поля в межполюсном пространстве электромагнита от величины намагничивающего тока.				
7. Определение зависимости величины индукции магнитного поля от ширины межполюсного пространства электромагнита при фиксированном значении намагничивающего тока .				
8. Определение остаточной индукции и индукции в рабочей точке постоянного магнита правильной формы.				
<i>Промежуточное аттестационное занятие.</i>	2		2	

<u>Статические свойства магнетиков</u> (часть 3)	12		6	6
9. Использование ядерного магнитного резонанса для измерения статических магнитных полей.				
<u>Статические свойства магнетиков</u> (часть 4)	12		6	6
10. Измерение кривой размагничиваний магнитотвердого материала методом вибрационного магнитометра (определение гистерезисных свойств).				
11. Определение зависимости собственного поля размагничивания от намагниченности исследуемого объекта в разомкнутой магнитной цепи.				
<i>Промежуточное аттестационное занятие.</i>	2		2	
ИТОГО:	108	36	36	36

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 «Магнитные измерения» 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
Заключительный Владеть - навыками физического мышления для выработки системного, целостного взгляда на проблемы, возникающие при планировании и решении поставленной экспериментальной задачи.	1 - Описать порядок принятия решения при выборе формы объекта исследования при составлении структурной схемы для измерения статической кривой намагничивания при измерении магнитного параметра магнитометрическим методом. 2 - Описать алгоритм принятия решения при обосновании «замечательных соотношений и неравенств» с использованием идеальной кривой размагничивания.	1. Не владеет навыками физического мышления и системного подхода при решении проблем, возникающих в процессе планирования и решения поставленной физической задачи. 2. Владеет отдельными навыками физического мышления и системного подхода при выполнении поставленной должностной практической задачи. 3. Удовлетворительно владеет навыками физического мышления и системного подхода при выполнении поставленной должностной задачи, использует основы планирования. 4. Хорошо владеет навыками физического мышления и системного подхода при выполнении поставленной должностной практической задачи.

		5. Свободно ориентируется системном подходе при решении проблем, возникающих в процессе планирования и решения поставленной физической задачи.
<p>Заключительный Уметь – использовать навыки физического мышления и системного подхода при решении проблем, возникающих при выполнении практической задачи.</p>	<p>1 - Описать алгоритм измерения основной кривой намагничивания магнитотвердого материала магнитометрическим методом.</p> <p>2 - Описать алгоритм измерения кривой размагничивания (петли гистерезиса) магнитотвердого материала магнитометрическим методом.</p>	<p>1. Не умеет физически мыслить и системного решать проблемы, возникающие в процессе планирования и выполнения поставленной физической задачи.</p> <p>2. Умеет пользоваться отдельными навыками физического мышления и системного подхода при выполнении поставленной должностной практической задачи.</p> <p>3. Умеет удовлетворительно пользоваться навыками физического мышления и системного подхода при выполнении поставленной должностной задачи, использует основы планирования.</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 решении проблем, возникающих в процессе планирования и решения поставленной физической задачи.</p>
<p>Начальный уметь самостоятельно анализировать полученные результаты с использованием устоявшихся алгоритмов.</p>	<p>1. По каким признакам ферромагнитные материалы делятся на магнитотвердые и магнитомягкие.</p> <p>2. Каким классом точности должен обладать вольтметр для того, чтобы обеспечить относительную погрешность измерения напряжения $U = 80 \text{ В}$ не более $1,0\%^1$.</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</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.)

	<p>Прибор имеет шкалу $0 \div 100$ В. Класс точности на корпусе прибора обозначен одним числом¹.</p>	<p>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> <p>5. При анализе полученных результатов свободно рассматривает полученные результаты с использованием устоявшихся алгоритмов.</p>
<p>Начальный знать условия получения сигнала измерительной информации для правильного выбора методики эксперимента и технического оборудования для обеспечения необходимой (или возможной) достоверности полученной измерительной информации.</p>	<p>1. Описать алгоритм получения погрешностей измерения физической величины, полученной косвенным путем.</p> <p>2. Какую информацию о намагничивании и перемагничивании ферромагнетика можно получить из полевых зависимостей проницаемостей возрастания и убывания?</p>	<p>1. Не знает основных законов и алгоритмов получения опытных данных обеспечивающих выполнение задачи с необходимой достоверностью.</p> <p>2. Знает лишь отдельные законы и алгоритмы сбора экспериментальных данных обеспечивающих выполнение задачи с необходимой достоверностью.</p> <p>3. Удовлетворительно знает основные законы и алгоритмы получения экспериментальных данных обеспечивающих выполнение задачи с необходимой достоверностью.</p> <p>4. Хорошо знает основные законы и алгоритмы получения экспериментальных данных, обеспечивающих выполнение задачи с необходимой достоверностью.</p> <p>5. Исчерпывающе владеет знаниями основных законов и алгоритмов получения экспериментальных данных, обеспечивающих выполнение задачи с необходимой достоверностью.</p>

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
<p>Начальный</p> <p>Уметь – используя устоявшиеся алгоритмы под руководством специалиста уметь воспроизвести схему для измерения необходимых магнитных параметров при выполнении поставленного экспериментального задания.</p>	<p>1. Из зависимостей, каких магнитных величин от перемещающегося поля можно определить величину коэрцитивной силы по намагниченности H_{cl} (показать на примере).</p> <p>2 - Описать алгоритм измерения основной кривой намагничивания магнитомягкого материала коммутационным методом.</p>	<p>1. Не умеет применять стандартные алгоритмы для получения сведений о магнитных параметрах ферромагнитных объектов.</p> <p>2. Имеет отдельные представления о способах получения сведений о магнитных параметрах ферромагнитных объектов.</p> <p>3. Удовлетворительно разбирается в алгоритмах, используемых при получения сведений о магнитных параметрах ферромагнитных объектов.</p> <p>4. Хорошо ориентируется в алгоритмах, используемых получения сведений о магнитных параметрах ферромагнитных объектов.</p> <p>5. Свободно владеет способами использования стандартных алгоритмов получения сведений о магнитных параметрах ферромагнитных объектов.</p>
<p>Начальный</p> <p>Знать – какие магнитоизмерительные установки и приборы можно использовать для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p>	<p>1 – Магнитные характеристики, определяемые с помощью измерительных приборов (определения, способы измерения).</p> <p>2 - Описать алгоритм измерения индукции магнитного поля при использовании метода непосредственной оценки или</p>	<p>1. Не знает, какие магнитоизмерительные установки и приборы можно использовать для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>2. Имеет отрывочные представления о способах получения информации о магнитных свойствах</p>

	методов сравнения.	<p>исследуемых объектов.</p> <p>3. Удовлетворительно знает о способах получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов, делает отдельные ошибки.</p> <p>4. Хорошо знает предмет исследования и основные технические устройства, для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>5. Свободно ориентируется в приборной базе для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p>
<p>Промежуточный</p> <p>Уметь – используя устоявшиеся алгоритмы сформировать и воспроизвести схему для измерения необходимых зависимостей магнитных параметров от перемещающегося поля в рамках поставленного экспериментального задания.</p>	<p>1 - Разомкнутая магнитная цепь. Определение. Принципы построения системы «электромагнит-образец». Соотношения между геометрическими размерами образца и параметрами межполюсного пространства.</p> <p>2 - Замкнутая магнитная цепь. Соотношения между геометрическими размерами образца и параметрами межполюсного пространства. Расположение первичных преобразователей магнитных величин.</p>	<p>1. Не умеет составлять алгоритм выполнения поставленной экспериментальной задачи.</p> <p>2. Имеет отдельные представления о составлении алгоритма выполнения поставленной экспериментальной задачи.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет основными навыками составления алгоритма выполнения поставленной экспериментальной задачи</p> <p>4. Хорошо владеет навыками составления алгоритмов выполнения поставленной экспериментальной задачи.</p> <p>5. Свободно владеет навыками составления алгоритмов выполнения поставленной экспериментальной задачи</p>
<p>Промежуточный</p> <p>Знать - оборудование и приборную базу, обеспечивающую возможность получения информации о</p>	<p>1. Разомкнутая магнитная цепь: основной признак, определение.</p> <p>2. Какие объекты исследования (форма и расположение преобразователей магнитных</p>	<p>1. Не знает приборы и установки для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>2. Имеет отрывочные</p>

<p>гистерезисных характеристиках ферромагнитных объектов.</p>	<p>величин) используются при измерении гистерезисных кривых в замкнутой магнитной цепи?</p>	<p>представления о приборах и установках для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>3. Удовлетворительно знает основные технические устройства, для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов, допускает отдельные ошибки.</p> <p>4. Хорошо знает приборы и установки для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p> <p>5. Свободно оперирует знаниями о приборах и установках для получения информации о магнитных свойствах исследуемых объектов.</p>
---	---	--

3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-3: готовность 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 Уметь – практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования и магнитных измерений.</p>	<p>1 – Способы определения удельной намагниченности ферромагнитных объектов.</p> <p>2 - Как на практике производится учет собственного поля размагничивания при измерении кривой намагничивания объекта исследования в разомкнутой магнитной цепи?</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 исследования и магнитных измерений.</p> <p>4. Хорошо ориентируется в</p>

		<p>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 магнитных свойств объектов исследования и методы 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</p> <p>Уметь – практически использовать знания в области магнитных свойств объектов исследования конечной формы, магнитных измерений и планировании выполнения поставленной</p>	<p>1 - Несимметрично неполностью замкнутая магнитная цепь. Принципы построения системы «электромагнит-образец». Соотношения между геометрическими размерами образца и параметрами межполюсного пространства. Расположение первичных</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</p>

<p>экспериментальной задачи.</p>	<p>преобразователей.</p> <p>2. Описать алгоритм измерения кривой размагничивания. Описание начать с приведения исследуемого образца в исходное состояние. Обратит внимание на свои действия в области нулевого значения магнитного параметра.</p>	<p>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 - закономерности формирования сигнала измерительной информации при измерении магнитных свойств и их зависимостей от намагничивающего поля при использовании образцов конечных размеров.</p>	<p>1 - Определение индукции исследуемых объектов в замкнутой магнитной цепи в межполюсном пространстве электромагнита. Расположение первичных преобразователей магнитных величин.</p> <p>2 - Перечислить магнитные параметры, характеризующие образец конечных размеров.</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 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</p>

		<p>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. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин: учебное пособие. - Изд. 3-е, стер. – СПб.: Лань, 2009. - 106 с. - Электронный ресурс. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=146
2. Бастраков, В.М. Метрология: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. — 288 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93227> .

б) Дополнительная литература:

3. Боровик Е. С. Лекции по магнетизму. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 510 с. - Электронный ресурс. - Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475>
4. 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.
5. 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.
6. Вибрационный магнитометр [Электронный ресурс]: Техн. описание и инструкция по эксплуатации / Твер. гос. ун-т, Каф. магнетизма; [сост. А.Г. Пастушенков]. - Тверь: Тверской государственный университет, 2000. - 30 с.
 7. Холловский гистериограф [Электронный ресурс]: структура построения и руководство пользователя / Твер. гос. ун-т, Каф. магнетизма; [сост. А.Г. Пастушенков]. - Тверь: Тверской государственный университет, 2001. - 32 с
 8. Пастушенков, Александр Григорьевич. Статистические свойства магнетиков [Электронный ресурс]: [учеб.-метод. пособие]. Ч. 1: Получение и измерение статистических магнитных полей (соленоиды) / А.Г. Пастушенков; Твер. гос. ун-т, Каф. магнетизма. - Тверь: Тверской государственный университет, 2001. - 41 с.
 9. Бикулов, А.М. Методы и средства измерений. Учебное пособие для поверителей средств теплотехнических и физико-химических измерений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : АСМС, 2005. — 132 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/69318>
 10. Богомолов, Ю.А. Оценивание погрешностей измерений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.А. Богомолов, Н.Я. Медовикова. — Электрон. дан. — Москва : АСМС, 2013. — 52 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/69297>

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.

1. Лабораторная работа №1: Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.
2. Лабораторная работа №2: Изучение зависимости индукции и топографии магнитного поля соленоида от величины протекающего тока.
3. Лабораторная работа №3: Расчет индукции магнитного поля катушки с током, определение постоянной соленоида.
4. Лабораторная работа №4. Градуировка (поверка) магнитоэлектрического веберметра (флюксметра)*.
5. Лабораторная работа №5. Определение зависимости величины индукции магнитного поля в межполюсном пространстве электромагнита от величины намагничивающего тока.
6. Лабораторная работа №6. Определение зависимости величины индукции магнитного поля от ширины межполюсного пространства электромагнита при фиксированном значении намагничивающего тока .
7. Лабораторная работа №7. Определение остаточной индукции и индукции в рабочей точке постоянного магнита правильной формы.
8. Лабораторная работа №8. Определение параметров соленоида с помощью микровеберметра Ф190.
9. Лабораторная работа №9. Использование ядерного магнитного резонанса для измерения статических магнитных полей.
10. Лабораторная работа №10. Измерение кривой размагничиваний магнитотвердого материала методом вибрационного магнитометра (определение гистерезисных свойств).
11. Лабораторная работа №11. Определение зависимости собственного поля размагничивания от намагниченности исследуемого объекта в разомкнутой магнитной цепи.

* Задания со звездочкой выполняются по требованию преподавателя.

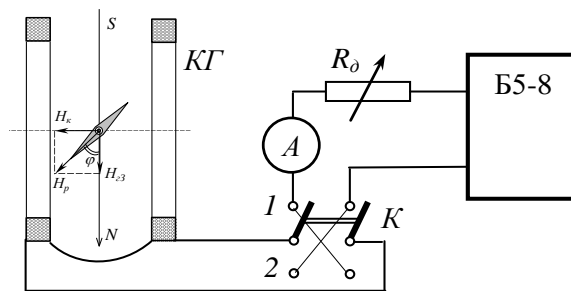


Рис. 1. Схема измерительного устройства

7.2. Примеры выполнения лабораторных работ

1. Лабораторная работа №1

Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Цель работы: практическое освоение магнитометрического метода для измерения постоянного магнитного поля до 1 Э (79,6 А/м) - горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Используемые приборы и оборудование: Магнитометрический измерительный механизм, состоящий из колец Гельмгольца ($y_1=8,9$ см, $y_2=10$ см, $y_{cp}=9,45$ см, $x_1=0,55$ см, $ab=ac=1,1$ см, $w=225$ – одного кольца), магнитной стрелки и подставки с лимбом²; источник постоянного тока Б5-8, добавочное сопротивление - магазин сопротивлений Р33 с общим сопротивлением 99999,9 Ом, миллиамперметр, ключ - коммутатор.

Задание 1.

Измерение проводится путем сравнения измеряемого магнитного поля (горизонтальной составляющей магнитного поля Земли) и магнитного поля колец Гельмгольца. При отклонении магнитной стрелки на 45° считается, что поле колец Гельмгольца равно по величине измеряемому магнитному полю (рис. 1).

Значение поля H_k в центре катушек Гельмгольца находится из выражения (1), значение тока I находится экспериментально

$$H_k = 0,89918 \frac{wI}{y_{cp}} \left(1 - \frac{(ac)^2}{15y_{cp}^2} \right) \quad (1)$$

² На подставке нанесена круговая шкала с ценой деления 5° и две перпендикулярные оси, делящие шкалу на 4 сектора с углами при вершинах 90° .

Задание 2.

Как правило, ось катушек Гельмгольца довольно трудно расположить точно перпендикулярно направлению север-юг. Однако величину H_{23} можно определить без точной ориентировки катушек Гельмгольца используя соотношение

$$H_{23} = H_{\kappa} \frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}{\sqrt{\sin^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_2 - 2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}}, \quad (2)$$

здесь углы φ_1 и φ_2 – отклонение от начального положения стрелки прямого и обратного направлений тока выбранной величины, протекающего в катушках Гельмгольца (рис. 5³).

Второе задание выполняется также с использованием измерительной схемы (рис. 1).

Примечание: значения токов I_1 и I_2 , а также углов φ_1 , φ_2 , φ_1^2 и φ_2^2 при использовании 1-го и 2-го способов измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли находятся как средние значения из не менее чем 5-и независимых измерений.

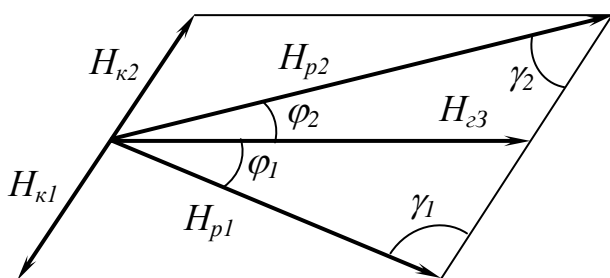


Рис. 5.

7.3. Примеры заданий для промежуточной аттестации успеваемости

7.3.1. Типовые задания для оценивания результатов сформированности компетенции

ПК-1.

Категория знать:

- Магнитные измерения: определение, задачи, предмет исследования (обосновать на примерах).
- Магнитный гистерезис. Петля гистерезиса, параметры петли гистерезиса (определения).

Категория уметь:

³ Нумерация рисунка сохраняется такой же, как и в описании лабораторных работ.

- Когда выполняется равенство $H_{cl} = H_{cb}$ (обосновать графически).
- Рассчитать абсолютную (Δ или S) 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:

- Написать соотношения между параметрами петель гистерезиса, построенных в координатах $B(H)$ и $I(H)$ (рассматривать идеальные петли гистерезиса) если $H_{cl} > H_{cb}$.
- Перечислить и проанализировать причины получения и величины ошибок при определении плотности объектов исследования делением массы исследуемого объекта на его объем и гидростатического взвешивания..

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:

- Как на практике производится учет собственного поля размагничивания исследуемого объекта.
- Определение индукции исследуемых объектов. Расположение преобразователей относительно образца и направления перемещающегося поля (описать на примере одной из магнитных цепей).

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

Категория знать:

- Способ определения удельной намагниченности исследуемого объекта. Описать расположение преобразователей магнитных величин относительно образца и направления намагничивающего поля.
- Разомкнутая магнитная цепь. Определение. Принципы построения системы «электромагнит-образец». Соотношения между геометрическими размерами образца и параметрами межполюсного пространства.

Категория уметь:

- Описать порядок действий при размагничивании образца обратным полем. Описание начать с приведения размагничиваемого образца в исходное состояние.
- Неполностью замкнутая магнитная цепь. Способы построения и расположения первичных преобразователей магнитных величин.

7.4. Методические указания для решения практических вопросов

Перечень методических разработок, доступных в научной библиотеке ТвГУ – <http://library.tversu.ru> поименован в списке основной 3, 4, 5 и дополнительной 1 – 7 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

Термины и определения:

1. Магнитные измерения: определение, измеряемые величины (показать на примерах).
2. Магнитный гистерезис. Петля гистерезиса, параметры петли гистерезиса (определения).
3. Магнитный гистерезис. Кривая намагничивания, параметры кривой намагничивания (определения).
4. Петля гистерезиса, сходство и отличие петель гистерезиса построенных в координатах $I(H)$ и $B(H)$ (показать на примере).
5. Петля гистерезиса (определение). Параметры петли гистерезиса, построенной в координатах $B(H)$.

Параметры петли гистерезиса:

1. Петля гистерезиса. Справедливо ли выражение $H_{cI} \geq H_{cB}$ (обосновать схематически).
2. Петля гистерезиса. Когда выполняется равенство $H_{cI} = H_{cB}$ (показать схематически).
3. Справедливо ли неравенство (численно) $H_{cB} \leq B_r$ (обосновать на примере).
4. Почему теоретический предел максимального энергетического произведения равен $\frac{B_r^2}{4}$ (обосновать)?

5. Какое минимальное значение должна иметь H_{cl} чтобы выполнялось равенство между реальным значением и теоретическим пределом максимального энергетического произведения.

Электромагниты, магнитные цепи:

1. Описать структуру построения электромагнитов, работающих в условиях ненасыщенного и насыщенного магнитопровода.
2. Электромагниты. Магнитопроводы замкнутого типа (способы построения и области применения).
3. Электромагниты. Магнитопроводы разомкнутого типа (устройство и область применения).
4. Электромагниты. Классификация по габаритам и соотношению между медью и железом.
5. Классификация магнитных цепей (основной классификационный признак, пример).

Примеры графические задач:

1. Построить зависимость $B(H)$ при перемагничивании исследуемого образца по замкнутому циклу. Определить сдвиг фазы между зависимостями $B(t)$ и $H(t)$.

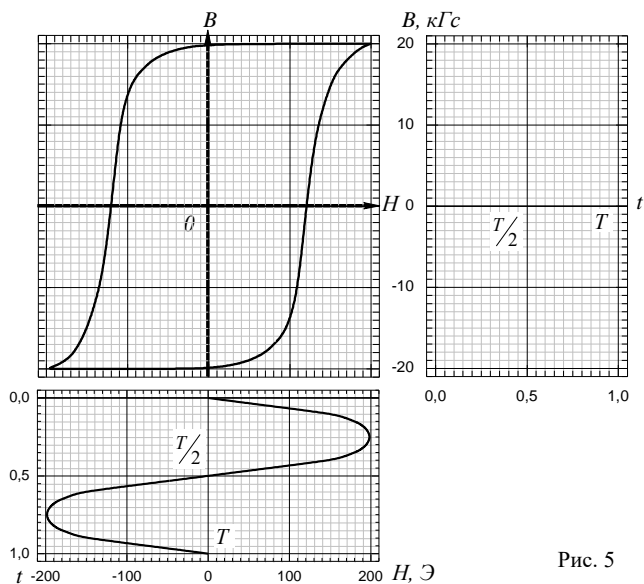


Рис. 5

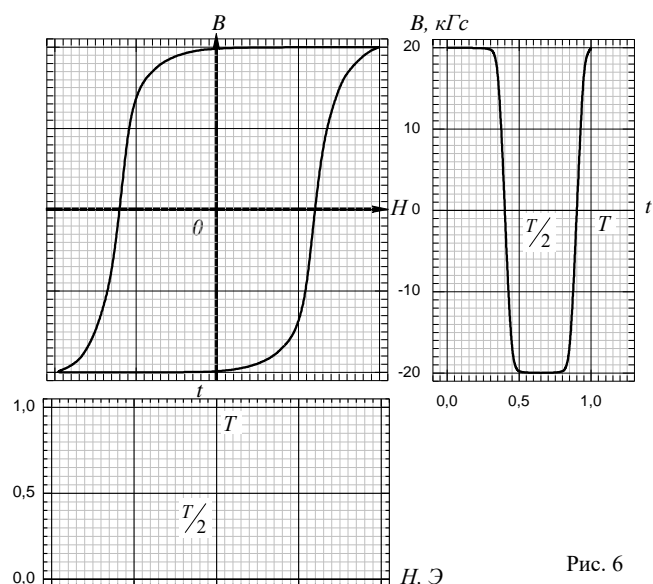


Рис. 6

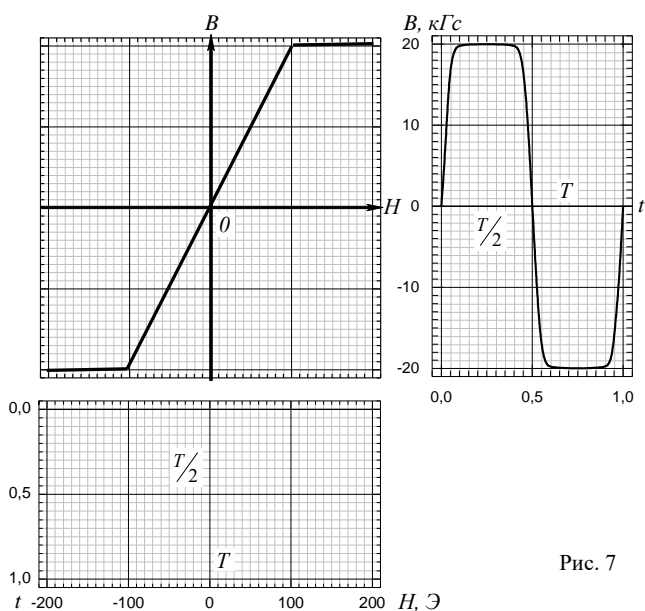


Рис. 7

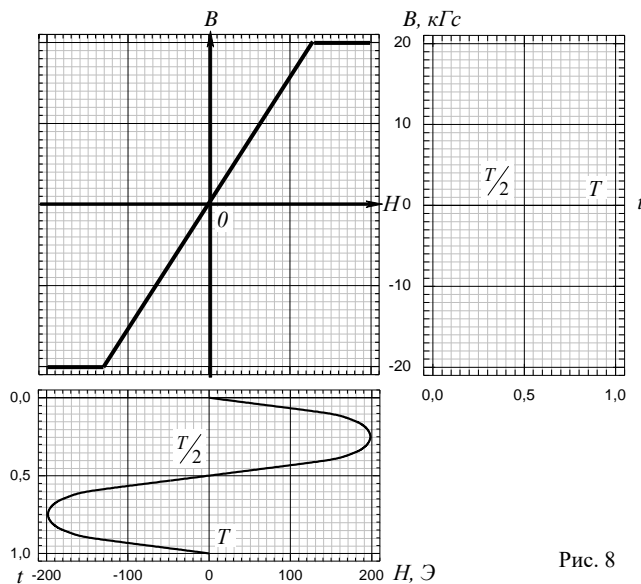


Рис. 8

7.7. Примерные вопросы для семестровой рейтинговой аттестации.

Термины и определения:

1. Удельная намагниченность (определение, единицы измерения).
2. Намагниченность (определение, единицы измерения).
3. Максимальная магнитная проницаемость (определение, способ измерения и расчета). Показать на примере.
4. Коэффициент возврата (определение, способ измерения и расчета). Показать на примере.

5. Коэффициент прямоугольности петли гистерезиса для магнитотвердых материалов (определение, формула для расчета, физический смысл).

Вопросы практики магнитных измерений:

1. Описать алгоритм измерения петли гистерезиса. Описание начать с приведения исследуемого образца в исходное состояние. Обратит внимание на свои действия в области нулевого значения магнитного параметра.
2. Описать алгоритм измерения семейства частных петель гистерезиса при изменении перемагничивающего поля с возрастающей амплитудой. Описание начать с приведения исследуемого образца в исходное состояние.
3. Описать алгоритм измерения кривой намагничивания. Описание начать с приведения исследуемого образца в исходное состояние.
4. Описать алгоритм измерения кривой размагничивания. Описание начать с приведения исследуемого образца в исходное состояние. Обратит внимание на свои действия в области нулевого значения магнитного параметра.
5. Описать алгоритм измерения кривой возврата. Описание начать с приведения исследуемого образца в исходное состояние.

Техника магнитных измерений:

1. Перечислить магнитные параметры, характеризующие магнитный материал.
2. Перечислить магнитные параметры, характеризующие образец конечных размеров.
3. Определение удельной намагниченности исследуемых объектов. Расположение преобразователей относительно образца и направления перемагничивающего поля.
4. Определение намагниченности исследуемых объектов. Расположение преобразователей относительно образца и направления перемагничивающего поля.

5. Определение индукции исследуемых объектов. Расположение преобразователей относительно образца и направления перемещающегося поля.

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 «Актуальные проблемы магнетизма» 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 практических 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. Практические навыки выполнения экспериментальных задач приобретаются в процессе выполнения лабораторных работ. 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 33%, на самостоятельную работу - 33% 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
Учебно-научная лаборатория магнитных и электрических измерений № 40 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вольтметр В7-78/1 2. Экран настенный ScreenMedia 153*203 3. Контроллер GPIB-USB-HS 778927-01 4. Сканер для вольтметра В7-78/1 5. Сканер для вольтметра В7-78/1 6. Двухфазный Lock-in усилитель SR 830 7. Двухфазный Lock-in усилитель SR 830 8. Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 9. Установка "Мишень" 10. Системный блок P4 1.6 512/ASUS P4B266/DDR2*512/80Gb ST380021A(2ШТ)+клавиатура+мышь 11. Переносной комплект мультимедийной техники 	<p>Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Компьютерный класс № 216 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Компьютер INT Allegro, монитор Benq 24" GL2460 – 10 шт. 2. Коммутатор D-Link DGS-1008D 3. Коммутатор D-Link DGS-1008D 4. Проектор Beng MW523 DLP с потолочным креплением и проекционным экраном 5. Комплект учебной мебели 	<p>Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

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 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 - 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.