



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭиАС  
С.И. Лукьянов

26.02.2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**СЕНСОРНЫЕ ДАТЧИКИ**

Направление подготовки (специальность)  
11.04.04 Электроника и микроэлектроника

Направленность (профиль/специализация) программы  
Промышленная электроника и автоматика электротехнических комплексов

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроники и микроэлектроники
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск  
2020 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и микроэлектроника (уровень магистратуры) (приказ Минобрнауки России от 22.09.2017 г. № 959)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

13.02.2020 г. протокол № 6

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.И. Лукьянов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС

26.02.2020 г. протокол № 5

Председатель \_\_\_\_\_ С.И. Лукьянов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры ЭиМЭ, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ Д.В. Швидченко

Рецензент:

директор СЦ, ООО "ТЕХНОАП Инжиниринг", канд. техн. наук \_\_\_\_\_

Е.С. Суспицын

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.И. Лукьянов

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.И. Лукьянов

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Сенсорные датчики» является формирование у студентов знаний по принципам построения и функционирования современных сенсорных устройств (интеллектуальных датчиков), измерительных систем на их основе, используемых для этой цели информационных технологий, предназначенных для измерения наиболее распространенных и используемых на практике электрических и неэлектрических физических величин, освоение студентами основ применения компьютерных технологий в системах контроля и диагностики.

Задачи дисциплины – изучение многообразия принципов построения первичных измерительных преобразователей с микропроцессорной обработкой информации, реализуемым в них методов измерения и контроля, проведение экспериментальных исследований изучаемых устройств в различных режимах функционирования, ознакомление с существующими в данной области в настоящее время проблемами и способами их решения.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Сенсорные датчики входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Технологические датчики

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

Производственная-преддипломная практика

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Сенсорные датчики» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-6	Способен проводить аппаратное макетирования и экспериментальные работы по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры
ПК-6.1	Проводит экспериментальные исследования электронных устройств и систем по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры
ПК-6.2	Осуществляет контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетных единиц 36 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 19 акад. часов;
- аудиторная – 18 акад. часов;
- внеаудиторная – 1 акад. часов
- самостоятельная работа – 17 акад. часов;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основные принципы построения измерительных систем								
1.1 Обобщённая структура измерительной системы. Статические характеристики элементов измерительной системы: систематические и статистические. Ошибка измерения в установившемся режиме. Способы уменьшения статической ошибки измерения.	3	2			1	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
1.2 Динамические характеристики элементов измерительной системы. Динамическая ошибка при измерении. Способы уменьшения динамической ошибки измерения.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
1.3 Применение теории четырёхполосников для расчёта измерительных систем		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	

1.4 Сигналы и шум в измерительных системах. Влияние шума и помех на измерительные цепи. Источники шума. Методы снижения влияния шума и помех на процесс измерения.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
1.5 Надёжность измерительной системы. Способы повышения надёжности измерительной системы.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
Итого по разделу		10			9			
2. Основные элементы измерительных систем								
2.1 Основные типы сенсоров (чувствительных элементов). Классификация сенсоров: по физическому принципу измерения, по типу выходного сигнала, активные и пассивные.	3	2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
2.2 Основные схемы формирования сигнала: измерительные мосты, усилители, схемы модуляции, демодуляции, осцилляторы и резонаторы.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
2.3 Элементы обработки сигналов: АЦП, ЦАП, микроконтроллеры, компьютеры, ЦОС		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
2.4 Элементы отображения информации. Обзор и выбор		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
Итого по разделу		8			8			
Итого за семестр		18			17		зачёт	
Итого по дисциплине		18			17		зачет	

## **5 Образовательные технологии**

Практические занятия проходят как в традиционной форме, так и в интерактивной форме, где студентам заранее предлагается ознакомиться с информацией по теме занятия для подготовки вопросов преподавателю, таким образом, практическое занятие проходит по типу «вопросы–ответы–дискуссия». На всех практических занятиях также применяются элементы занятия-визуализации, за счет представления части материала с помощью заранее подготовленных презентаций, слайдов с помощью мультимедийного оборудования.

Теоретический материал, освоенный студентами самостоятельно, закрепляется на практических занятиях, на которых выполняются индивидуальные и групповые задания по пройденной теме. Часть практических занятий проводится в виде традиционных семинаров с целью более глубокого и полного усвоения теоретического материала по данной теме. Для этого студентам предлагается готовить доклады по рассматриваемой теме с дальнейшим обсуждением в ходе практического занятия (учебных дискуссий). На практических занятиях также применяются метод контекстного обучения, работы в команде и метод case-study, позволяющие усвоить учебный материал путём выявления связей между конкретным знанием и его применением, а также анализа конкретных ситуаций и поиска решений в группе студентов. Защита результатов практических заданий проходит в виде диалога преподавателя и студента, преподавателем задаются контрольные вопросы с целью выяснения глубины знаний студента по данному разделу, при этом пробелы в знаниях студента восполняются дополнительными пояснениями, комментариями преподавателя.

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются контрольные работы. Самостоятельная работа студентов заключается в проработке материала при подготовке к практическим занятиям.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Датчики: справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полишук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин. — Москва: Техносфера, 2012. — 624 с. — ISBN 978-5-94836-316-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/73560> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Немченко, В. И. Проектирование установки датчиков и средств автоматизации на технологическом оборудовании : учебное пособие / В. И. Немченко, Г. Н. Епифанова, А. Г. Панкратова. — 2-е изд. — Самара : АСИ СамГТУ, 2017. — 58 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/127541> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Войтович, И. Д. Интеллектуальные сенсоры : учебное пособие / И. Д. Войтович, В. М. Корсунский. — 2-е изд. — Москва : ИНТУИТ, 2016. — 1164 с. — ISBN 978-5-9963-0124-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/100608> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Попов, Г. В. Микромеханические инерциальные датчики : учебное пособие / Г. В. Попов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 269 с. — ISBN 978-5-7038-4336-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/103444> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Рыжова, А. А. Устройство, работа и метрологическое обслуживание датчиков систем автоматизации : учебно-методическое пособие / А. А. Рыжова. — Казань : КНИТУ, 2018. — 220 с. — ISBN 978-5-7882-2428-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/138496> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### **в) Методические указания:**

1. Лабораторный практикум по курсу "Датчики на основе микро- и нанотехнологий : учебное пособие / Б. И. Подлепецкий, С. В. Гуменюк, М. Ю. Никифорова, Н. Н. Самотаев. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. — 56 с. — ISBN 978-5-7262-1356-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75741> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Систематические характеристики элементов измерительных систем – методические указания. URL: [https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452667/mod\\_resource/content/1/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf](https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452667/mod_resource/content/1/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf) — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Статические характеристики элементов измерительных систем – методические указания. URL: [https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452671/mod\\_resource/content/1/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf](https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452671/mod_resource/content/1/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf) — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Статическая ошибка. Способы снижения статической ошибки – методические указания. URL: [https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452674/mod\\_resource/content/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B0.pdf](https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452674/mod_resource/content/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B0.pdf) — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Динамические характеристики элементов измерительных систем – методические указания. URL: [https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452676/mod\\_resource/content/1/%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf](https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452676/mod_resource/content/1/%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf) — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Динамическая ошибка. Способы снижения динамической ошибки – методические указания. URL: [https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452679/mod\\_resource/content/1/%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B0.pdf](https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452679/mod_resource/content/1/%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B0.pdf) — Режим доступа: для авториз. пользователей.



7. Теория четырёхполюсников. Влияние нагрузки. URL:  
[https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452680/mod\\_resource/content/1/%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%20%D1%87%D0%B5%D1%82%D1%8B%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2.pdf](https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452680/mod_resource/content/1/%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%20%D1%87%D0%B5%D1%82%D1%8B%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2.pdf) — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
NI MultiSim Education	К-68-08 от 29.05.2008	бессрочно
MathWorks MathLab v.2014 Classroom License	К-89-14 от 08.12.2014	бессрочно
NI Developer Suite	К-118-08 от 20.10.2008	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp">http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp</a>
Университетская информационная система РОССИЯ	<a href="https://uisrussia.msu.ru">https://uisrussia.msu.ru</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа.
  - 1.1. Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации, демонстрационные плакаты.
  - 1.2. Персональные компьютеры с установленным ПО для проектирования и моделирования измерительных систем (MathLab и NI Multisim).
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.
 

Персональные компьютеры с пакетом MS Office, ПО для проектирования и моделирования измерительных систем (MathLab и NI Multisim) локальной сетью и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

**Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

По дисциплине «Сенсорные датчики» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение контрольных задач на практических занятиях.

Примерные аудиторные контрольные работы (АКР):

АКР №1 «Обобщённая структура измерительной системы. Статические характеристики элементов измерительной системы: систематические и статистические. Ошибка измерения в установившемся режиме. Способы уменьшения статической ошибки измерения.»:

1. Датчик усилия имеет выходной диапазон от 1 до 5 В, соответствующий входному диапазону от 0 до  $2 \times 10^5$ Н. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой.

2. Датчик перепада давления имеет входной диапазон от 0 до  $2 \times 10^4$ Па и выходной диапазон от 4 до 20 мА. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой.

3. Нелинейный датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10 бар и выходной диапазон от 0 до 5 В. При давлении в 4 бара выходное напряжение составляет 2,2 В. Рассчитайте нелинейность в вольтах и в процентах относительно выходного диапазона.

4. Нелинейный датчик температуры имеет входной диапазон от 0 до 400 °С и выходной диапазон от 0 до 20 мВ. При температуре в 100 °С выходной сигнал равен 4,5 мВ. Определите нелинейность при 100°С в милливольтгах и в процентах от выходного диапазона.

5. Термопара используется для измерения температуры в диапазоне от 0 до 500 °С. При калибровке были получены следующие значения:

T,оС	0	100	200	300	500
E, мкВ	0	5286	10 777	16 325	27 388

6. Датчик давления имеет выходной диапазон от 1,0 до 5,0В при стандартной температуре окружающей среды в 20°С, и выходной диапазон от 1,2 до 5,2В при температуре 30°С. Оцените количественно влияние данной внешней помехи на передаточную характеристику.

7. Датчик давления имеет входной диапазон от 0 до  $10^4$ Па и выходной диапазон от 4 до 20мА при стандартной температуре окружающей среды 20°С. Если температура окружающей среды вырастает до 30°С, то выходной диапазон становится равным от 4,2 до 20,8мА. Найдите значения параметров  $K_I$  и  $K_M$  влияния данной внешней помехи.

8. Аналогово-цифровой преобразователь имеет входной диапазон от 0 до 5В. Рассчитайте разрешающую способность (ошибку) в вольтах и в процентах относительно входного диапазона:

- для 8-разрядного АЦП;
- для 16-разрядного АЦП.

9. Датчик уровня имеет выходной диапазон от 0 до 10В. Для уровня 3 метра, выходной сигнал имеет значения 3,05В и 2,95В для случаев падения и возрастания уровня соответственно. Найдите значение гистерезиса в процентах относительно выходного диапазона.

10. ЭДС спая термопары принимает значение 645мкВ для точки пара, 3375мкВ для точки цинка и 9149мкВ для точки серебра. Принимая, что зависимость ЭДС от температуры имеет вид  $E(t)=a_1T+a_2T^2+a_3T^3$  ( $T$  в °C), найдите  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ .

11. Зависимость сопротивления термистора от температуры имеет вид  $R(\theta)=\alpha \cdot \exp(\beta/\theta)$  ( $\theta$  в К). Сопротивление термистора для точки льда (273,15К) составляет 9,00кОм, а сопротивление в точке пара 0,50кОм. Определите сопротивление термистора при 25°C.

12. Датчик смещения имеет входной диапазон от 0,0 до 3,0см и стандартное напряжение питания  $V_S$  0,5В. Используя результаты калибровки, приведённые в таблице, определите:

- максимальную нелинейность в процентах относительно выходного диапазона;
- коэффициенты  $K_I$ ,  $K_M$ , характеризующие влияние изменения напряжения питания;
- коэффициент наклона аппроксимирующей прямой.

Смещение $x$ , см	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Выходное напряжение, мВ ( $V_S=0,5$ )	0,0	16,5	32,0	44,0	51,5	55,5	58,0
Выходное напряжение, мВ ( $V_S=0,6$ )	0,0	21,0	41,5	56,0	65,0	70,5	74,0

13. Измерительная система состоит из термопары типа хромель-алюмель (с компенсацией холодного спая), преобразователя в токовый сигнал (А/мВ) и самописца. В таблице приведены уравнения и параметры данных элементов. Предполагая, что все распределения вероятностей являются нормальными, рассчитайте среднее и стандартное отклонение распределения вероятности ошибки измерения, при входной температуре 117°C.

	Chromel–alumel thermocouple	e.m.f-to-current converter	Recorder
Model equation	$E = C_0 + C_1T + C_2T^2$	$i = K_I E + K_M E \Delta T_a + K_I \Delta T_a + a_1$	$T_M = K_2 i + a_2$
Mean values	$\bar{C}_0 = 0.00$ $\bar{C}_1 = 4.017 \times 10^{-2}$ $\bar{C}_2 = 4.66 \times 10^{-6}$	$\bar{K}_1 = 3.893$ $\Delta T_a = -10$ $\bar{a}_1 = -3.864$ $\bar{K}_M = 1.95 \times 10^{-4}$ $\bar{K}_I = 2.00 \times 10^{-3}$	$\bar{K}_2 = 6.25$ $\bar{a}_2 = 25.0$
Standard deviations	$\sigma_{C_0} = 6.93 \times 10^{-2}$ $\sigma_{C_1} = \sigma_{C_2} = 0$	$\sigma_{a_1} = 0.14, \sigma_{\Delta T_a} = 10$ $\sigma_{K_1} = \sigma_{K_M} = \sigma_{K_I} = 0$	$\sigma_{a_2} = 0.30$ $\sigma_{K_2} = 0.0$

14. Схема измерения давления состоит из датчика давления, измерительного моста, усилителя и самописца. В таблице приведены коэффициенты  $K$  передаточных линейных характеристик всех элементов системы и соответствующие диапазоны ошибок  $h$ .

- Рассчитайте стандартное отклонение  $\sigma_E$  функции распределения ошибки измерения.

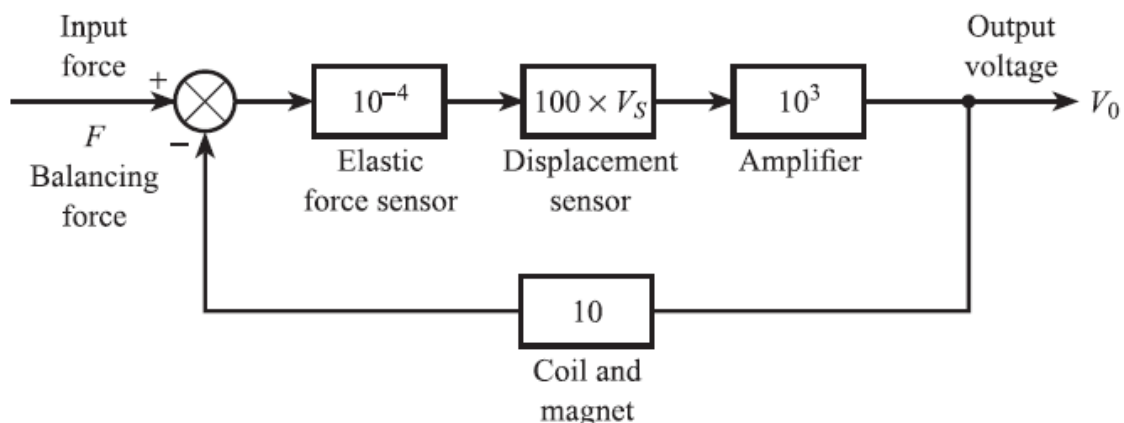
- Учитывая, что самописец настроен неправильно, так что его чувствительность составляет 225Па/мВ, рассчитайте среднее значение ошибки измерения  $\bar{E}$  при входном давлении  $5 \cdot 10^3$ Па.

Element	Linear sensitivity $K$	Error bandwidth $\pm h$
Pressure sensor	$10^{-4} \Omega \text{ Pa}^{-1}$	$\pm 0.005 \Omega$
Deflection bridge	$4 \times 10^{-2} \text{ mV } \Omega^{-1}$	$\pm 5 \times 10^{-4} \text{ mV}$
Amplifier	$10^3 \text{ mV mV}^{-1}$	$\pm 0.5 \text{ mV}$
Recorder	$250 \text{ Pa mV}^{-1}$	$\pm 100 \text{ Pa}$

15. На рисунке приведена структурная схема датчика усилия, охваченного отрицательной обратной связью. Сенсор (пружина) преобразует усилие в перемещение; датчик перемещения преобразует полученное перемещение в сигнал напряжения.  $V_S$  – напряжение источника питания датчика перемещения. Источник питания нестабилен.

Рассчитайте выходное напряжение  $V_0$  при:

- $V_S = 1\text{В}; F = 50\text{Н};$
- $V_S = 1,5\text{В}; F = 50\text{Н}.$

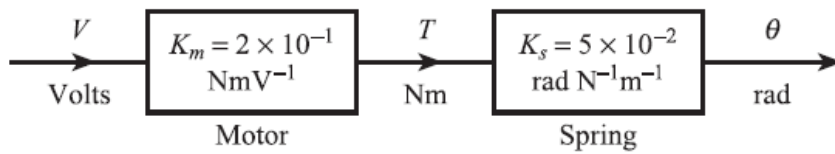


16. На рисунке приведена структурная схема вольтметра. Мотор создаёт момент  $T$  пропорциональный входному напряжению  $V$ , а угловое смещение пружины  $\theta$  пропорционально моменту  $T$ . Жёсткость пружины  $K_S$  может варьироваться в диапазоне  $\pm 10\%$  относительно номинального значения  $5 \cdot 10^{-2}$  рад/Нм. Дополнительно доступны следующие элементы:

- усилитель постоянного тока с коэффициентом усиления  $K=1000$ ;
- вычитатель напряжения;
- стабильный датчик угловых перемещений с передаточным коэффициентом 100В/рад.

– Используя дополнительные элементы, нарисуйте модифицированную схему, в которой уменьшено влияние изменения жёсткости пружины.

– Рассчитайте влияние увеличения жёсткости пружины  $K_S$  на 10% на чувствительность модифицированной системы.



АКР №2 «Динамические характеристики элементов измерительной системы. Динамическая ошибка при измерении. Способы уменьшения динамической ошибки измерения».

1. Система измерения температуры состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью  $K$ , равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией первого порядка чувствительного элемента. В момент времени  $t = 0$  чувствительный элемент внезапно переносится из воздуха при  $20^\circ\text{C}$  в кипящую воду. Через минуту элемент возвращается в воздушную среду. Используя данные, приведенные ниже, рассчитайте динамическую ошибку системы в следующие моменты времени:  $t = 10, 20, 50, 120$  и  $300\text{c}$ .

Параметры сенсора:

- масса =  $5 \times 10^{-2}$  кг;
- площадь поверхности =  $10^{-3}$  м<sup>2</sup>;
- удельная теплоемкость =  $0,2$  Дж/(кг $^\circ\text{C}$ );
- коэффициент теплопередачи для воздуха =  $0,2$  Вт/(м<sup>2</sup> $^\circ\text{C}$ );
- коэффициент теплопередачи для воды =  $1,0$  Вт/(м<sup>2</sup> $^\circ\text{C}$ ).

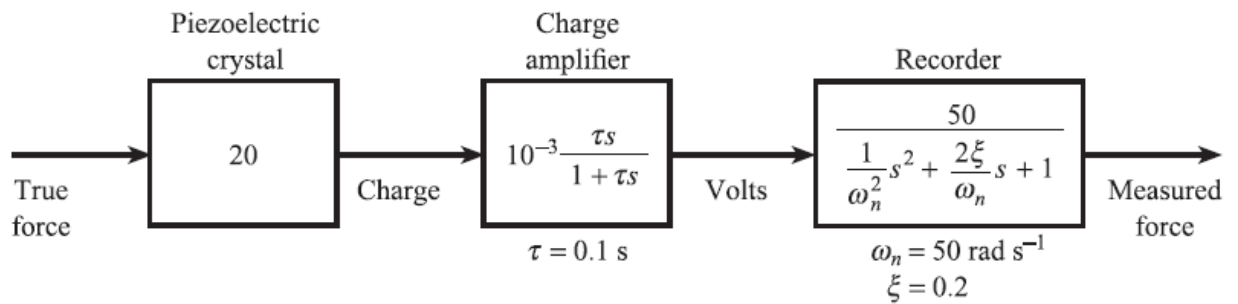
2. Система измерения усилия состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью  $K$ , равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией второго порядка чувствительного элемента, которая имеет собственную частоту  $\omega_n = 40$  рад/с и коэффициент демпфирования  $\xi = 0,1$ . Вычислите динамическую ошибку системы при измерении усилия, изменяющегося по следующему закону:

$$F(t) = 50(\sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t + \frac{1}{5} \sin 50t)$$

3. Термопара, измеряющая температуру в быстро движущейся жидкости имеет постоянную времени  $10\text{c}$ .

- Рассчитайте ширину полосы частотной характеристики термопары.
- Найдите диапазон частот, для которых отношение амплитуд находится в пределах  $\pm 5\%$ .
- Для компенсации инерционности термопары используется схема с передаточной функцией  $G(s) = (1 + 10s)/(1 + s)$ . Рассчитайте диапазон частот, для которых отношение амплитуд компенсированной системы находится в пределах  $\pm 5\%$ .
- Скорость жидкости уменьшается, в результате чего постоянная времени термопары увеличивается до  $20\text{c}$ . Зарисуйте АЧХ  $|G(j\omega)|$  и объясните, почему эффективность вышеуказанной компенсации снижается.

4. Система измерения усилия, состоящая из пьезоэлектрического кристалла, усилителя заряда (интегратора) и регистратора, показана на рисунке:



- Рассчитайте динамическую ошибку системы при изменении усилия по следующему закону:

$$F(t) = 50(\sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t + \frac{1}{5} \sin 50t)$$

- Объясните какие параметры нужно изменить в системе для уменьшения динамической ошибки, полученной в предыдущем задании.

5. Система измерения температуры для газового реактора состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью  $K$ , равной единице. Датчик температуры имеет постоянную времени  $5,0\text{с}$ ; также используется идеальный фильтр нижних частот с частотой среза  $0,05\text{Гц}$ . Входной температурный сигнал является периодическим с периодом  $63\text{с}$  и может быть аппроксимирован рядом Фурье:

$$T(t) = 10(\sin \omega_0 t + \frac{1}{2} \sin 2\omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{4} \sin 4\omega_0 t)$$

где  $\omega_0$  – угловая частота основной гармоники.

- Рассчитайте изменение выходного сигнала;
- Рассчитайте изменение динамической ошибки;
- Объясните какие параметры нужно изменить в системе для уменьшения полученной динамической ошибки.

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде изучения литературы по соответствующему разделу с проработкой материала.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ПК-6: Способен проводить аппаратное макетирование и экспериментальные работы по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры		
ПК-6.1:	Проводит экспериментальные исследования электронных устройств и систем по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры	<p>Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>какова структура обобщенной измерительной системы?</i></li> <li>– <i>что такое «ошибка измерительной системы»?</i></li> <li>– <i>каково назначение сенсора (чувствительного элемента) в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры сенсоров.</i></li> <li>– <i>каково назначение формирователя сигнала в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры формирователей сигналов.</i></li> <li>– <i>каково назначение обработчика сигнала в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры обработчиков сигналов.</i></li> <li>– <i>каково назначение элемента отображения в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры элементов отображения.</i></li> <li>– <i>что такое «статическая характеристика элемента измерительной системы»?</i></li> <li>– <i>что такое систематические характеристики элементов измерительной системы? Приведите примеры систематических характеристик.</i></li> <li>– <i>что такое нелинейность элемента измерительной системы? Как рассчитывается?</i></li> <li>– <i>что такое чувствительность элемента измерительной системы? Как рассчитывается?</i></li> <li>– <i>каков эффект влияния внешних помех на измерения: что такое эффект приращения и изменение</i></li> </ul>

	<p>чувствительности относительно характеристики элемента измерительной системы?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– в чём заключается эффект гистерезиса? Приведите примеры.</li> <li>– что такое разрешающая способность?</li> <li>– каким образом изменяются характеристики элементов при старении и износе?</li> <li>– что такое «диапазон ошибки»?</li> <li>– что такое статистические характеристики элементов измерительной системы? Приведите примеры статистических характеристик.</li> <li>– что такое повторяемость?</li> <li>– что такое «комбинирование погрешностей»?</li> <li>– что такое «допуск»?</li> <li>– как рассчитывается среднее значение и стандартное отклонение выхода элемента при условии нормального распределения отклонений в измерениях?</li> <li>– что такое калибровка?</li> <li>– чем отличается точность от погрешности?</li> <li>– назовите способы уменьшения статической ошибки.</li> <li>– объясните способ компенсации нелинейности.</li> <li>– перечислите способы компенсации внешнего возмущения.</li> <li>– в чём заключается метод противодействия внешнему возмущению?</li> <li>– каким образом ООС компенсирует внешнее возмущение?</li> <li>– каким образом использование дифференциальных схем компенсирует внешнее возмущение?</li> <li>– что такое «динамическая характеристика элемента измерительной системы»?</li> <li>– что такое «звено первого порядка»? Какова передаточная функция?</li> <li>– для чего применяется преобразование Лапласа?</li> </ul>
--	---



		<ul style="list-style-type: none"> <li>– что такое «звено второго порядка»? Какова передаточная функция?</li> <li>– в чём заключается принцип аналогии при описании различных физических процессов звеньями первого и второго порядка?</li> <li>– каким образом выполняется идентификация передаточной функции элемента, по реакции на единичный сигнал?</li> <li>– каким образом выполняется идентификация передаточной функции элемента, по реакции на гармонический сигнал?</li> <li>– что такое «динамическая ошибка»?</li> <li>– перечислите способы уменьшения динамической ошибки.</li> <li>– в чём заключаются конструктивные способы снижения динамической ошибки?</li> <li>– в чём заключается способ динамической компенсации.</li> <li>– каким образом ООС уменьшает динамическую ошибку? Что такое глубина ООС?</li> <li>– что такое четырёхполюсник?</li> <li>– в чём заключается теорема об эквивалентном источнике напряжения (теорема Тевенина)?</li> <li>– в чём заключается теорема об эквивалентном источнике тока (теорема Нортон)?</li> <li>– перечислите методы снижения влияния шума и помех на измерение.</li> <li>– перечислите способы повышения надёжности измерительной системы.</li> </ul>
ПК-6.2:	Осуществляет контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	<p>Перечень практических заданий для текущего контроля:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Датчик усилия имеет выходной диапазон от 1 до 5 В, соответствующий входному диапазону от 0 до <math>2 \times 10^5</math> Н. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой.</li> <li>– Датчик перепада давления имеет входной диапазон от 0 до <math>2 \times 10^4</math> Па и выходной диапазон от 4 до 20 мА. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой.</li> </ul>

	<p>– Нелинейный датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10 бар и выходной диапазон от 0 до 5 В. При давлении в 4 бара выходное напряжение составляет 2,2 В. Рассчитайте нелинейность в вольтах и в процентах относительно выходного диапазона.</p> <p>– Нелинейный датчик температуры имеет входной диапазон от 0 до 400 °С и выходной диапазон от 0 до 20 мВ. При температуре в 100 °С выходной сигнал равен 4,5 мВ. Определите нелинейность при 100°С в милливольтгах и в процентах от выходного диапазона.</p> <p>– Датчик давления имеет выходной диапазон от 1,0 до 5,0В при стандартной температуре окружающей среды в 20°С, и выходной диапазон от 1,2 до 5,2В при температуре 30°С. Оцените количественно влияние данной внешней помехи на передаточную характеристику.</p> <p>– Датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10<sup>4</sup>Па и выходной диапазон от 4 до 20мА при стандартной температуре окружающей среды 20°С. Если температура окружающей среды вырастает до 30°С, то выходной диапазон становится равным от 4,2 до 20,8мА. Найдите значения параметров КI и КМ влияния данной внешней помехи.</p> <p>– Аналогово-цифровой преобразователь имеет входной диапазон от 0 до 5В. Рассчитайте разрешающую способность (ошибку) в вольтах и в процентах относительно входного диапазона:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– для 8-разрядного АЦП;</li> <li>– для 16-разрядного АЦП.</li> </ul> <p>– Датчик уровня имеет выходной диапазон от 0 до 10В. Для уровня 3 метра, выходной сигнал имеет значения 3,05В и 2,95В для случаев</p>
--	--

		<p>падения и возрастания уровня соответственно. Найдите значение гистерезиса в процентах относительно выходного диапазона.</p> <p>– ЭДС спая термопары принимает значение 645мкВ для точки пара, 3375мкВ для точки цинка и 9149мкВ для точки серебра. Принимая, что зависимость ЭДС от температуры имеет вид <math>E(t)=a_1T+a_2T^2+a_3T^3</math> (<math>T</math> в оС), найдите <math>a_1</math>, <math>a_2</math> и <math>a_3</math>.</p> <p>– Зависимость сопротивления термистора от температуры имеет вид <math>R(\theta)=\alpha \cdot \exp(\beta/\theta)</math> (<math>\theta</math> в К). Сопротивление термистора для точки льда (273,15К) составляет 9,00кОм, а сопротивление в точке пара 0,50кОм. Определите сопротивление термистора при 25°С.</p> <p>– Система измерения температуры состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью К, равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией первого порядка чувствительного элемента. В момент времени <math>t = 0</math> чувствительный элемент внезапно переносится из воздуха при 20°С в кипящую воду. Через минуту элемент возвращается в воздушную среду. Используя данные, приведенные ниже, рассчитайте динамическую ошибку системы в следующие моменты времени: <math>t = 10, 20, 50, 120</math> и <math>300</math>с.</p> <p>– Параметры сенсора:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– масса = <math>5 \times 10^{-2}</math> кг;</li> <li>– площадь поверхности = <math>10^{-3}</math> м<sup>2</sup>;</li> <li>– удельная теплоемкость = 0,2 Дж/(кг°С);</li> <li>– коэффициент теплопередачи для воздуха = 0,2 Вт/(м<sup>2</sup>°С);</li> <li>– коэффициент теплопередачи для воды = 1,0 Вт/(м<sup>2</sup>°С).</li> </ul> <p>– Система измерения усилия состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью К, равной</p>
--	--	--

единице. Динамика системы определяется передаточной функцией второго порядка чувствительного элемента, которая имеет собственную частоту  $\omega_n = 40 \text{ рад/с}$  и коэффициент демпфирования  $\xi = 0,1$ . Вычислите динамическую ошибку системы при измерении усилия, изменяющегося по следующему закону:

$$- F(t) = 50(\sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t + \frac{1}{5} \sin 50t)$$

– Термопара, измеряющая температуру в быстро движущейся жидкости имеет постоянную времени  $10 \text{ с}$ .

– Рассчитайте ширину полосы частотной характеристики термодпары.

– Найдите диапазон частот, для которых отношение амплитуд находится в пределах  $\pm 5\%$ .

– Для компенсации инерционности термодпары используется схема с передаточной функцией  $G(s) = (1 + 10s)/(1 + s)$ . Рассчитайте диапазон частот, для которых отношение амплитуд компенсированной системы находится в пределах  $\pm 5\%$ .

– Скорость жидкости уменьшается, в результате чего постоянная времени термодпары увеличивается до  $20 \text{ с}$ . Зарисуйте АЧХ  $|G(j\omega)|$  и объясните, почему эффективность вышеуказанной компенсации снижается.

– Система измерения температуры для газового реактора состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью  $K$ , равной единице. Датчик температуры имеет постоянную времени  $5,0 \text{ с}$ ; также используется идеальный фильтр нижних частот с частотой среза  $0,05 \text{ Гц}$ . Входной температурный сигнал является периодическим с периодом  $63 \text{ с}$  и

		<p><i>может быть аппроксимирован рядом Фурье:</i></p> $- T(t) = 10\left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{2} \sin 2\omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{4} \sin 4\omega_0 t\right)$ <p><i>где <math>\omega_0</math> – угловая частота основной гармоники.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>– Рассчитайте изменение выходного сигнала;</i></li> <li><i>– Рассчитайте изменение динамической ошибки;</i></li> <li><i>– Объясните какие параметры нужно изменить в системе для уменьшения полученной динамической ошибки.</i></li> </ul>
--	--	---

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Сенсорные датчики» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и 2 практических задания.

**Показатели и критерии оценивания зачета:**

– **«зачтено»** – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– **«не зачтено»** – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.