

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Введение в робототехнику
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии
	Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
	кафедра механики и процессов управления
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет  
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Н.Н. Болотник, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры механики и процессов управления 26.05.2023

## Аннотация

Курс «Введение в робототехнику» читается в первом и втором семестрах студентам магистратуры МФТИ, обучающимся на кафедре механики и процессов управления, базирующейся в Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук. Цель курса – формирование у студентов представления о робототехнике как о прикладной научной дисциплине, характеризующейся своими базовыми понятиями, задачами и методами исследования. Основное внимание уделяется механике робототехнических систем и проблемам управления их движением. В процессе изучения курса студенты осваивают современные методы кинематического анализа систем твердых тел, связанных шарнирами различных типов, методы математического моделирования динамики таких систем, расширяют и углубляют фундаментальные знания по механике систем со связями (голономными и неголономными), познакомятся с основными задачами управления манипуляционными и локомоционными (мобильными) роботами и методами их решения. Значительное внимание будет уделено методам оптимального управления робототехническими системами.

Для успешного усвоения программы курса студенту необходимо иметь базовые знания по общей физике, математическому анализу, дифференциальным уравнениям, теоретической механике, основам теории управления и оптимизации. Данному курсу предшествует изучение дисциплин «Введение в теорию управления», «Устойчивость механических систем» и «Управление и оптимизация», которые преподаются на кафедре механики и процессов управления студентам бакалавриата. В результате обучения дисциплине «Введение в робототехнику» студенты будут уметь моделировать кинематику систем тел с использованием матриц преобразований однородных координат; составлять уравнения динамики роботов в различных формах; использовать принцип наименьшего принуждения Гаусса для моделирования динамики роботов; учитывать при моделировании упругую податливость звеньев роботов и их сочленений; рассчитывать законы управления роботами, обеспечивающие их позиционирование в заданной конфигурации или отслеживание заданного движения; решать задачи оптимального управления роботами по критериям быстродействия и потребления энергии. Студенты, успешно усвоившие курс, будут иметь возможность самостоятельно осваивать новые предметные области, связанные с робототехникой и мехатроникой.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование у студентов представления о робототехнике как о прикладной научной дисциплине, характеризующейся своими базовыми понятиями, задачами и методами исследования.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами современных методов кинематического анализа систем твердых тел, связанных шарнирами различных типов, методов математического моделирования динамики таких систем;
- расширение и углубление фундаментальных знаний по механике систем со связями (голономными и неголономными);
- ознакомление студентов с основными задачами управления манипуляционными и локомоционными (мобильными) роботами и методами их решения, методами оптимального управления робототехническими системами.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
---	---

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы кинематики и динамики систем многих тел; методы математического моделирования динамики робототехнических систем;
- основные методы решения задач управления роботами и оптимизации их движений.

уметь:

- моделировать кинематику систем тел с использованием матриц преобразований однородных координат;
- составлять уравнения динамики роботов в различных формах;
- использовать принцип наименьшего принуждения Гаусса для моделирования динамики роботов;
- учитывать при моделировании упругую податливость звеньев роботов и их сочленений;
- рассчитывать законы управления роботами, обеспечивающие их позиционирование в заданной конфигурации или отслеживание заданного движения;
- решать задачи оптимального управления роботами по критериям быстродействия и потребления энергии.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой математического моделирования динамических процессов в сложных механических, электромеханических и мехатронных системах;
- навыками решения типовых задач и задач повышенной трудности теоретического плана с использованием методов моделирования и анализа динамических процессов, управления и оптимизации;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Кинематика манипуляционных роботов.	10			5
2	Динамика манипуляционных роботов с абсолютно жесткими звеньями.	10			5
3	Динамика манипуляционных роботов с упругими элементами.	10			5
4	Основные принципы и задачи управления роботами.	10			10
5	Оптимальное управление электромеханическими манипуляционными роботами.	10			10
6	Мобильные роботы, перемещающиеся в сопротивляющихся средах за счет изменения конфигурации и движения внутренних тел.	10			10

Итого часов	60			45
Подготовка к экзамену	30 час.			
Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Кинематика манипуляционных роботов.

Основные понятия кинематики многозвенных манипуляторов. Обобщенные координаты манипулятора (внутренние координаты) и обобщенные координаты объекта манипулирования (внешние координаты). Основное уравнение кинематики многозвенного манипулятора. Прямая и обратная задачи кинематики манипуляторов. Понятие о кинематической избыточности.

Описание кинематики абсолютно твердого тела с неподвижной точкой в терминах матрицы поворота, определяющей положение тела по отношению к базовой системе координат, условно принятой за неподвижную. Кососимметрический тензор угловой скорости.

Уравнение Пуассона. Дифференцирование тензора второго ранга в подвижной системе координат. Описание кинематики произвольного движения абсолютно твердого тела при помощи  $4 \times 4$ -матриц преобразований однородных координат.

Описание кинематики системы связанных тел в терминах матриц преобразований однородных координат. Приложения к задачам робототехники.

##### 2. Динамика манипуляционных роботов с абсолютно жесткими звеньями.

Механические связи, их классификация. Голономные и неголономные механические системы.

Активные силы и силы реакции. Уравнения Ньютона-Эйлера. Уравнения Лагранжа первого и второго рода. Уравнения Аппеля и Маджи. Выражения для кинетической энергии абсолютно твердого тела, отвечающие различным способам описания его кинематики.

Различные формы тензора инерции твердого тела. Связь между ними.

Критерий возможности симметричной  $3 \times 3$ -матрицы быть тензором инерции твердого тела.

Формулировка и доказательство принципа наименьшего принуждения. Его использование для моделирования динамики механических систем со связями.

Связь принципа наименьшего принуждения с уравнениями Лагранжа первого рода.

Применение принципа наименьшего принуждения для моделирования динамики робототехнических систем.

Элементарная теория редукторных электроприводов с двигателями постоянного тока.

Электромеханическая система с одной степенью свободы, ее характеристики.

Электромагнитная и электромеханическая постоянные времени.

Уравнения движения многозвенного манипулятора с электроприводами.

##### 3. Динамика манипуляционных роботов с упругими элементами.

Вывод соотношения для момента сил упругости относительно оси, проходящей через центр поперечного сечения стержня перпендикулярно плоскости изгиба (основное уравнение элементарной теории изгиба балки).

Условия применимости элементарной теории изгиба балки. Вывод выражения для упругой потенциальной энергии изогнутого стержня. Вывод уравнений вращения упругого стержня относительно неподвижной оси под действием управляющего момента, приложенного к этой оси. Интегрируемая и дифференциальная форма уравнений движения, связь между ними. Краевые условия.

Постановка и решение задачи управления поворотом упругого стержня (руки манипулятора) на заданный угол с гашением его колебаний с помощью момента, ограниченного по абсолютной величине.

#### 4. Основные принципы и задачи управления роботами.

Задача позиционирования. Задача отслеживания траектории манипулятора. Задача отслеживания траектории объекта манипулирования. Задача отслеживания движения манипулятора. Основные методы решения задачи позиционирования.

Пропорционально-дифференциальный регулятор (ПД-регулятор).

Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор).

Управление позиционированием и отслеживанием движения при помощи управления с «компенсирующей» обратной связью, приводящей к линеаризации уравнений движения.

Локальная оптимизация движений манипуляторов с кинематической избыточностью. Псевдообращение матриц.

#### 5. Оптимальное управление электромеханическими манипуляционными роботами.

Задача оптимизации траектории движения (двухточечная задача). Задача оптимального управления движением вдоль заданной траектории. Оптимизация по быстродействию и энергозатратам.

Синтез оптимального по быстродействию управления позиционированием электромеханической системы с одной степенью свободы при ограничениях на управляющее напряжение и ток в обмотке якоря электродвигателя.

Синтез оптимального управления позиционированием электромеханической системы с одной степенью свободы по комплексному критерию, учитывающему быстродействие и энергозатраты.

Квазиоптимальное управление многозвенным электромеханическим манипулятором с редукторными приводами в шарнирах.

#### 6. Мобильные роботы, перемещающиеся в сопротивляющихся средах за счет изменения конфигурации и движения внутренних тел.

Многозвенные мобильные механизмы с вращательными и поступательными шарнирами. Физический механизм их перемещения в сопротивляющихся средах.

Квазистатические и динамические режимы движения.

Обзор постановок задач оптимального управления и результатов их решения (по публикациям последних лет).

Оптимальное управление прямолинейным движением мобильного механизма с одним и двумя внутренними телами по критерию максимальной средней скорости в средах с различными законами сопротивления.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций: учебная аудитория, персональные компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Манипуляционные роботы. Динамика, управление, оптимизация [Текст]/Ф. Л. Черноусько, Н. Н. Болотник, В. Г. Градецкий, -М., Наука, 1989
1. Управление роботами.Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
2. Манипуляционные роботы. Динамика и ал-горитмы. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. . М.: Наука, 1978.
3. Манипуляционные роботы. Динамика, управление, оптимизация. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г.М.: Наука, 1989.

#### Дополнительная литература

1. Курс лекций по теоретической механике [Текст] / М. Л. Лидов - М.Физматлит,2010
2. Математический анализ: задачи и решения [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. И. Просветов .— М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2008 .— 208 с.
1. Коловский М.З., Слоущ А.В. Основы динамики промышленных роботов. М.: Наука, 1988.
2. Вукобратович М., Стокич Д. Управление манипуляционными роботами: теория и приложения. М.: Наука, 1985.
3. Бербюк В.Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем. Киев: Наукова дум-ка, 1989.

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/> – электронная библиотека портала Eqworld

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, Windows Media Player), программный комплекс Maple.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра механики и процессов управления
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** Н.Н. Болотник, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в робототехнику» обучающийся должен:

### знать:

- основы кинематики и динамики систем многих тел; методы математического моделирования динамики робототехнических систем;
- основные методы решения задач управления роботами и оптимизации их движений.

### уметь:

- моделировать кинематику систем тел с использованием матриц преобразований однородных координат;
- составлять уравнения динамики роботов в различных формах;
- использовать принцип наименьшего принуждения Гаусса для моделирования динамики роботов;
- учитывать при моделировании упругую податливость звеньев роботов и их сочленений;
- рассчитывать законы управления роботами, обеспечивающие их позиционирование в заданной конфигурации или отслеживание заданного движения;
- решать задачи оптимального управления роботами по критериям быстродействия и потребления энергии.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой математического моделирования динамических процессов в сложных механических, электромеханических и мехатронных системах;
- навыками решения типовых задач и задач повышенной трудности теоретического плана с использованием методов моделирования и анализа динамических процессов, управления и оптимизации;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся



Примерные варианты заданий дифференцированного зачета:

#### ВАРИАНТ № 1

1. Элементарная теория редукторных электроприводов с двигателями постоянного тока. Электромеханическая система с одной степенью свободы, ее характеристики. Электромагнитная и электромеханическая постоянные времени.
2. Формулировка основных задач управления манипуляционными роботами: задачи позиционирования, задачи отслеживания траектории манипулятора, задачи отслеживания траектории объекта манипулирования, задачи отслеживания движения манипулятора.

#### ВАРИАНТ № 2

1. Основные методы решения задачи позиционирования. Пропорционально-дифференциальный регулятор (ПД-регулятор). Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор).
2. Вывод уравнения плоского вращения упругой балки (упругой руки манипулятора) вокруг неподвижной оси. Интегро-дифференциальная и дифференциальная формы уравнения. Краевые условия.

#### ВАРИАНТ № 3

1. Управление позиционированием и отслеживанием движения при помощи управления с «компенсирующей» обратной связью, приводящей к линеаризации уравнений движения.
2. Математическая модель многозвенного электромеханического манипулятора с электродвигателями постоянного тока. Уравнения движения.

#### ВАРИАНТ № 4

1. Локальная оптимизация движений манипуляторов с кинематической избыточностью. Псевдообращение матриц.
2. Задача об оптимальном по быстродействию управлении позиционированием электромеханической системы с одной степенью свободы при ограничениях, налагаемых на управляющее напряжение и ток в цепи якоря электродвигателя. Синтеза оптимального управления на основе принципа максимума.

#### ВАРИАНТ № 5

1. Синтез оптимального управления позиционированием электромеханической системы с одной степенью свободы по комплексному критерию, учитывающему быстродействие и энергозатраты (тепловые потери в обмотке якоря электродвигателя).
2. Многозвенные мобильные механизмы с вращательными и поступательными шарнирами. Физический механизм их перемещения в сопротивляющихся средах. Квазистатические и динамические режимы движения. Мобильные системы с подвижными внутренними телами (вибрационные роботы).

#### ВАРИАНТ № 6

1. Оптимальное управление прямолинейным движением мобильного механизма с внутренним телом по критерию максимальной средней скорости в средах с различными законами сопротивления.
2. Квазиоптимальное по быстродействию управление многозвеном электромеханическим манипулятором с редукторными приводами в шарнирах.

Примеры экзаменационных билетов:

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Основные понятия кинематики многозвенных манипуляторов. Обобщенные координаты манипулятора (внутренние координаты) и обобщенные координаты объекта манипулирования (внешние координаты). Основное уравнение кинематики многозвенного манипулятора. Прямая и обратная задачи кинематики манипуляторов. Понятие о кинематической избыточности.
2. Принцип наименьшего принуждения (Гаусса). Его формулировка и доказательство. Применение для моделирования динамики робототехнических систем.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Описание кинематики абсолютно твердого тела с неподвижной точкой в терминах матрицы поворота, определяющей положение тела по отношению к базовой системе координат, условно принятой за неподвижную. Кососимметрический тензор угловой скорости. Уравнение Пуассона.
2. Вывод уравнения плоского вращения упругой балки (упругой руки манипулятора) вокруг неподвижной оси. Интегро-дифференциальная и дифференциальная формы уравнения. Краевые условия.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Матрицы однородных преобразований координат. Их использование для описания сложного движения абсолютно твердого тела и систем твердых тел. Применение в задачах механики роботов.
2. Различные формы выражения для кинетической энергии абсолютно твердого тела с неподвижной точкой и в случае произвольного движения (в терминах вектора угловой скорости, тензора угловой скорости и матриц однородных преобразований координат). Тензоры инерции, связанные с различными формами выражений для кинетической энергии.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Решение задачи о плоском повороте упругой балки (упругой руки манипулятора) вокруг неподвижной оси под действием управляющего момента сил, приложенного к оси вращения. Метод Гринберга.
2. Вывод выражения для матрицы поворота твердого тела вокруг произвольной неподвижной оси. Теорема Эйлера о конечном повороте твердого тела относительно неподвижной точки.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Вывод формулы для производного тензора второго ранга. Связь между абсолютной (относительно неподвижной системы отсчета) и относительной (относительно вращающейся системы отсчета) производными. Вывод динамического уравнения Эйлера для твердого тела с неподвижной точкой на основе этой формулы.
2. Механические связи, их классификация. Голономные и неголономные связи. Принцип освобождения от связей. Активные силы и силы реакции. Вывод кинематических уравнений движения колесной пары при условии непроскальзывания колес. Доказательство неголономности связи, определяемой условием непроскальзывания колес.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Постановка задачи управления поворотом упругой балки (руки манипулятора) на заданный угол с гашением его колебаний с помощью момента, ограниченного по абсолютной величине. Построение управления, гасящего главную моду упругих колебаний. Оценка остаточных колебаний.
2. Вывод уравнений движения механической системы с идеальными связями исходя из принципа наименьшего принуждения (Гаусса). Связь принципа Гаусса с уравнениями Лагранжа первого рода (с множителями).

### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам тестов по каждой теме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины он не может пользоваться конспектами лекций и любой другой литературой.