

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 07 » июня 20 21 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Методы моделирования бесплатформенных инерциальных  
навигационных систем  
\_\_\_\_\_ (наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 504 (14)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 24.04.02 Системы управления движением и навигация  
\_\_\_\_\_ (код и наименование направления)

**Направленность:** Системы инерциальной навигации и управления подвижных  
объектов  
\_\_\_\_\_ (наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является овладение студентами различными методами моделирования динамических систем, в том числе систем навигации, управления и их составных частей.  
Основные задачи дисциплины: знакомство с математическим аппаратом, применяемым в математических моделях систем;  
Получение опыта построения математических и компьютерных моделей систем навигации и управления, а также их составных частей;  
Формирование умения работы с пакетами прикладных программ для моделирования технических систем;  
Знакомство с методами полунатурного и натурального моделирования.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Обыкновенные дифференциальные уравнения и численные методы их решения, модели механических акселерометров и гироскопов на основе обыкновенных дифференциальных уравнений; Временные и частотные характеристики линейных систем с сосредоточенными параметрами;  
Уравнения математической физики; Методы конечных разностей, конечных элементов, конечных объемов; Пакеты компьютерного моделирования Matlab Simulink, SciLab, SimInTech, Ansys;  
Теория размерностей и подобия; Методы аналогового и полунатурного моделирования; Программно-аппаратное моделирование.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1пк-1.1	Знает методы моделирования механических, оптоэлектронных и микромеханических узлов навигационных систем	Знает методы теоретических и экспериментальных исследований механических, оптоэлектронных и микромеханических узлов навигационных систем	Зачет
ПК-1.1	ИД-2пк-1.1	Умеет применять современное оборудование для моделирования навигационных систем и их составных частей	Умеет применять современное оборудование для лабораторных исследований механических, оптоэлектронных и микромеханических узлов	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД3пк-1.1	Владеет навыками планирования вычислительных и натуральных экспериментов	Владеет навыками планирования экспериментальных исследований	Экзамен
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	Знает современные методы моделирования применяемые при производстве и испытании приборов ориентации, навигации и стабилизации	Знает современные технологии разработки и производства и испытания приборов ориентации, навигации и стабилизации	Экзамен
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Умеет применять пакеты прикладных программ для проведения и обработки данных вычислительных и полунатурных исследований образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей	Умеет применять современные технологии разработки конструкции, технологии изготовления и испытания образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей	Контрольная работа
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеет опытом разработки моделей математических, компьютерных, аналоговых моделей образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей	Владеет опытом разработки конструкции, технологии изготовления и испытания образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей	Экзамен

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	3
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	120	60	60
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	36	18	18
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	72	36	36
- контроль самостоятельной работы (КСР)	12	6	6
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	348	66	282
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	504	126	378

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Введение в моделирование.	9	0	18	33
Понятие моделирования. Общая постановка задачи моделирования. Классификация моделей. Концептуальная и формальная постановки. Жизненный цикл модели. Примеры простых математических моделей. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Начальная и краевая задачи. Теоремы существования и единственности решения. Линейные и квазилинейные дифференциальные уравнения. Фундаментальная система решений. Метод малого параметра. Передаточные функции и частотные характеристики обыкновенных линейных систем. Примеры математических моделей инерциальных датчиков. Обзор численных методов решения начальной и краевой задачи. Явные методы интегрирования. Жесткие задачи. Неявные методы интегрирования дифференциальных уравнений.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Уравнения математической физики.	9	0	18	33
Элементы анализа. Функция нескольких переменных. Частные производные. Криволинейные интегралы и интегралы по поверхности. Дивергенция, градиент, поток, циркуляция, ротор векторного поля. Формулы Остроградского-Гаусса, Стокса, Грина. Классификация уравнений математической физики. Параболические, гиперболические, эллиптические уравнения. Классификация краевых задач. Задачи Дирихле, Неймана, Робена. Уравнение колебания струны, уравнение теплопроводности. Уравнение Лапласа. Решение методом Фурье, применение формулы Грина. Обзор методов решения уравнений в частных производных. Основные идеи методов конечных разностей, конечных элементов и конечных объемов. Пакеты для решения уравнений в частных производных. Краткий обзор уравнений механики сплошной среды. Элементы тензорного исчисления.				
ИТОГО по 2-му семестру	18	0	36	66
<b>3-й семестр</b>				
Численное моделирование систем с распределенными параметрами	9	0	18	141
Уравнения механики деформируемого твердого тела. Обзор инструментов Ansys для решения уравнений МДТТ. Численный модальный анализ. Сущность модального анализа. Модальные параметры. Инструменты Ansys для модального анализа.				
Полунатурное и натурное моделирование	9	0	18	141
Введение в теорию размерности и подобия. Автомодельность. Примеры критериев подобия. Модальный анализ. Виброиспытания. Полунатурное моделирование. Программно-аппаратное моделирование.				
ИТОГО по 3-му семестру	18	0	36	282
ИТОГО по дисциплине	36	0	72	348

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Построение математической и компьютерной моделей компенсационного маятникового акселерометра. Гармонический анализ акселерометра как абсолютно твердого тела.
2	Построение математической и компьютерной моделей MEMS гироскопа. Анализ вибрационной чувствительности.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
3	Моделирование динамики динамически-настраиваемого гироскопа (ДНГ) в среде Matlab Simulink / SciLab / SimInTech.
4	Моделирование цифровой системы автоматического управления ДНГ в Matlab Simulink / SciLab / SimInTech.
5	Решение задач на частные производные, криволинейные и поверхностные интегралы, элементы теории поля.
6	Определение статической характеристики струнного акселерометра на основе уравнения колебания тонкой струны.
7	Решение уравнений в частных производных средствами MatLab.
8	Знакомство с Ansys Workbench. Создание геометрии и сетки средствами Ansys.
9	Знакомство с Ansys Workbench. Настройка решателей. Постпроцессор
10	Модальный анализ конструкции средствами Ansys.
11	Полунатурное моделирование. Разработка стенда полунатурного моделирования ИНС на базе ДНГ в составе системы управления летательным аппаратом.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

**6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

**6.1. Печатная учебно-методическая литература**

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Араманович И. Г., Левин В. И. Уравнения математической физики : учебное пособие для вузов. Стер. Москва : Альянс, 2016. 287 с.	11
2	Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя. Москва : ДМК Пресс, 2018. 639 с. 52 усл. печ. л.	5
3	Басов К. А. ANSYS для конструкторов. М. : ДМК Пресс, 2009. 247 с.	5
4	Дифференциальное и интегральное исчисления / Н. С. Пискунов 1. Москва : Интеграл-Пресс, 2001. 415 с.	293
5	Лебедев А. Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. Москва : Радио и связь, 1989. 223 с.	8
6	Понтрягин Л. С. Дифференциальные уравнения и их приложения. Москва : Наука, 1988. 207 с.	3
7	Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения : учебник для вузов. 5-е изд. Москва : Наука, 1982. 331 с.	4
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Механика сплошной среды Классические среды. Пермь : Изд-во ПГТУ, 1996. 141 с.	38
2	Мэтьюз Д. Г., Финк К. Д. Численные методы. Использование MATLAB : пер. с англ. 3-е изд. Москва [и др.] : Вильямс, 2001. 713 с.	16
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Бехтин Ю. С. Моделирование систем: имитационное моделирование : учебное пособие. Рязань : РГРТУ, 2010. 64 с.	URL: <a href="https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-168347">https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-168347</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Довжик Т. В. Уравнения математической? физики : учебное пособие. Рязань : РГРТУ, 2017. 64 с.	URL: <a href="https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-168332">https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-168332</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Трусов П. В., Дударь О. И., Келлер И. Э. Тензорные алгебра и анализ : учебное пособие для вузов. Пермь : Изд-во ПГТУ, 1998. 132 с.	URL: <a href="https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7050">https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7050</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Ходосов В. В. Математическое моделирование с использованием Matlab : учебное пособие. Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. 36 с.	URL: <a href="https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-122098">https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-122098</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Прикладное программное обеспечение общего назначения	SciLab ( лиц. CeCILL <a href="https://www.scilab.org/">https://www.scilab.org/</a> )
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

#### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Персональный компьютер, проектор	1
Практическое занятие	Персональный компьютер	4

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------