

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР

А.В. Корячко

Инерциальные датчики
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Электронных приборов**
Учебный план 11.04.04_23_00.plx
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Квалификация **магистр**
Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>. <Семестр на курсе>) | 2 (1.2) | | Итого | |
|--|---------|-------|-------|-------|
| | Неделя | | | |
| Неделя | 16 | | | |
| Вид занятий | уп | рп | уп | рп |
| Лекции | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Лабораторные | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Практические | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Иная контактная работа | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Консультирование перед экзаменом и практикой | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Итого ауд. | 42,35 | 42,35 | 42,35 | 42,35 |
| Контактная работа | 42,35 | 42,35 | 42,35 | 42,35 |
| Сам. работа | 66 | 66 | 66 | 66 |
| Часы на контроль | 35,65 | 35,65 | 35,65 | 35,65 |
| Итого | 144 | 144 | 144 | 144 |

Программу составил(и):

к.т.н., доц., Серебряков Андрей Евгеньевич

Рабочая программа дисциплины

Инерциальные датчики

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника (приказ Минобрнауки России от 22.09.2017 г. № 959)

составлена на основании учебного плана:

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

утвержденного учёным советом вуза от 27.01.2023 протокол № 6.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Электронных приборов

Протокол от 26.05.2023 г. № 5

Срок действия программы: 2023-2025 уч.г.

Зав. кафедрой Чиркин Михаил Викторович

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры
Электронных приборов

Протокол от _____ 2024 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры
Электронных приборов

Протокол от _____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры
Электронных приборов

Протокол от _____ 2026 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры

Электронных приборов

Протокол от _____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

| 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) | |
|---|---|
| 1.1 | формирование знаний по основам теории, принципам действия, конструкциям и особенностям эксплуатации инерциальных датчиков. |
| 1.2 | Задачи дисциплины: |
| 1.3 | - изучение физических основ теории построения и принципов действия инерциальных датчиков; |
| 1.4 | - обобщение знаний о направлениях и перспективах развития инерциальных датчиков; |
| 1.5 | - знакомство с методами измерения шумов сигналов инерциальных датчиков и методами их подавления; |
| 1.6 | - практическое овладение современным методами разработки и моделирования инерциальных датчиков; |
| 1.7 | - получение навыков проектирования инерциальных датчиков с учетом их конструктивных особенностей и основных эксплуатационных характеристик. |
| 1.8 | - применение приобретенных теоретических и практических знаний для решения конкретных задач при прохождении учебных практик и спецпрактикумов, при выполнении курсовых и выпускных работ, а также в дальнейшей профессиональной деятельности. |

| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ | |
|---|---|
| Цикл (раздел) ОП: | Б1.В.ДВ.01 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: |
| 2.2.1 | MEMS-технологии |
| 2.2.2 | Научно-исследовательская работа (часть 2) |
| 2.2.3 | Производственная практика |
| 2.2.4 | Выполнение и защита выпускной квалификационной работы |
| 2.2.5 | Преддипломная практика |

| 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) | |
|---|--|
| ПК-4: Разрабатывает отдельные детали и узлы приборов ориентации и навигации | |
| ПК-4.1. Выполняет теоретические изыскания принципов и путей создания новых образцов приборов ориентации и навигации | |
| Знать принципы построения и функционирования инерциальных датчиков и измерительных систем на их основе; | |
| Уметь моделировать и проектировать чувствительные элементы и функциональные узлы инерциальных датчиков и устройств с учетом заданных технических требований | |
| Владеть навыками построения моделей инерциальных датчиков и их сигналов | |
| ПК-4.2. Выполняет экспериментальные исследования новых образцов приборов ориентации, навигации | |
| Знать функциональные узлы и особенности конструирования и разработки инерциальных датчиков (акселерометров, электромеханических гироскопов с карданным подвесом ротора, динамически настраиваемых гироскопов, микромеханических гироскопов, волновых твердотельных и электростатических гироскопов, а также оптических кольцевых гироскопов (лазерных)) | |
| Уметь производить обработку сигналов и измерения шумов инерциальных датчиков; производить анализ научно-технических проблем в области проектирования инерциальных датчиков с учетом нормативных требований | |
| Владеть современными информационными технологиями и программными комплексами для разработки проектно-конструкторской документации на инерциальные датчики и их функциональные узлы | |

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

| | |
|------------|--|
| 3.1 | Знать: |
| 3.1.1 | принципы построения и функционирования инерциальных датчиков и измерительных систем на их основе; функциональные узлы и особенности конструирования и разработки инерциальных датчиков (акселерометров, электромеханических гироскопов с карданным подвесом ротора, динамически настраиваемых гироскопов, микромеханических гироскопов, волновых твердотельных и электростатических гироскопов, а также оптических кольцевых гироскопов (лазерных)); |
| 3.2 | Уметь: |

| | |
|---------------------|--|
| 3.2.1 | моделировать и проектировать чувствительные элементы и функциональные узлы инерциальных датчиков и устройств с учетом заданных технических требований; производить обработку сигналов и измерения шумов инерциальных датчиков; производить анализ научно-технических проблем в области проектирования инерциальных датчиков с учетом нормативных требований; |
| 3.3 Владеть: | |
| 3.3.1 | навыками построения моделей инерциальных датчиков и их сигналов; способами и методами подавления шумов в сигналах инерциальных датчиков; современными информационными технологиями и программными комплексами для разработки проектно-конструкторской документации на инерциальные датчики и их функциональные узлы. |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Компетенции | Литература | Форма контроля |
|-------------|---|----------------|-------|-------------|-----------------------|----------------|
| | Раздел 1. | | | | | |
| 1.1 | Предмет и задачи дисциплины «Инерциальные датчики». /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.2 | Задачи и методы навигации летательных аппаратов. Инерциальный способ решения навигационной задачи. Платформенные навигационные системы. Бесплатформенные навигационные системы. /Лек/ | 2 | 1 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.3 | Требования к точности инерциальных датчиков и их характеристики. Особенности электронных устройств, обрабатывающих сигналы инерциальных датчиков. /Ср/ | 2 | 8 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.4 | Акселерометры /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.5 | Общая характеристика. Классификация датчиков. Осевые и маятниковые акселерометры, их конструкции и технические характеристики. /Лек/ | 2 | 1 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.6 | Расчет кинетической схемы микромеханических акселерометров /Пр/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.7 | Механический акселерометр /Лаб/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.8 | Емкостные преобразователи смещения и электронные устройства для преобразования перемещений чувствительных элементов в отсчеты ускорения. Компенсация влияния поперечных ускорений и угловых ускорений на выходной сигнал. Акселерометры с «электрической» пружиной. Компенсационный акселерометр маятникового типа. Поплавковый акселерометр. Кварцевые и кремневые | 2 | 10 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.9 | Микромеханические акселерометры (ММА) /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.10 | История развития ММА. Принцип действия ММА. ММА с поступательным перемещением ЧЭ. ММА с упругим подвесом маятникового типа. Вибрационный ММА. Тепловые дрейфы ММА. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.11 | Основные технические характеристики ММА. Электронные технологии производства микромеханических акселерометров: материалы, формирование тонких пленок (эпитаксия, диффузия, ионная имплантация), литография, травление и изготовление микроструктур, сборка микромеханических приборов. /Ср/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.12 | ММА с упругим подвесом маятникового типа. /Пр/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |

| | | | | | | |
|------|---|---|----|----------|-----------------------|---------|
| 1.13 | Гироскопические датчики угловых скоростей /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.14 | Гироскопический датчик угловой скорости (ДУС), построенный на базе двухстепенного гироскопа. Гироскопический момент и правило Жуковского. Принцип действия и основные характеристики ДУС. Эффект некоммутируемости конечных поворотов. Интегрирующие гироскопы. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.15 | Поплавковые гироскопы: принцип построения и основные технические характеристики. Электростатические сферические гироскопы. Эффект динамической балансировки и его применение в динамически настраиваемых гироскопах /Ср/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.16 | Гироскопический датчик угловой скорости /Пр/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.17 | Гироскопы с тремя степенями свободы /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.18 | Уравнения движения трехстепенного свободного гироскопа. Трехстепенный свободный гироскоп как датчик угловой ориентации. Основные свойства 3х-степенного свободного астатического гироскопа /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.19 | Основные свойства 3х-степенного свободного астатического гироскопа /Ср/ | 2 | 10 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.20 | Волновые твердотельные гироскопы (ВТГ) /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.21 | Инертность стоячей упругой волны, возбужденной в осесимметричной оболочке, эффект Брайана. Конструкция волнового твердотельного гироскопа и его преимущества. Позиционный и параметрический способы возбуждения стоячих волн в осесимметричной оболочке, принципы регистрации угловой скорости и угловых перемещений. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.22 | Автоподстройка частоты колебаний в интегрирующем ВТГ. Требования к материалам и технологические этапы производства ВТГ. /Ср/ | 2 | 0 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.23 | Волновой твердотельный гироскоп /Пр/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.24 | Микромеханические гироскопы (ММГ) /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.25 | Конструкции и принципы работы ММГ. ММГ LL-типа. ММГ RR-типа. ММГ RL-типа. ММГ камертонного типа. Проблема тепловых дрейфов в ММГ. Технологические основы производства ММГ. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.26 | Технологические основы производства ММГ. /Ср/ | 2 | 10 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.27 | Оптические гироскопы /Тема/ | 2 | 0 | | | |

| | | | | | | |
|------|---|---|------|--|-----------------------|---------|
| 1.28 | Эффект Саньяка в пассивном интерферометре. Волоконно- оптические гироскопы (ВОГ). Структурная схема ВОГ и метод несимметричной фазовой модуляции встречных волн, распространяющихся в оптическом волокне.. Основные технические характеристики ВОГ. Особенности эффекта Саньяка в кольцевом лазере, принцип действия лазерного гироскопа. Проблема синхронизации встречных волн, генерируемых кольцевым лазером: явление захвата и способы его преодоления, знакопеременная частотная подставка. Конструкции ЛГ. Факторы, ограничивающие точность ЛГ. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.29 | Лазерный гироскоп. Исследование выходного сигнала лазерного гироскопа /Лаб/ | 2 | 4 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.30 | Активная среда кольцевого гелий-неонового лазера и проблема невязимости генерируемых им встречных волн. Частотная подставка в ЛГ на основе зеемановского лазера. Основные технические характеристики и преимущества ЛГ. /Ср/ | 2 | 10 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.31 | Лазерный гироскоп /Пр/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.32 | Испытания инерциальных датчиков /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 1.33 | Методики испытаний и схемы управляемых оснований для контроля статических и динамических характеристик гироскопов и акселерометров. Шумы выходного сигнала гироскопов и акселерометров, их описание с помощью вариации Аллана. /Лек/ | 2 | 0 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.34 | Шумы выходного сигнала гироскопов и акселерометров, их описание с помощью вариации Аллана. /Ср/ | 2 | 10 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 1.35 | Заключение. Перспективы развития инерциальных датчиков /Тема/ | 2 | 0 | | | Экзамен |
| 1.36 | Новые направления развития в области инерциальных датчиков и технологий. Современные перспективные типы и виды инерциальных датчиков. /Лек/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| | Раздел 2. | | | | | |
| 2.1 | /Тема/ | 2 | 0 | | | |
| 2.2 | /ИКР/ | 2 | 0,35 | ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
| 2.3 | /Кнс/ | 2 | 2 | ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |

| | | | | | | |
|-----|-----------|---|-------|--|-----------------------|---------|
| 2.4 | /Экзамен/ | 2 | 35,65 | ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 | Экзамен |
|-----|-----------|---|-------|--|-----------------------|---------|

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Инерциальные датчики")

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| № | Авторы, составители | Заглавие | Издательство, год | Количество/название ЭБС |
|------|--|--|---|---|
| Л1.1 | Юматов Л.С., Кушнарв Ю.М. | Электронавигационные приборы и их эксплуатация : Учеб. | М.:Транспорт, 1989, 199с. | 5-277-00425-4, 1 |
| Л1.2 | Джашитов, А. Э., Бекренев, Н. В., Горбачев, В. О., Злобина, И. В., Карачаровский, В. Ю., Овчинникова, Н. В., Цветкова, О. А. | Теоретическая механика. Сквозные задачи, алгоритмы решения задач с комментариями, содержанием теории и примерами, математика : учебное пособие | Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2020, 259 с. | 978-5-7433-3377-6, http://www.iprbookshop.ru/108712.html |

6.1.2. Дополнительная литература

| № | Авторы, составители | Заглавие | Издательство, год | Количество/название ЭБС |
|------|--|---|--------------------------------|-------------------------|
| Л2.1 | Коновалов С.Ф. | Теория виброустойчивости акселерометров | М.:Машиностроение, 1991, 272с. | 5-217-01273-0, 1 |
| Л2.2 | Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. | Пьезоэлектрические датчики | М.: Техносфера, 2006, 632с. | 5-94836-100-4, 1 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1 <http://www.lomonosov-fund.ru>

6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

Наименование

Описание

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| | |
|---|---|
| 1 | 103 лабораторный корпус. помещение для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс. Специализированная мебель (24 посадочных места), магнитно-маркерная доска. Мультимедиа проектор, 1 экран. ПК. Возможность подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ |
|---|---|

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины "Инерциальные датчики")

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

| | | | |
|---|--|----------------------|-----------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ | | | |
| ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ КАФЕДРЫ | ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Серебряков Андрей Евгеньевич, Заместитель заведующего кафедрой | 26.09.23 11:59 (MSK) | Простая подпись |
| ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ | ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Чиркин Михаил Викторович, Ректор | 26.09.23 12:00 (MSK) | Простая подпись |
| ПОДПИСАНО ПРОРЕКТОРОМ ПО УР | ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Корячко Алексей Вячеславович, Проректор по учебной работе | 26.09.23 12:03 (MSK) | Простая подпись |