

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

Инерциальные датчики
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	Промышленной электроники
Учебный план	v11.04.04_25_00.plx 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Квалификация	магистр
Форма обучения	очно-заочная
Общая трудоемкость	4 ЗЕТ

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
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

г. Рязань

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 28.02.2025 протокол № 8.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Промышленной электроники

Протокол от 22.05.2025 г. № 11

Срок действия программы: 2025-2027 уч.г.

Зав. кафедрой Круглов Сергей Александрович

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

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

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
Промышленной электроники

Протокол от _____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры
Промышленной электроники

Протокол от _____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры

Промышленной электроники

Протокол от _____ 2029 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	Преддипломная практика
2.2.5	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.6	Электронные устройства в инерциальных технологиях

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 и проводит их анализ	
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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.6	Расчет кинетической схемы микромеханических акселерометров /Пр/	2	4	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.7	Механический акселерометр /Лаб/	2	4	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 маятниковые акселерометры. /Ср/	2	10	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.12	ММА с упругим подвесом маятникового типа. /Пр/	2	4	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.16	Гироскопический датчик угловой скорости /Пр/	2	2	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.19	Основные свойства 3х-степенного свободного астатического гироскопа /Ср/	2	10	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.23	Волновой твердотельный гироскоп /Пр/	2	4	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.26	Технологические основы производства ММГ. /Ср/	2	10	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.29	Лазерный гироскоп. Исследование выходного сигнала лазерного гироскопа /Лаб/	2	4	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.30	Активная среда кольцевого гелий-неонового лазера и проблема невзаимности 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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	Экзамен
1.31	Лазерный гироскоп /Пр/	2	2	ПК-4.1-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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 Л2.3Л3.1 Л3.2 Л3.3	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	Липин А. В.	Аэронавигация в международных полетах : учебное пособие	Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2021, 278 с.	978-5-907354-05-0-3, https://e.lanbook.com/book/167051
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	Юматов Л.С., Кушнарев Ю.М.	Электронавигационные приборы и их эксплуатация : Учеб.	М.:Транспорт, 1989, 199с.	5-277-00425-4, 1

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.3	Шарапов В.М., Муслиенко М.П., Шарапова Е.В.	Пьезоэлектрические датчики	М.: Техносфера, 2006, 632с.	5-94836-100-4, 1

6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
ЛЗ.1	Калихман, Д. М., Депутатова, Е. А.	Математическое моделирование мехатронных систем. В 3 частях. Ч.1. Гироскопические измерители угловой скорости и акселерометры : учебно-методическое пособие	Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2020, 68 с.	978-5-7433-3418-6, https://www.iprbookshop.ru/117205.html
ЛЗ.2	Калихман, Д. М., Депутатова, Е. А.	Математическое моделирование мехатронных систем. В 3 частях. Ч.2. Прецизионные стенды с инерциальными чувствительными элементами для контроля гироскопических приборов : учебно-методическое пособие	Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2021, 72 с.	978-5-7433-3455-1, https://www.iprbookshop.ru/122625.html
ЛЗ.3	Калихман, Д. М., Депутатова, Е. А., Садомцев, Ю. В.	Математическое моделирование мехатронных систем. В 3 частях. Ч.3. Цифровые системы управления гироскопических измерителей угловой скорости, акселерометров и прецизионных поворотных стендов с инерциальными чувствительными элементами : учебно-методическое пособие	Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2021, 88 с.	978-5-7433-3448-3, https://www.iprbookshop.ru/122626.html

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	документ, одобренный и утвержденный рабочей программой дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины")	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Круглов Сергей Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ	01.09.25 19:40 (MSK)	Простая подпись
Методические указания дисциплины	документ, одобренный и утвержденный рабочей программой дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины")	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Круглов Сергей Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ	01.09.25 19:40 (MSK)	Простая подпись