

**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**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б4.Ч.02.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 2;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>72 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр - 12 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 12 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 47,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Проверочная работа</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

(подпись)


И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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


(подпись)

Б.И. Адамов

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

## 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: - математические модели микромеханических датчиков; - классификацию, принципы функционирования и сферы применения датчиков инерциальной информации.  уметь: - исследовать динамику чувствительных элементов микромеханических датчиков инерциальной информации; - проводить идентификацию параметров математических моделей микромеханических датчиков инерциальной информации, предлагать способы компенсации возмущающих воздействий.

## 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><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Классификация датчиков инерциальной информации"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Классификация датчиков инерциальной информации"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математические модели микромеханических гироскопов и акселерометров"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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	-	

	идентификации датчиков инерциальной информации												<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Процессы управления и измерения сигналов, идентификации датчиков инерциальной информации"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>72.0</b>	<b>12</b>	-	<b>12</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>30</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>72.0</b>	<b>12</b>	-	<b>12</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>47.7</b>		

**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	
<b>Знать:</b>					
классификацию, принципы функционирования и сферы применения датчиков инерциальной информации	ИД-1ПК-1	+			Проверочная работа/Опрос по разделу 1
математические модели микромеханических датчиков	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Динамика микромеханического гироскопа типа обобщённого маятника Фуко
<b>Уметь:</b>					
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-1ПК-1		+		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.

**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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8174](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=62072).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office;
3. Windows;
4. Matlab;
5. Майнд Видеоконференции;
6. Антиплагиат ВУЗ;
7. Mathematica.

### 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](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-303, 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	С-208/1, Кабинет сотрудников	стол, стул, компьютер персональный, принтер
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