

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Компьютерные технологии управления в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ДИНАМИКА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б4.Ч.03.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	8 семестр - 12 часов;
Практические занятия	8 семестр - 12 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	8 семестр - 47,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Проверочная работа Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	8 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MercuryevIV-1e4a883c

И.В. Меркурьев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Адамов Б.И.
	Идентификатор	R2db20bbf-AdamovBI-4e0d2620

Б.И. Адамов

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MercuryevIV-1e4a883c

И.В. Меркурьев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов обработки измерительных данных и управления движением, выработка навыков математического моделирования сложных технических систем и овладение основными алгоритмами исследования колебаний

Задачи дисциплины

- изучение основных понятий, концепций и методов исследований теории датчиков инерциальной информации и систем на их основе;
- ознакомление с историей и логикой развития теории датчиков и систем инерциальной и внешней информации.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании и конструировании экспериментальных макетов мехатронных и робототехнических систем, изделий детской и образовательной робототехники	ИД-1ПК-1 Способен выполнять разработку схемотехнических решений и проведения расчетов опытных образцов мехатронных и робототехнических устройств, изделий детской и образовательной робототехники с применением современных компьютерных технологий	знать: - классификацию, принципы функционирования и сферы применения датчиков инерциальной информации. уметь: - проводить идентификацию параметров математических моделей микромеханических датчиков инерциальной информации, предлагать способы компенсации возмущающих воздействий.
РПК-2 Способен использовать современные методы исследования и моделирования динамики мехатронных систем	ИД-2РПК-2 Применяет асимптотические методы для исследования и моделирования динамики мехатронных систем	знать: - математические модели микромеханических датчиков. уметь: - исследовать динамику чувствительных элементов микромеханических датчиков инерциальной информации.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам основной профессиональной образовательной программе Компьютерные технологии управления в робототехнике и мехатронике (далее – ОПОП), направления подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные законы механики деформируемого твёрдого тела
- знать основные принципы аналитической механики
- уметь исследовать колебания динамических систем
- уметь решать использовать метод наименьших квадратов в задачах идентификации параметров

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Классификация датчиков инерциальной информации	9	8	2	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Классификация датчиков инерциальной информации"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Классификация датчиков инерциальной информации"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 4-19</p>	
1.1	Классификация датчиков инерциальной информации	9		2	-	2	-	-	-	-	-	5	-		
2	Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров	20		4	-	6	-	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 5-25</p>
2.1	Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров	20		4	-	6	-	-	-	-	-	-	10	-	
3	Процессы управления и измерения сигналов,	25		6	-	4	-	-	-	-	-	15	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Выполнение расчётного задания</p>	

	идентификации датчиков инерциальной информации												<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Процессы управления и измерения сигналов, идентификации датчиков инерциальной информации"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 26-53</p>
3.1	Математические модели процессов управления и измерения сигналов датчиков инерциальной информации	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
3.2	Методы повышения точности датчиков инерциальной информации	9	2	-	2	-	-	-	-	-	5	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	72.0	12	-	12	-	-	-	-	0.3	30	17.7	
	Итого за семестр	72.0	12	-	12	-	-	-	-	0.3	47.7		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Классификация датчиков инерциальной информации

1.1. Классификация датчиков инерциальной информации

Классификация датчиков инерциальной информации. Физические основы функционирования датчиков инерциальной и внешней навигации. Вибрационный, динамически настраиваемый, микромеханический, волновой твердотельный, волоконно-оптический, лазерный, электростатический гироскопы. Гироскопы класса обобщенного маятника Фуко. Бесплатформенная инерциальная навигационная система минимальной размерности. Вывод уравнений движения чувствительного элемента системы – материальной точки в пространственном упругом подвесе. Процедура осреднения уравнений движения чувствительного элемента.

2. Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров

2.1. Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров

Динамика микромеханического гироскопа L-L типа. Гироскоп L-L типа с двумя обобщенными координатами. Вывод уравнений движения чувствительного элемента. Получение точного решения в консервативном случае. Фигура Лиссажу. Динамика микромеханического гироскопа L-L типа с двумя обобщенными координатами в режиме свободных колебаний с учетом сил вязкого трения. Динамика микромеханического гироскопа L-L типа в режиме вынужденных колебаний. Нелинейные эффекты в динамике гироскопа. Принципиальные погрешности гироскопа класса обобщенного маятника Фуко.

3. Процессы управления и измерения сигналов, идентификации датчиков инерциальной информации

3.1. Математические модели процессов управления и измерения сигналов датчиков инерциальной информации

Задача идентификации параметров математической модели движения гироскопа класса обобщенного маятника Фуко. Методика динамических испытаний микромеханического гироскопа на подвижном основании в режиме вынужденных колебаний. Управление движением резонатора микромеханического гироскопа в компенсационном режиме датчика угловой скорости. Построение пропорционально-интегрального регулятора. Управление в резонансном режиме колебаний. Микромеханический гироскоп в виде прямолинейного консольно закрепленного стержня на подвижном основании. Влияние инструментальных погрешностей изготовления, продольной и угловой вибрации основания на точностные характеристики гироскопа. Поведение гироскопа при учете нелинейной деформации стержня. Волновой твердотельный гироскоп. Вывод уравнений движения гироскопа в форме кругового кольца. Вынужденные и параметрические колебания гироскопа. Математические модели процессов управления колебаниями, измерения сигналов и выделения инерциальной информации.

3.2. Методы повышения точности датчиков инерциальной информации

Аналитическая, алгоритмическая и силовая компенсация систематических погрешностей датчиков.

3.3. Темы практических занятий

1. Семестр 8

№1 Принцип функционирования и измерительные сигналы датчиков инерциальной и внешней информации (2 часа).

№2 Разработка математических моделей чувствительных элементов микромеханических гироскопов (4 часа).

№3 Контрольная работа (2 часа).

№4 Идентификация параметром модели ЧЭ микромеханического гироскопа (2 часа)

№5 Исследование и компенсация нелинейных эффектов в динамике микромеханических гироскопов (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Процессы управления и измерения сигналов, идентификации датчиков инерциальной информации"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
Знать:					
классификацию, принципы функционирования и сферы применения датчиков инерциальной информации	ИД-1ПК-1	+			Проверочная работа/Опрос по разделу 1
математические модели микромеханических датчиков	ИД-2РПК-2		+		Контрольная работа/Динамика микромеханического гироскопа типа обобщённого маятника Фуко
Уметь:					
проводить идентификацию параметров математических моделей микромеханических датчиков инерциальной информации, предлагать способы компенсации возмущающих воздействий	ИД-1ПК-1			+	Расчетно-графическая работа/Идентификация математической модели гироскопа
исследовать динамику чувствительных элементов микромеханических датчиков инерциальной информации	ИД-2РПК-2		+		Контрольная работа/Динамика микромеханического гироскопа типа обобщённого маятника Фуко

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Динамика микромеханического гироскопа типа обобщённого маятника Фуко (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Идентификация математической модели гироскопа (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Опрос по разделу 1 (Проверочная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №8)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачётной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Динамика микромеханических систем : учебное пособие по курсам "Основы мехатроники и робототехники", "Теория колебаний и динамика машин" по направлению "Мехатроника и робототехника" / А. Б. Гавриленко, И. В. Меркурьев, В. В. Подалков, Е. С. Сбытова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 60 с. - ISBN 978-5-7046-1725-9 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=8174>;
2. Пролетарский А. В., Неусыпин К. А., Кузнецов И. А.- "Алгоритмы коррекции навигационных систем", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2015 - (67 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=62072.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Антиплагиат ВУЗ;
6. Scilab;
7. GNU Octave.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	С-215, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	С-213, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	С-215, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	С-213, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
	С-200, Компьютерный класс каф. "РМДиПМ"	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Б-420, Кабинет сотрудников каф. "РМДиПМ"	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, оборудование специализированное, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	С-114/1, Массажная	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Динамика микромеханических систем

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Опрос по разделу 1 (Проверочная работа)

КМ-2 Динамика микромеханического гироскопа типа обобщённого маятника Фуко
(Контрольная работа)

КМ-3 Идентификация математической модели гироскопа (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	4	8	11
1	Классификация датчиков инерциальной информации				
1.1	Классификация датчиков инерциальной информации		+		
2	Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров				
2.1	Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров			+	
3	Процессы управления и измерения сигналов, идентификации датчиков инерциальной информации				
3.1	Математические модели процессов управления и измерения сигналов датчиков инерциальной информации				+
3.2	Методы повышения точности датчиков инерциальной информации				+
Вес КМ, %:			20	40	40