

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

---

Кафедра №6

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель направления

ДОЦ., К.Т.Н., ДОЦ.

(должность, уч. степень, звание)



Т.П. Мишура

(подпись)

20.05.2020г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов»  
(Название дисциплины)

Код направления	27.03.01
Наименование направления	Стандартизация и метрология
Наименование направленности	Метрология, стандартизация, сертификация
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург 2020г.

## Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил(а)

доцент, к.т.н.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата 20.05.20г

К.В.Епифанцев

инициалы, фамилия

Программа одобрена на заседании кафедры № 6

«20»мая 2020 г, протокол № 11

/Заведующий кафедрой № 6

д.э.н., проф.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата 20.05.20г

В.В. Окрепилов

инициалы, фамилия

Ответственный за ОП 27.03.01(01)

доцент, к.т.н.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата 20.05.20г

К.В.Епифанцев

инициалы, фамилия

Заместитель директора института (декана факультета) № ФПТИ по методической работе

доц., к.т.н., доц.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата 20.05.20г

В.А. Голубков

инициалы, фамилия

### Аннотация

Дисциплина «Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов» входит в вариативную часть образовательной программы подготовки обучающихся по направлению 27.03.01 «Стандартизация и метрология» направленность «Метрология, стандартизация, сертификация». Дисциплина реализуется кафедрой №6.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общекультурных компетенций:

ПК-3 «способность выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю; использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством»,

ПК-22 «способность производить сбор и анализ исходных информационных данных для проектирования средств измерения, контроля и испытаний»,

ПК-23 «способность принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов разрабатываемых средств измерений, испытаний и контроля в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования»,

ПК-24 «способность разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам; проводить метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации».

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с преобразованиями различных физических величин, с принципами построения и областями применения типовых измерительных преобразователей (ИП), с определением их нормируемых метрологических характеристик.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, практические занятия, самостоятельную работу студента, консультации, курсовое проектирование.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский».

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

Цель изучения дисциплины – получение студентами необходимых знаний и навыков в области измерительных преобразований (принципов) и измерительных преобразователей, их технического, программного и метрологического обеспечения, подготовка будущего бакалавра к решению организационных, научных и технических задач при проведении измерений и контроля в научных исследованиях и промышленности.

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

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями: ПК-3 «способность выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю; использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством»,

**знать** – методы измерений, средства измерений, методы контроля готовой продукции;

**уметь**- применять на практике в сфере профессиональной деятельности знания и навыки, в области поверки и калибровки приборов, учета погрешностей различного рода;

**владеть навыками** - использования стандартных средств измерений и контроля.

**иметь опыт деятельности** – опыт работы с механическим и автоматическим измерительным оборудованием, штанген-инструментом, микрометрическим инструментом и координатно-измерительными машинами .

ПК-22 «способность производить сбор и анализ исходных информационных данных для проектирования средств измерения, контроля и испытаний»,

**знать** – главные задачи по обеспечению единства измерений, знать программные продукты по созданию базы данных предприятия по измерениям;

**уметь** - использовать современные информационные технологии при проектировании средств метрологического обеспечения, стандартизации и определения соответствия установленным нормам.

**владеть навыками** - по разработке планов, программ и методик измерений, испытаний; проводить поверку, калибровку средств измерений;

- способы оценки точности и неопределенности измерений;

- осуществлять метрологическую экспертизу технической и технологической документации;

- осуществлять метрологический надзор за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин,

применяемыми для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений;

**иметь опыт деятельности** - по внедрению современных информационных технологий метрологического обеспечения, стандартизации, подтверждения соответствия и управления качеством, по работе с Lab View, Multisim, Асоми.

ПК-23 «способность принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов разрабатываемых средств измерений, испытаний и контроля в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования»:

**знать** – физические основы и теорию измерений, принципы построения измерительных преобразователей и средств измерений;

- способы преобразований и методы повышения точности и помехоустойчивости измерительных преобразователей,

- основы проектирования, методы анализа качества и структурного синтеза средств измерения;

- принципы построения и структуру систем автоматизированного проектирования (САПР).
- уметь-** применять на практике в сфере профессиональной деятельности знания и навыки, полученные из общеобразовательных дисциплин;
- использовать методы расчёта измерительных преобразователей, применяемых для проектирования, контроля и испытаний измерительной техники;
- разработать принципиальную схему и математическую модель измерительного преобразователя с учетом и использованием эффектов классической и квантовой физики;
- разработать структурную схему средства измерения и провести расчет его основных технических и метрологических характеристик.

**владеть навыками** - использования стандартных средств автоматизации проектирования; Принципы построения и структура систем автоматизированного проектирования (САПР).  
**иметь опыт деятельности** - по расчету и проектированию деталей и узлов разрабатываемых средств измерений в системах автоматизированного проектирования (САПР).

ПК-24 «способность разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам; проводить метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации».

**знать** – принципы проведения метрологической экспертизы;

- Программные продукты по моделированию измерительных приборов - Компас, AutoCAD, Solid Works, Inventor,
- основы проектирования, методы анализа качества и структурного синтеза средств измерения;

**уметь-**

- использовать принципы построения и структуру систем автоматизированного проектирования (САПР) как методы расчёта конструкции прибора;
- принципы применения ЕСКД, ЕСТП, ЕСПД;
- разработать структурную схему средства измерения и провести расчет его основных технических и метрологических характеристик.

**владеть навыками** - использования стандартных средств автоматизации проектирования; Принципы построения и структура систем автоматизированного проектирования .

**иметь опыт деятельности** - по расчету и проектированию деталей и узлов разрабатываемых средств измерений в системах автоматизированного проектирования.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина базируется на знаниях, ранее приобретенных студентами при изучении следующих дисциплин:

- физика;
- электротехника;
- электроника;
- общая теория измерений;
- метрология;
- управление качеством.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

- методы и средства измерений;
- прикладная метрология.

## 3. Объем дисциплины в ЗЕ/академ. час

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 1

Таблица 1 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам	
		№5	№6
1	2	3	4
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/(час)</b>	5/ 180	3/ 108	2/ 72
<i>Аудиторные занятия</i> , всего час., <i>В том числе</i>	68	34	34
лекции (Л), (час)	17	17	
Практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	17		17
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17	
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)	17		17
Экзамен, (час)	36	36	
<i>Самостоятельная работа</i> , всего	76	38	38
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> зачет, экзамен,	Экз., Зачет	Экз.	Зачет

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий

Разделы и темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 5					
Раздел 1. Измерительные преобразователи как составная часть средств измерения.	4		4		5
Раздел 2. Физико-технические эффекты, лежащие в основе преобразователей.	7		10		10
Раздел 3. Точность измерительных преобразователей.	4				10

Раздел 4. Основы проектирования, методы анализа качества и структурного синтеза средств измерения.	2		3		13
Итого в семестре:	17		17		38
Семестр 6					
Выполнение курсового проекта				17	
Итого в семестре:		17		17	38
Итого:	17	17	17	17	76

#### 4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Содержание разделов и тем лекционных занятий

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
<b>1</b>	Тема 1.1. Классификация измерительных преобразований и преобразователей. Тема 1.2. Структурные схемы и математические модели преобразователей и средств измерения.
<b>2</b>	Тема 2.1 Измерительные преобразователи на основе эффектов квантовой физики. Тема 2.2 Резистивные, емкостные, индуктивные, пьезоэлектрические, оптические преобразователи и пр. Тема 2.3 Физические основы термометрии.
<b>3</b>	Тема 3.1 Факторы, влияющие на показатели качества и метрологические характеристики преобразователей. Тема 3.2 Методы повышения их точности и помехоустойчивости. Классификация методов повышения точности ИП. Тема 3.3 Метрологическое обеспечение и технический контроль средств измерения.
<b>4</b>	Тема 4.1 Сбор и анализ исходных информационных данных для проектирования средств измерения. Тема 4.2 Расчет метрологических характеристик измерительных преобразователей и средств измерения. Тема 4.3 Расчет и проектирование разрабатываемых средств измерений с использованием стандартных средств автоматизации проектирования.

--	--

#### 4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 6				
1	Параметрические измерительные преобразователи.	Изучение структурных схем резистивных, емкостных, индуктивных, преобразователей и методов повышения их точности.	8	1,2,3
2	Генераторные измерительные преобразователи.	Изучение структурных схем индукционных, пьезоэлектрических, электроиндукционных преобразователей и методов повышения их точности. Термоэлектрические преобразователи. Расчет их погрешности, обусловленной изменением температуры.	9	1,2,3
Всего:			17	

#### 4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 5			
1	Исследование индуктивных преобразователей	4	1,2,3
2	Исследование реостатных преобразователей.	2	1,2,3
3	Исследование термометрических преобразователей	4	1,2,3
4	Исследование фотоэлектрических преобразователей	3	1,2,3
5	Исследование пьезоэлектрических преобразователей	4	1,2,3
Всего:		17	

#### 4.5. Курсовое проектирование (работа)

Цель курсового проекта: на основе физико-технических эффектов, лежащих в основе преобразователей разработать структурную схему преобразователя, исследовать его функцию преобразования. Изучить факторы, влияющие на метрологические характеристики преобразователя и рассмотреть методы повышения его точности.

Примерные темы заданий на курсовой проект приведены в разделе 10 РПД.

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 5, час	Семестр 6, час
1	2	3	4
<b>Самостоятельная работа, всего</b>	76	38	38
изучение теоретического материала дисциплины (ТО)		20	
курсовое проектирование (КП, КР)			38
расчетно-графические задания (РГЗ)		6	
Подготовка к текущему контролю (ТК)		12	

#### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю);

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы студентов указаны в п.п. 8-10.

#### 6. Перечень основной и дополнительной литературы

##### 6.1. Основная литература

Перечень основной литературы приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень основной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
	1. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. Пособие для вузов.- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1983.-320с. 2. И.Ф.Шишкин Теоретическая метрология. -СПб.: Издательство Питер, 2010. 3. Сулаберидзе В.Ш., Юлиш	

	В.И. Физические основы измерений. Часть 2. Эталоны и первичные преобразователи физических величин. Учебное пособие. СПб, 2011 г.	
--	--	--

### 6.2. Дополнительная литература

Перечень дополнительной литературы приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень дополнительной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка/ URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
	1. Ф. Мейзда Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 535 с., ил. 2. Кар Дж. Проектирование и изготовление электронной аппаратуры: Пер. с англ. – 2-е изд., стереотип., - М.: Мир, 1986. – 387 с., ил.	

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины

URL адрес	Наименование
	Не предусмотрено

### 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

#### 8.1. Перечень программного обеспечения

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

#### 8.2. Перечень информационно-справочных систем

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

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

Состав материально-технической базы представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лекционная аудитория	
2	Мультимедийная лекционная аудитория	13-13
3	Аудитория лабораторных работ	52-51

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

10.1. Состав фонда оценочных средств приведен в таблице 13

Таблица 13 - Состав фонда оценочных средств для промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Примерный перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты; Задачи;
Зачет	Список вопросов;
Выполнение курсового проекта	Экспертная оценка на основе требований к содержанию курсового проекта.

10.2. Перечень компетенций, относящихся к дисциплине, и этапы их формирования в процессе освоения образовательной программы приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Номер семестра	Этапы формирования компетенций по дисциплинам/практикам в процессе освоения ОП
ПК-3 «способность выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю; использовать современные методы измерений, контроля, испытаний и управления качеством»	
5	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
6	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
6	Управление качеством
8	Метрологическое обеспечение жизненного цикла продукции
8	Измерения в технических системах
8	Цифровые методы и средства измерений
ПК-22 «способность производить сбор и анализ исходных информационных данных для проектирования средств измерения, контроля и испытаний»	
5	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов

5	Базы данных
6	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
8	Автоматизированное проектирование измерительных систем
ПК-23 «способность принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов разрабатываемых средств измерений, испытаний и контроля в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования»	
2	Электротехника
3	Прикладная механика
3	Электроника
3	Электротехника
3	Материаловедение
4	Электроника
4	Прикладная механика
5	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
6	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
6	Методы и средства измерений
7	Организация и технология испытаний
7	Методы и средства измерений
8	Автоматизированное проектирование измерительных систем
8	Компьютерные средства проектирования электронных устройств
ПК-24 «способность разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам; проводить метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации»	
1	Инженерная и компьютерная графика
4	Метрология
5	Основы технологии производства
5	Метрология
5	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
6	Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов
7	Метрологическая экспертиза
7	Основы проектирования продукции

10.3. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) у обучающихся компетенций применяется шкала модульно–рейтинговой системы университета. В таблице 15 представлена 100–балльная и 4–балльная шкалы для оценки сформированности компетенций.

Таблица 15 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции		Характеристика сформированных компетенций
100-бальная шкала	4-бальная шкала	
$85 \leq K \leq 100$	«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал;</li> <li>- уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;</li> <li>- опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления;</li> <li>- умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;</li> <li>- делает выводы и обобщения;</li> <li>- свободно владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
$70 \leq K \leq 84$	«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы;</li> <li>- не допускает существенных неточностей;</li> <li>- увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;</li> <li>- аргументирует научные положения;</li> <li>- делает выводы и обобщения;</li> <li>- владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
$55 \leq K \leq 69$	«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>- допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>- испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>- слабо аргументирует научные положения;</li> <li>- затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>- частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
$K \leq 54$	«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>- допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>- испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>- не может аргументировать научные положения;</li> <li>- не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

#### 10.4. Типовые контрольные задания или иные материалы:

##### 1. Вопросы (задачи) для экзамена (таблица 16)

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена
1	Виды измерительных преобразований.
2	Измерительные преобразователи. Их классификация и основные характеристики.
3	Статическая характеристика (функция) преобразования измерительного преобразователя.
4	Динамическая характеристика (функция) преобразователя
5	Электромеханические преобразователи.
6	Компенсаторы постоянного тока.
7	Мостовые схемы. Мосты постоянного тока.
8	Мостовые схемы. Мосты переменного тока.
9	Преобразователи переменного напряжения в постоянное.
10	Преобразователи амплитудного значения переменного

11	напряжения в постоянное. Преобразователи среднеквадратического значения переменного напряжения в постоянное.
12	Преобразователи средневывпрямленного значения переменного напряжения в постоянное.
13	Тепловые преобразователи.
14	Индуктивные измерительные преобразователи.
15	Тензорезисторные преобразователи.
16	Емкостные преобразователи.
17	Фотоэлектрические преобразователи.
18	Пьезоэлектрические преобразователи.
19	Преобразователи на эффекте Холла.
20	Ионизационные измерительные преобразователи.
21	Аналого-цифровые преобразователи.
22	Цифро-аналоговые преобразователи.
23	Электроиндукционные преобразователи. Область их применения.
24	Актуальные вопросы измерительных технологий, которые необходимо решать на современном этапе развития измерительной техники.

## 2. Вопросы (задачи) для зачета (таблица 17)

Таблица 17 – Вопросы (задачи) для зачета зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета
1	Дайте определение, что такое измерительный преобразователь (ИП).
2	Все выполняемые при измерениях преобразования делят на группы, вопрос - на какие?
3	По какому принципу работы делятся измерительные преобразователи?
4	Перечислите основные типы преобразователей каждой группы.
5	Приведите примеры применения измерительных преобразований.
6	Перечислите основные преобразуемые параметры источников информации в области электрических измерений.
7	Приведите примеры ИП неэлектрических величин в электрические.
8	Приведите примеры ИП, осуществляющих преобразование электрических величин в электрические.
9	Приведите примеры ИП емкостного и индуктивного типа.
10	Дайте определение, что такое абсолютная погрешность преобразователя по входу.
11	Дайте определение, что такое абсолютная погрешность преобразователя по выходу.
12	В унифицированном преобразователе измеряемая ФВ преобразуется в нормированную выходную величину постоянного напряжения и постоянного тока в каком диапазоне?
13	На каком принципе основана работа магнитоэлектрических измерительных механизмов в электромеханических преобразователях?
14	Как определяется среднеквадратическое (действующее) значение переменного напряжения?
15	Какой преобразователь называется индуктивным?
16	Дайте определение понятия "метод измерения".
17	Среди аналоговых измерительных преобразований какие являются наиболее многочисленными?

18	Какие параметры ИП относятся к числу информативных?
19	Как классифицируют измерительные преобразователи по назначению?
20	Какими коэффициентами характеризуется связь между пиковым, действующим и средневыпрямленным значениями напряжения определенной формы в преобразователях переменного напряжения в постоянное?
21	Какие типы преобразователей относятся к параметрическим преобразователям
22	Какие типы преобразователей относятся к генераторным преобразователям

3. Темы и задание для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта (таблица 18)

Таблица 18 – Примерный перечень тем для выполнения курсового проекта

№ п/п	на тему: Исследование функций преобразования первичных измерительных преобразователей:
1	цифро-аналогового преобразователя
2	измерителя давления на эффекте Холла
3	индуктивного измерителя перемещений
4	индукционного уровнемера
5	термоэлектрического термометра
6	электроиндукционного пылемера
7	фотоэлектрического измерителя мутности раствора
8	РН метра
9	емкостного измерителя давлений
10	соленомера
11	тензорезисторного измерителя давления
12	аналого-цифрового преобразователя
13	измерителя крутящего момента
14	влажгомера
15	электрического акселерометра
16	пирометра
17	измерителя магнитной индукции
18	ионизационного измерителя толщины
19	индукционного тахометра
20	пьезоэлектрического измерителя давления
21	расходомера жидкости (емкостного)
22	электрического виброметра

4. Вопросы для проведения промежуточной аттестации при тестировании (таблица 19)

Таблица 19 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов
1	Назовите актуальные вопросы измерительных технологий, которые необходимо решать на современном этапе развития измерительной техники.
2	Дайте определение, что такое измерительный преобразователь (ИП).
3	Все выполняемые при измерениях преобразования делят на группы, вопрос - на какие?
4	Поясните классификацию измерительных преобразований, выполненных в аналоговой и цифровой формах.
5	По какому принципу работы делятся измерительные преобразователи? Перечислите основные типы преобразователей каждой группы.

6	Приведите примеры применения измерительных преобразований.
7	Перечислите основные преобразуемые параметры источников информации в области электрических измерений.
8	Приведите примеры ИП неэлектрических величин в электрические.
9	Приведите примеры ИП, осуществляющих преобразование электрических величин в электрические.
10	Приведите примеры ИП емкостного и индуктивного типа.
11	Дайте определение, что такое абсолютная погрешность преобразователя по входу.
12	Дайте определение, что такое абсолютная погрешность преобразователя по выходу.
13	В унифицированном преобразователе измеряемая ФВ преобразуется в нормированную выходную величину постоянного напряжения и постоянного тока в каком диапазоне?
14	На каком принципе основана работа магнитоэлектрических измерительных механизмов в электромеханических преобразователях?
15	Как определяется среднеквадратическое (действующее) значение переменного напряжения?
16	Какой преобразователь называется индуктивным?
17	Дайте определение понятия "метод измерения".
18	Среди аналоговых измерительных преобразований какие являются наиболее многочисленными?
19	Какие параметры ИП относятся к числу информативных?
20	Как классифицируют измерительные преобразователи по назначению?
21	Какими коэффициентами характеризуется связь между пиковым, действующим и средневыврявленным значениями напряжения определенной формы в преобразователях переменного напряжения в постоянное?
22	Какие типы преобразователей относятся к параметрическим преобразователям?
23	Какие характеристики для ИП являются основными?
24	Какие преобразования относятся к дополнительным преобразованиям?
25	Объясните принцип работы тепловых преобразователей.
26	Объясните принцип работы фотоэлектрических преобразователей.
27	Объясните принцип работы емкостных преобразователей.
28	Объясните принцип работы индуктивных преобразователей.
29	Объясните принцип работы тензорезисторных преобразователей.
30	Объясните принцип работы ионизационных преобразователей.
31	В каких преобразователях используется эффект Зеебека?
32	Для каких целей используются компенсаторы постоянного тока?
33	Какие функции выполняет первичный измерительный преобразователь при масштабно-временном преобразовании?
34	Нарисуйте структурную схему АЦП последовательного счета.
35	Нарисуйте структурную схему АЦП, реализующего принцип уравнивания.
36	Нарисуйте структурную схему АЦП с отрицательной обратной связью
37	Нарисуйте структурную схему АЦП поразрядного кодирования
38	Нарисуйте структурную схему АЦП с частотно-импульсным кодированием.
39	К какому типу относятся измерительные преобразователи, основанные на эффекте Холла?
40	Какие нормализаторы, особенно широко используются для преобразований токов и напряжений?
41	Нарисуйте упрощенную принципиальную схему компенсатора постоянного тока и объясните его работу.
42	Нарисуйте принципиальную схему одинарного моста постоянного тока и объясните его работу.

43	Нарисуйте принципиальную схему одинарного моста переменного тока и объясните его работу.
44	Нарисуйте структурную схему средства измерения (СИ) прямого преобразования. Перечислите причины возникновения мультипликативной и аддитивной составляющих погрешности СИ.
45	Нарисуйте структурную схему средства измерения (СИ) уравнивающего преобразования. Перечислите причины возникновения мультипликативной и аддитивной составляющих погрешности СИ.
46	Нарисуйте упрощенную принципиальную схему компенсатора постоянного тока и объясните его работу.
47	Какие АЦП получили наибольшее распространение?
48	Какие применяют способы уменьшения погрешностей ИП?
49	Какой метод измерения используется в электроиндукционных преобразователях, с какой целью и объясните сущность метода.
50	Объясните принцип зарядки аэрозольных частиц и конструкцию зарядных камер в электроиндукционных преобразователях.
51	Объясните принцип измерения заряда аэрозольных частиц и конструкцию измерительных камер в электроиндукционных преобразователях.
52	Перечислите возможные методы повышения точности измерительных преобразований.
53	Объясните принцип работы гальванических преобразователей.
54	Объясните принцип работы обращенных преобразователей.
55	Объясните принцип работы индукционных преобразователей.
56	Объясните принцип работы термоэлектрических преобразователей. Перечислите ИП температуры.

### 5. Контрольные и практические задачи / задания по дисциплине (таблица 20)

Таблица 20 – Примерный перечень контрольных и практических задач

№ п/п	Примерный перечень контрольных и практических задач / заданий																												
1	<p>При градуировке ИП с известной (линейной) функцией преобразования <math>X = \alpha_0 + \alpha_1 Q</math> получены числовые значения экспериментальных данных, приведенные в таблице 1</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th><math>Q_i</math></th> <th>41- i</th> <th>50- i</th> <th>81- i</th> <th>104- i</th> <th>120- i</th> <th>139- i</th> <th>154- i</th> <th>180- i</th> <th>208- i</th> <th>241- i</th> <th>250- i</th> <th>269- i</th> <th>301- i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>X_i</math></td> <td>4</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>14</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>19</td> <td>23</td> <td>26</td> <td>30</td> <td>31</td> <td>36</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Таблица 1</p> <p>Найти методом наименьших квадратов аналитическое выражение для градуировочной характеристики ИП и построить ее графически.</p>	$Q_i$	41- i	50- i	81- i	104- i	120- i	139- i	154- i	180- i	208- i	241- i	250- i	269- i	301- i	$X_i$	4	8	10	14	17	20	19	23	26	30	31	36	37
$Q_i$	41- i	50- i	81- i	104- i	120- i	139- i	154- i	180- i	208- i	241- i	250- i	269- i	301- i																
$X_i$	4	8	10	14	17	20	19	23	26	30	31	36	37																
2	<p>Градуировочная характеристика термистора типа МКМТ-16 в диапазоне температур 10...35 °С описывается выражением:</p> $R_T = A \varepsilon^{B/T},$ <p>где T – температура в К.</p> <p>Построить линейную градуировочную характеристику термистора. Значения A и B приведены в табл.2.</p>																												

Таблица 2

данные	Варианты								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
A, кОм	38,59			54,16			72,84		
B, К	4650			4853			4763		

3

В результате градуировки ИП получены соотношения между числовыми значениями физических величин на входе и выходе (табл.3).

Вывести аналитическое выражение для функции преобразования ИП.

Таблица 3

	0,1									
U <sub>вх</sub> , В	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U <sub>вых</sub> , В	0,61	0,85	1,45	2,05	3,12	4,10	5,46	6,82	8,65	10,45
название ИП	квадратичный детектор									
формула	$U_{\text{вых}} = \alpha_0 + \alpha_1 U_{\text{вх}}^2$									
Номер по списку	2,3									
U <sub>вх</sub> , В	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U <sub>вых</sub> , В	1,07	1,18	1,52	1,75	2,36	2,67	3,52	4,17	5,12	5,92
название ИП	квадратичный детектор									
формула	$U_{\text{вых}} = \alpha_0 + \alpha_1 U_{\text{вх}}^2$									

Номер по списку	4,5									
$U_{ВХ}, В$	2,5	3,0	3,6	4,0	4,6	5,0	5,8	7,0	8,0	9,0
$U_{ВЫХ}, В$	1,31	2,10	2,96	3,23	4,21	4,56	5,32	6,26	6,91	7,53
название ИП	логарифмический усилитель									
формула	$U_{ВЫХ} = \alpha_0 + \lambda v \frac{U_{ВХ}}{\alpha_1}$									
Номер по списку	6,7									
$Q^\circ С$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$R_{г}, кОм$	8,15	5,10	4,25	3,85	3,7	3,55	3,48	3,45	3,38	3,31
название ИП	Термистор									
формула	$R = \alpha_0 \varepsilon^{\frac{\alpha_1}{Q}}$									
Номер по списку	8,9									
$U, В$	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7
$I, мА$	0,76	1,10	2,45	3,75	5,50	12,30	27,35	40,52	61,35	135,6
название ИП	Выпрямитель									
формула	$I = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot U}$									
Амплитудный пассивный ИП переменного напряжения в постоянное напряжение (с открытым входом) содержит диод, включенный последовательно с										

сопротивлением  $R_{ист}$  источника сигнала и конденсатор  $C$ , включенный параллельно сопротивлению  $R_n$  нагрузки.

Номинальная функция преобразования ИП:

$$U_c = KU_m,$$

где  $U_c$  - напряжение на выходе ИП;  $U_m$  - амплитуда входного напряжения;  $K$  - коэффициент преобразования.

Диоды в партии имеют сопротивление  $R_{дi} = R_d (1 \pm 0,3)$ , где  $R_d$  - номинальное значение сопротивления диода в открытом состоянии.

Рассчитать максимально допустимое относительное отклонение коэффициента преобразования ИП от номинального значения, равного 1.

В табл.4 приведены значения  $R_{дi}$ ;  $R_n$  и  $R_{ист}$ .

Таблица 4

Данные	предпоследняя цифра шифра										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$R_d, \text{ Ом}$	50			60			70		80		
$R_n, \text{ кОм}$	1			3					2		
$R_{ист}, \text{ кОм}$	0,1		0,15		0,1		0,15		0,2		

Коэффициент преобразования данного ИП определяется по формуле:

$$K = \text{Cos} \sqrt[3]{\frac{3\pi(R_{ист} + R_{дi})}{R_n}}$$

5

При измерении температуры применен кремниевый терморезистор с функцией преобразования:

$$R_{Ti} = R_{25^{\circ}} [1 + \alpha \Delta_t + \beta (\Delta_t)^2],$$

где  $\Delta_t = T_i - 25^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha = 0,78 \cdot 10^{-2}$ , град  $\text{C}^{-1}$ ;  $\beta = 1,84 \cdot 10^{-5}$ , град. $\text{C}^{-2}$  - температурные коэффициенты.

Привести схемы включения терморезистора совместно с линеаризирующим термистором  $R_{лин}$  в диапазоне измеряемых температур  $T_{min} \leq T_i \leq T_{max}$  в случае работы терморезистора от генератора напряжения.

Рассчитать значение  $R_{лин}$ .

Значения  $R_{25^{\circ}}$ ;  $T_{min}$  и  $T_{max}$  приведены в табл.5.

Таблица 5

Данные	последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_{25^{\circ}}, \text{ кОм}$	1,5			2,5			3,5			
$T_{min}, \text{ Град С}$	30									
$T_{max}, \text{ Град С}$	45			55			65			

При работе терморезистора от генератора напряжения линеаризирующее сопротивление  $R_{\text{лин}}$  включается, например, в верхнее плечо делителя напряжения. Выражение для расчета линеаризирующего сопротивления:

$$R_{\text{лин}} = R_{25^{\circ}} \left[ \left( \frac{\alpha^2}{\beta} - 1 \right) + 3\Delta T_{\text{М}}(\alpha + \beta\Delta T_{\text{М}}) \right],$$

где  $\Delta T_{\text{М}} = T_{\text{м}} - 25^{\circ}$ ;  $T_{\text{м}} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2}$  - среднее значение температуры рабочего диапазона.

В нормативно-технической документации на аналоговый ИП приведены следующие его нормированные МХ.

В нормальных условиях измерений (при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  и напряжении питания 220 В) аддитивная поправка к выходному сигналу у ИП этого типа находится в пределах  $\theta_{\text{н}}$ , а среднее квадратическое отклонение выходного сигнала от номинального не превышает  $\sigma_{\text{н}}$  (табл.9).

Таблица 9

данные	Предпоследняя цифра шифра								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta_{\text{н}}$ , мВ	-10 ... +10			-5 ... +5			-15 ... +15		
$\sigma_{\text{н}}$ , мВ	3			5			7		

Известны аналитические выражения для номинальных функций влияния температуры  $\Psi_{\theta}(t)$  и напряжения  $\Psi_{\theta}(v)$  в сети питания на поправку:

$$\Psi_{\theta}(t) = -K_{\theta(t)}(t-t_{\text{н}})$$

$$\Psi_{\theta}(v) = -K_{\theta(v)}(v-v_{\text{н}}),$$

где  $K_{\theta(t)} = 0,5 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ ,  $K_{\theta(v)} = 0,4 \text{ мВ}/\text{В}$ .

Известны аналитические выражения для номинальных функций влияния температуры  $\Psi_{\sigma}(t)$  и напряжения в сети питания  $\Psi_{\sigma}(v)$  на среднеквадратическое отклонение выходного сигнала:

$$\Psi_{\sigma}(t) = K_{\sigma(t)}(t-t_{\text{н}})$$

$$\Psi_{\sigma}(v) = K_{\sigma(v)}(v-v_{\text{н}}),$$

где  $K_{\sigma(t)} = 0,1 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ ;  $K_{\sigma(v)} = 0,2 \text{ мВ}/\text{В}$ .

Требуется определить поправку, обеспечивающую правильность выходного сигнала ИП в рабочих условиях измерений:

$$25^{\circ}\text{C} \leq t \leq 35^{\circ}\text{C};$$

$$200 \text{ В} \leq v \leq 230 \text{ В},$$

а также точность преобразования.

10.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и / или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в Положениях «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

## 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Цель дисциплины – получение студентами необходимых знаний и навыков в области измерительных преобразований (принципов) и измерительных преобразователей, их технического, программного и метрологического обеспечения, подготовка будущего бакалавра к решению организационных, научных и технических задач при проведении измерений и контроля в научных исследованиях и промышленности.

### Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

#### Планируемые результаты при освоении обучающимся лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- развитие профессионально–деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

#### Структура предоставления лекционного материала:

- чтение лекции;
- курс «Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов» в системе LMS ГУАП.

### Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающемуся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

#### Планируемые результаты при освоении обучающимся практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;

#### Функции практических занятий:

- познавательная;

- развивающая;
- воспитательная.

По характеру выполняемых обучающимся заданий по практическим занятиям подразделяются на:

- ознакомительные, проводимые с целью закрепления и конкретизации изученного теоретического материала;
- творческие, связанные с получением новой информации путем самостоятельно выбранных подходов к решению задач.

Формы организации практических занятий определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения. Они могут проводиться:

- в не интерактивной форме (выполнение упражнений, решение типовых задач).

### **Требования к проведению практических занятий**

1. Преподаватель на первом занятии дает план проведения практических занятий и озвучивает методику проведения каждого занятия в зависимости от темы и формы проведения.
2. К каждому занятию студенты обязаны выучить лекционный материал и ознакомиться с дополнительным по предложенной литературе.
3. При решении задач преподаватель дает домашнее задание (тестирование) с целью контроля уровня знаний по пройденному материалу. Результат засчитывается в общий рейтинг.

### **Методические указания для обучающихся по прохождению лабораторных работ**

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач у обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

### **Задания и требования к проведению лабораторных работ, структура и форма отчета о лабораторной работе, требования к оформлению отчета о лабораторной работе**

Изложены в учебно- методическом пособии к выполнению лабораторных работ «Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов » авторов Т.П.Мишуры, Румянцева В.В., 2013 г., изданных в виде электронных ресурсов кафедры №6.

**Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования.** Курсовой проект проводится с целью формирования у обучающихся опыта комплексного решения конкретных задач профессиональной деятельности.

Курсовой проект позволяет обучающемуся:

- систематизировать и закрепить полученные теоретические знания и практические умения по профессиональным учебным дисциплинам и модулям в соответствии с требованиями к уровню подготовки, установленными программой учебной дисциплины, программой подготовки специалиста соответствующего уровня, квалификации;
- применить полученные знания, умения и практический опыт при решении комплексных задач, в соответствии с основными видами профессиональной деятельности по направлению/ специальности/ программе;
- углубить теоретические знания в соответствии с заданной темой;
- приобрести опыт аналитической, расчётной, конструкторской работы и сформировать соответствующие умения;
- сформировать умения работы со специальной литературой, справочной, нормативной и правовой документацией и иными информационными источниками;
- развить профессиональную письменную и устную речь обучающегося;
- сформировать навыки планомерной регулярной работы над решением поставленных задач.

### **Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы**

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;

### **Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

## Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой