



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по дисциплине  
«Теория, расчет и проектирование измерительных преобразователей и приборов»  
для обучающихся по направлению подготовки

**27.03.01 Стандартизация и метрология**

Метрология и метрологическое обеспечение

Ростов-на-Дону  
2022

## Методические материалы

### по изучению дисциплины «Теория, расчет и проектирование измерительных преобразователей и приборов» по направлению 27.03.01 Стандартизация и метрология

В начале изучения дисциплины необходимо ознакомиться с обязательным минимумом содержания основной образовательной программы по изучаемой дисциплине. Затем необходимо изучить рабочую программу дисциплины, в которой определены цели и задачи дисциплины, компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины и планируемые результаты обучения. Рассмотреть содержание тем лекционного курса дисциплины; взаимосвязь тем лекций с лабораторными занятиями; бюджет времени по видам занятий; применяемые образовательные технологии и оценочные средства для текущей успеваемости, промежуточной аттестации самоконтроля по итогам освоения дисциплины; уровни и критерии итоговой оценки результатов освоения дисциплины. Ознакомиться с учебно-методическим и программно-информационным, а также материально-техническим обеспечением дисциплины.

При изучении учебной дисциплины применяются **информационные технологии**:

- компьютерные программы и обучающие системы, представляющие собой компьютерные учебники, предназначенные для формирования новых знаний и навыков;
- тестовые системы, предназначенные для диагностирования, оценивания и проверки знаний, способностей и умений;
- лабораторные комплексы;
- базы данных и базы знаний по различным областям, обеспечивающие доступ к накопленным знаниям (Библиотека ГОСТов и нормативных документов. <http://libgost.ru>, Федеральный портал, каталог образовательных Интернет-ресурсов. <http://www.edu.ru/index.php>, единое окно доступа к образовательным ресурсам, образование в области техники и технологий <http://window.edu.ru/>);
- прикладные и инструментальные программные средства, обеспечивающие выполнение конкретных учебных операций (обработку текстов, составление таблиц, редактирование графической информации и др.);
- системы на базе мультимедиа-технологии, построенные с применением видеотехники и информационных носителей.

## **Лекционные занятия**

**При проведении лекционных занятий по дисциплине «Теория, расчет и проектирование измерительных преобразователей и приборов» используются проблемные методы обучения и интерактивные формы.**

Под проблемным обучением дисциплины понимается система научно обоснованных методов и средств, применяемая в процессе развивающего обучения, которая предполагает создание под руководством преподавателя проблемных ситуаций и активную самостоятельную деятельность студентов с целью:

- интеллектуального и творческого развития студентов,
- овладения ими знаниями, навыками, умениями и способами познания.

Проблемное обучение обеспечивает возможности творческого участия обучаемых в процессе освоения новых знаний, формирование познавательных интересов и творческого мышления, высокую степень органичного усвоения знаний и мотивации студентов и применяется для того, чтобы у студентов развивалось творческое мышление, интеллект. Основой для этого является моделирование темы занятий за счет создания проблемной ситуации и управления поиском решения проблемы. При этом осознание, принятие и разрешение этих проблемных ситуаций происходит при оптимальной самостоятельности учащихся, но под общим направляющим руководством педагога в ходе совместного взаимодействия.

При таком обучении существенно усиливается роль самостоятельного изучения разделов дисциплины и тем, инициативность. Кроме того, в процессе проблемного обучения предполагается, что учащиеся будут самостоятельно выбирать и обрабатывать самые разные источники информации, в том числе и те, с которыми они будут работать в последующем, и обращаться к этим источникам им придется чаще, чем тем, кто обучается по традиционной программе.

### **Методические указания по организации самостоятельной работы**

Для удобства проведения самостоятельной работы по изучению дисциплины в рабочей программе составлен подробный тематический план дисциплины, содержащий ссылки на рекомендуемую литературу. Необходимо обратить внимание студентов на определяющую роль, которую играют измерительные преобразователи в важнейших видах средств измерений, и прежде всего в измерительных системах, в которых они всегда присутствуют в качестве источников первичного сигнала измерительной информации. Эта информация в дальнейшем подвергается обработке, передаче, преобразованию, хранению, использованию в компьютерных системах обработки измерительной информации.

## **Работа с литературой**

В связи с тем, что федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология по дисциплине Теория, расчет и проектирование измерительных преобразователей и приборов и преобразователи предусматривает значительный объем изучаемого материала, лекции в целом освещают лишь проблемные вопросы. Студенту необходимо самостоятельно детально изучать ниже необходимые разделы и темы, используя литературу, представленную в рабочей программе и в карте методического обеспечения УМК.

При изучении тем и разделов дисциплины «Измерительные преобразования и преобразователи» выбор литературы необходимо осуществлять по приоритетности: сначала основную, потом дополнительную. Контроль усвоения учебного материала на самостоятельной работе осуществляется на 1 и 2 рейтингах и на итоговой аттестации дисциплины (экзамен).

## **Лабораторные занятия**

**Цели и задачи лабораторных работ:** научить студентов навыкам практического приложения фундаментальных и инженерных знаний в вопросах выбора, определения характеристик и применения измерительных преобразователей.

**Организация проведения лабораторных работ.** Работы проводятся по подгруппам в составе не более 15 человек. Время, планируемое в расписании на группу – по 2 часа. При этом группа делится соответственно на 2 части, каждая из которых выполняет запланированную работу. Занятия проводятся в двух аудиториях. Занятия с группой проводят 2 преподавателя. Преподаватель объясняет содержание каждой работы, порядок ее проведения, перечень измеряемых параметров и методы их измерения, особенности применяемых технических средств, обработку данных и оформление полученных результатов, выдает задания на каждую работу каждой подгруппе. На первом занятии проводится инструктаж по охране труда и правилам техники безопасности. Преподаватель следит за правильным оформлением документации; для каждой подгруппы объясняет методы работы на экспериментальных установках и с измерительной аппаратурой; наблюдает за ходом выполнения работ и сохранностью материальной части. Студенты внимательно изучают теоретическую часть каждой работы, выписывают необходимые расчетные формулы, подготавливают таблицы для внесения в них результатов измерений, измеряемых и расчетных параметров. Перед проведением работы преподаватель производит беглый опрос и решает вопрос о допуске студента к работе.

**Контроль за выполнением лабораторных работ.** Посещаемость и продолжительность лабораторных работ отмечаются в журнале. Студенты, отработавшие работы, оформляют по каждой из них отчет, который в ходе проведения занятий защищается у преподавателя и визируется, а затем представляется на экзамене по курсу вместе. Каждая лабораторная работа содержит вопросы для самопроверки знаний, сформированных в результате ее выполнения. Преподаватель вправе на экзамене в качестве дополнительного вопроса задать вопрос по материалам лабораторных работ.

#### **Содержание отчета по лабораторной работе.**

Примерное содержание отчета по лабораторной работе: 1. Наименование работы. 2. Номенклатура применяемых средств измерений и вспомогательных устройств. 3. Общие теоретические сведения. 4. Практическое значение работы. 5. Описание объекта исследования. 6. Таблица заданных и измеряемых параметров. 7. Описание порядка выполнения работы. 8. Обработка результатов исследования. 9. Выводы.

#### **Тематика лабораторных занятий**

1. ИП с упругими элементами.
2. Изучение свойств тензорезисторных измерительных преобразователей с помощью тензометрического усилителя
3. Определение характеристик тензорезисторных измерительных преобразователей.
4. Построение градуировочной характеристики индуктивной измерительной установки
5. Определение метрологических характеристик индуктивной измерительной установки
6. Построение градуировочной характеристики термоэлектрического измерительного преобразователя.
7. Фотоэлектрические измерительные преобразователи.
8. Гальванические измерительные преобразователи.
9. Исследование характеристик термопары и системы автоматического управления температурой электронагревательной печи.

#### **Критерии оценки лабораторных работ**

Студенты, оформившие протокол лабораторной работы, допускаются к её защите. Защита производится в устной форме и определяется результатом:

«**зачтено**» заслуживает студент, знающий программный материал лабораторной работы, излагает его, владеет приемами работы с измерительными преобразователями, умеет проанализировать полученные результаты измерений и сделать по ним вывод.

«**не зачтено**»- выставляется студенту, если допускает грубые ошибки при ответе на поставленные вопросы, не может применить полученные знания на практике, имеет

низкие навыки работы с измерительными преобразователями, с трудом анализирует результаты работы и не может сделать правильный вывод по ним.

При проведении **практических занятий** основное внимание уделяется практическому применению теоретического материала, изученного на лекционных занятиях. Студенты решают примеры и задачи, основным содержанием которых является расчет параметров, свойств, погрешностей, характеристик отдельных видов измерительных преобразователей, отличающихся принципом действия.

#### Тематика практических занятий

Тема	Часы	Содержание
Классификация измерительных преобразователей. Датчики	2	Преобразователи электрических величин в электрические. Преобразователи неэлектрических величин в неэлектрические. Преобразователи электрических величин в неэлектрические. Преобразователи неэлектрических величин в электрические. Датчики. Требования к выходной величине. Генераторные и параметрические измерительные преобразователи
Статические характеристики измерительных преобразователей	2	Статический режим работы средств измерений. Чувствительность. Функция преобразования. Определения. Представление в виде: функции, графика, таблицы. Порядок расчета.
Динамические характеристики измерительных преобразователей. Классификация.	2	Динамический режим работы средств измерений. Полные и частные характеристики. Основные и дополнительные характеристики. Применение преобразования Лапласа для описания динамических характеристик. Дифференциальное уравнение. Передаточная функция.
Полные динамические характеристики	2	Переходная характеристика. Импульсная характеристика. Преобразование Фурье. Амплитудно-фазовая характеристика. Амплитудно-частотная характеристика. Фазочастотная характеристика.
Погрешности измерительных преобразователей	4	Абсолютная погрешность по входу. Абсолютная погрешность по выходу. Относительная погрешность по входу. Относительная погрешность по выходу. Приведенная погрешность по выходу. Приведенная погрешность по входу. Аддитивная погрешность. Мультипликативная погрешность. Класс точности измерительных преобразователей.

Структурные схемы соединения измерительных преобразователей в измерительных устройствах	2	Последовательная схема соединения измерительных преобразователей. Параллельная схема соединения измерительных преобразователей. Логометрическая схема соединения измерительных преобразователей. Дифференциальная схема соединения измерительных преобразователей. Компенсационная схема соединения измерительных преобразователей.
Расчет характеристик генераторных измерительных преобразователей	2	Расчет характеристик термоэлектрических измерительных преобразователей. Расчет характеристик фотоэлектрических измерительных преобразователей. Расчет характеристик пьезоэлектрических измерительных преобразователей.
Расчет характеристик параметрических измерительных преобразователей	2	Расчет характеристик тензорезисторных измерительных преобразователей. Расчет характеристик индуктивных измерительных преобразователей. Расчет характеристик емкостных измерительных преобразователей. Расчет характеристик терморезисторных измерительных преобразователей.

### Подготовка к экзамену

Экзамен является заключительным этапом изучения дисциплины «**Теория, расчет и проектирование измерительных преобразователей и приборов**» и имеет цель проверить и оценить уровень теоретических знаний студентов, их навыки и умения применять полученные знания в решении практических задач, а также умение самостоятельно работать со специальной литературой.

Перед экзаменом студенту необходимо полностью выполнить лабораторные работы. К экзамену допускаются студенты, выполнившие и защитившие все лабораторные работы.

Вопросы, для подготовки к экзамену представлены в данном УМК «Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации и самоконтроля по итогам освоения дисциплины». Список литературы для подготовки экзамену представлен в рабочей программе

**Уровни и критерии итоговой оценки результатов освоения дисциплины** представлены в рабочей программе.

**Разъяснения по поводу работы с тестовыми материалами** (Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации и самоконтроля по итогам освоения дисциплины.)

Тестовые материалы оценивают результативность изучения дисциплины студентом. В предлагаемых тестовых материалах представлены вопросы, отражающие существенную часть темы дисциплины, с возможными тремя или четырьмя вариантами ответов, из которых необходимо выбрать правильные. Тестовые материалы необходимо использовать, как, при подготовке к 1 и 2 рейтинговым контролю, так и к экзаменам.

### Краткое содержание лекций

Тема	Часы	Содержание
Основные термины и определения.	2	Модели процесса измерения. Понятие измерительного преобразования и измерительного преобразователя. Виды средств измерений. Измерительный преобразователь как разновидность средств измерений. Входная и выходная физическая величина. Первичный, промежуточный и выходной измерительный преобразователь. Понятие измерительной информации. Преобразование измерительной информации. Классификация измерительных преобразователей. Датчики. Конструктивное выполнение датчиков.
Режимы работы измерительных преобразователей. Статические характеристики измерительных преобразователей	2	Статический и динамический режимы работы измерительных преобразователей. Чувствительность. Относительная чувствительность. Функция преобразования. Определения. Математический аппарат. Представление в виде: функции, графика, таблицы. Порядок определения статических характеристик. Практическое применение статических характеристик.
Динамические характеристики измерительных преобразователей	2	Динамический режим работы измерительных преобразователей. Классификация динамических характеристик. Полные и частные динамические характеристики. Основные и дополнительные динамические характеристики. Дифференциальное уравнение. Преобразование Лапласа. оригинал и изображение. Передаточная функция. Импульсная функция и импульсная характеристика. Единичная функция и переходная характеристика. Порядок расчета. Примеры практического применения динамических характеристик для анализа работы измерительных преобразователей.



Частотные динамические характеристики измерительных преобразователей	2	Преобразование Фурье. Амплитудно-фазовая характеристика. Амплитудно-частотная характеристика. Фазочастотная характеристика. Порядок расчета. Применение для анализа работы измерительных преобразователей в динамическом режиме. Примеры использования частотных динамических характеристик для анализа работы измерительных преобразователей. Безынерционное звено. Динамическое звено первого порядка. Динамическое звено второго порядка. Режимы работы: колебательные, критический, апериодический. Расчет передаточной функции, амплитудно-фазовой характеристики, амплитудно-частотной характеристики, фазочастотной характеристики.
Погрешности измерительных преобразователей.	2	Номинальная и действительная функция преобразования. Абсолютная погрешность по входу. Абсолютная погрешность по выходу. Относительная погрешность по входу. Относительная погрешность по выходу. Приведенная погрешность по входу. Приведенная погрешность по выходу. Аддитивная погрешность. Мультипликативная погрешность. Расчеты предельных значений допускаемых погрешностей. Нормирование погрешностей. Класс точности измерительных преобразователей. Способы установления класса точности. Обозначение класса точности. Расчетное определение класса точности. Примеры практического применения.
Структурные схемы соединения измерительных преобразователей в измерительных устройствах.	2	Последовательная схема соединения измерительных преобразователей. Параллельная схема соединения измерительных преобразователей. Логометрическая схема соединения измерительных преобразователей. Дифференциальная схема соединения измерительных преобразователей. Компенсационная схема соединения измерительных преобразователей с положительной и отрицательной обратной связью. Порядок расчета. Примеры практического применения.
Классификация измерительных преобразователей	2	Классификация основных видов измерительных преобразователей. Аналоговые и аналого-цифровые измерительные преобразователи. Время-импульсное преобразование. Частотно-импульсное преобразование. Поразрядное уравнивание. Цифро-аналоговые измерительные преобразователи. Генераторные и параметрические измерительные преобразователи.
Измерительные преобразователи с упругими элементами	2	Измерительные преобразователи с упругими элементами. Физические основы работы и принцип действия. Закон Гука. Основные

		<p>характеристики. Упругие балки и их разновидности. Балки равного сечения. Балки равного сопротивления. Плоские спиральные пружины с жестко заделанным и шарнирным концом. Статические характеристики. Определение сил и моментов для различных упругих элементов. Динамометр Токаря. Сильфоны. Пластина, заделанная по контуру. Пленка с жестким центром. Прямоугольные пластины. Мембраны. Расчетные формулы для определения характеристик. Области применения. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.</p>
Пневматические измерительные преобразователи	2	<p>Пневматические измерительные преобразователи. Физические основы работы и принцип действия. Основные характеристики. Входная и выходная величина. Расход воздуха. Выходное сечение. Проходное сечение. Пневматические измерительные преобразователи манометрического типа. Статическая характеристика. Рабочий участок. Пневматические измерительные преобразователи ротаметрического типа. Дифференциальные пневматические измерительные преобразователи манометрического типа. Пневматические измерительные преобразователи на основе эжекторного эффекта. Принцип действия. Статическая характеристика. Преимущества. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.</p>
Резистивные измерительные преобразователи	2	<p>Резистивные измерительные преобразователи. Физические основы работы и принцип действия. Входная и выходная величина. Резистивные делители напряжения и тока. Схемы включения. Расчетные формулы. Многоступенчатый резистивный делитель. Применение в измерительных приборах. Электроконтактные измерительные преобразователи. Схема включения. Измерительные преобразователи контактного сопротивления. Принцип действия и используемые материалы. Реостатные измерительные преобразователи. Физический принцип действия. Статические характеристики с линейной и нелинейной функцией преобразования. Используемые материалы. Схемы включения. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.</p>
Тензорезисторные измерительные преобразователи	2	<p>Тензорезисторные измерительные преобразователи. Физические основы работы и принцип действия. Основные характеристики. Расчетные</p>

		<p>формулы. Коэффициент тензочувствительности. Примеры практического применения для измерения различных физических величин. Фольговые и проволочные тензорезисторы. Применяемые материалы и их обоснование. Различные типы. Мостовая схема соединения тензорезисторных преобразователей. Четверть-мостовая, полумостовая и полномостовая решетки. Схемы включения. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.</p>
Термоэлектрические измерительные преобразователи	2	<p>Термоэлектрические измерительные преобразователи. Физический принцип действия. Входная и выходная величина. Термоэлектрический эффект. Эффект Пельтье. Возникновение термоЭДС в паре разнородных металлов. Термопары. Рабочий и свободный спай. Требования, предъявляемые к термопарам. Используемые материалы для изготовления термопар. Градуировочная характеристика термопары. Принципы выбора термопары в зависимости от диапазона измеряемой температуры. Чувствительность термопары. Измерение температуры с помощью термопар. Схемы включения. Введение поправки на температуру окружающей среды. Конструкции лабораторных и промышленных термопар. Примеры практического применения для измерения температуры.</p>
Терморезисторные измерительные преобразователи	2	<p>Терморезисторные измерительные преобразователи. Физический принцип действия и общая характеристика. Входная и выходная величина. Температурный коэффициент сопротивления. Металлические терморезисторы. Применяемые материалы. Медные и платиновые чувствительные элементы. Статические характеристики и их аналитическое выражение в зависимости от применяемого материала. Конструкции терморезисторов. Схемы включения терморезисторов. Полупроводниковые терморезисторы – термисторы. Принцип действия. Используемые материалы. Статическая характеристика. Достоинства и недостатки термисторов. Определение параметров термисторов расчетным путем. Шунтирование термисторов. Схемы включения. Примеры практического применения для измерения температуры.</p>
Емкостные измерительные преобразователи	2	<p>Емкостные измерительные преобразователи. Физический принцип действия и общая характеристика. Входная и выходная величина. Емкость плоского конденсатора. Изменение площади пластин. Изменение расстояния между</p>

		электродами. Изменение диэлектрической проницаемости диэлектрика. Схемы включения емкостных измерительных преобразователей. Дифференциальная схема включения. Примеры. Резонансная цепь. Мостовая схема. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.
Индуктивные измерительные преобразователи	2	Индуктивные измерительные преобразователи. Физический принцип действия и общая характеристика. Входная и выходная величина. Модификации индуктивных измерительных преобразователей. П-образные преобразователи. Статическая характеристика. Схемы включения. Расчетные формулы. Рабочий участок характеристики. Дифференциальные индуктивные измерительные преобразователи. Принцип действия. Схемы включения. Индуктивный преобразователь плунжерного типа. Мостовые схемы. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.
Пьезоэлектрические измерительные преобразователи	2	Пьезоэлектрические измерительные преобразователи. Физический принцип действия и общая характеристика. Прямой пьезоэффект. Обратный пьезоэффект. Симметрия кристаллов. Электрическая структура кристаллов. Пьезоэлектрики. Кристаллические оси. Кварц. Продольный пьезоэффект. Поперечный пьезоэффект. Пьезокерамика. Электрические схемы включения. Взаимосвязь прямого и обратного пьезоэффекта. Энергетические факторы. Применение прямого пьезоэффекта для измерений физических величин. Применение обратного пьезоэффекта в технике.
Фотоэлектрические измерительные преобразователи	2	Фотоэлектрические измерительные преобразователи. Физический принцип действия и общая характеристика. Внешний фотоэффект. Схема лабораторной установки. Фототок. Вольт-амперная характеристика. Фототок насыщения. Три закона внешнего фотоэффекта. Фотоэлементы. Фотопроводимость. Интегральная чувствительность. Фотопреобразователи в внешнем фотоэффектом. Вакуумные и газонаполненные. Фотопреобразователи с внутренним фотоэффектом. Воздействие света на полупроводник. Фотодиоды в фотогенераторном и фотодиодном режимах. Фототранзисторы. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.
Электролитические и гальванические измерительные преобразователи	2	Электролитические измерительные преобразователи. Физический принцип действия и общая характеристика. Электролит. Элект-

		<p>             ропроводность раствора электролита. Входная и выходная величина. Статическая характеристика. Схемы включения. Применение для измерения различных физических величин. Гальванические измерительные преобразователи. Электродный потенциал. Ионное произведение воды. Водородный показатель. Конструктивное выполнение преобразователей. Полуэлемент. Хлорсеребряный электрод. Стекланный измерительный электрод. рН-метры. Примеры практического применения для измерения различных физических величин.           </p>
--	--	---