

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

**УТВЕРЖДЕНО**

директор института -  
заместитель директора ФАКТ  
**М.А. Кудров**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Газодинамика горения
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Авиационные технологии передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра компьютерного моделирования
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

- лекции: 60 час.
- семинары: 0 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 120 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: В.В. Власенко, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры компьютерного моделирования 01.04.2024

## Аннотация

По окончании изучения дисциплины студенты изучат детально физико-химических процессы, происходящих при горении. При этом среди большого круга вопросов выделяются некоторые важнейшие направления, требующие проведения точных экспериментов, как количественных, так и качественных, а также сопоставлений и обобщений, необходимых для выяснения физики явлений и построения физических моделей процессов: для сверхзвукового потока с химическими реакциями практически нет данных по тонкой структуре пламени, слабо изучен механизм взаимодействия пламени с волновой структурой течения. А также, механизмы смещения, обращая особое внимание на масштаб структур, определяющих данный процесс, а также на управление смещением, воспламенением и стабилизацией пламени, включая газодинамические и кинетические способы воздействия с целью оптимизации теплоподвода.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- введение студентов в круг проблем газодинамики горения - сложного раздела аэродинамики, имеющего немало практических приложений. В первом семестре основное внимание уделяется рассмотрению простых физических моделей, позволяющих разобраться в наиболее существенных процессах, протекающих в течениях газа при наличии горения. Кратко рассматриваются проблемы численного моделирования реагирующих течений газа. Второй семестр посвящен газодинамической теории распространения волн горения (дефлаграция, детонация).

### Задачи дисциплины

- формирование базовых представлений о физической природе и основных особенностях протекания горения газов, опирающихся на приближенные решения упрощенной системы уравнений химической кинетики;
- приобретение более глубокого понимания газовой динамики, основанного на рассмотрении стандартных подходов газовой динамики с необычной точки зрения (с точки зрения газов с горением);
- формирование умения упрощать сложную задачу, не поддающуюся аналитическому решению, получать ее приближенное решение, анализировать его с физической точки зрения и проверять непротиворечивость построенной теории;
- приобретение практических навыков к выполнению исследований студентами в рамках выпускных работ на степень магистра.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость

на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	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)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные понятия химической кинетики;
- влияние различных эффектов (стехиометрия смеси, расход массы через зону реакции, диффузия тепла, диффузия массы, турбулентность) на протекание горения;
- влияние тепловыделения на изменение параметров течения;
- основные типы волн горения и их физические свойства;
- специфические численные проблемы, возникающие при численном моделировании течений с неравновесными химическими реакциями.

уметь:

- оценить температуру в реакторе или в камере сгорания;
- определить полноту сгорания топливной смеси;
- оценить скорость распространения и толщину фронта волны горения;
- рассчитывать форму пламени газовой горелки и форму факела диффузионного пламени;
- рассчитывать структуру автомодельных решений с волнами горения.

владеть:

- методами приближенного решения системы уравнений химической кинетики;
- методом введения концентрации инертной примеси;
- методом функции плотности вероятности;
- некоторыми методами построения обобщенных решений дифференциальных уравнений;
- некоторыми методами анализа устойчивости и физичности численной аппроксимации источников членов;
- некоторыми методами построения автомодельных решений.

### 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.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Вводная. Предмет и программа курса	2			6
2	Основные понятия химической кинетики. Тепловой эффект химической реакции. Механизм реакции горения водорода в воздухе	2			6
3	Влияние коэффициента избытка окислителя на протекание химической реакции. Приближенный расчет температуры в камере сгорания	2			6
4	Задача о гомогенном реакторе. Режимы стационарного горения в реакторе. Приложения теории гомогенного реактора	2			6
5	Распространение пламени за счет теплопроводности. Теория Зельдовича - Франк-Каменецкого - Семенова	4			6
6	Диффузионное горение. Приближение бесконечной скорости реакции. Метод введения концентрации инертной примеси. Ламинарное диффузионное горение	4			6
7	Турбулентное диффузионное горение (случай однонаправленной брутто-реакции). Модель микроламинарных пламен. Метод введения функции плотности вероятности	6			6
8	Турбулентное диффузионное горение (случай квазиравновесных реакций). Выражение констант равновесия через термодинамические функции	4			9
9	Проблемы численного моделирования течений с неравновесным горением	4			9
10	Теория квазиодномерных течений с подводом тепла. Тепловое заклинивание. Приближенный расчет течения в каналах переменной площади	3			9
11	Теория экзотермических скачков. Шесть режимов распространения волн горения	3			6
12	Потери в волнах горения	3			6
13	Скорость распространения волны горения. Количественные оценки для волн горения	3			9
14	Степень определенности течения в экзотермическом скачке для разных типов волн горения	3			6
15	Механизмы распространения волн горения разных типов	3			6
16	Одномерные нестационарные автомодельные течения с волнами горения разных типов	3			9
17	Двумерные нестационарные автомодельные течения с наклонными волнами детонации	3			3

18	Влияние конечной скорости реакции на структуру течения с наклонной волной детонации	3			3
19	Устойчивость течения в детонационной волне. Тонкая структура детонационных волн	3			3
Итого часов		60			120
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Вводная. Предмет и программа курса

Где на практике используется физика горения? Сложность предмета. План курса.

##### 2. Основные понятия химической кинетики. Тепловой эффект химической реакции. Механизм реакции горения водорода в воздухе

Основные понятия: концентрации, молекулярный вес смеси, уравнение состояния смеси, закон сохранения элементов. Скорость химической реакции. Основное уравнение химической кинетики. Выражение для скорости реакции (закон Аррениуса). Уравнение энергии. Тепловой эффект химической реакции. Обобщение принципа независимости выбора нулевого уровня потенциальной энергии. Энтальпии образования веществ. Механизм реакции горения водорода в воздухе.

##### 3. Влияние коэффициента избытка окислителя на протекание химической реакции. Приближенный расчет температуры в камере сгорания

Рассмотрение однонаправленной брутто-реакции. Получение линейной связи концентраций с температурой. Влияние коэффициента избытка окислителя на протекание химической реакции. Приближенный расчет температуры в камере сгорания. Скорость реакции, как функция только от температуры.

##### 4. Задача о гомогенном реакторе. Режимы стационарного горения в реакторе. Приложения теории гомогенного реактора

Определение реактора. Идеальный гомогенный реактор. Примеры: коническая горелка Шоппе, реактор Лонгвелла. Уравнения, описывающие стационарный режим горения в реакторе. Устойчивые и неустойчивые режимы стационарного горения в реакторе. Гистерезисная зависимость температуры газа в реакторе от расхода смеси через реактор. Приложения теории гомогенного реактора: турбулентное диффузионное горение; стабилизаторы горения и их расчет.

##### 5. Распространение пламени за счет теплопроводности. Теория Зельдовича - Франк-Каменецкого - Семенова

Различные виды газовых горелок. Горелка Бунзена. Одномерная схематизация явления. Вывод уравнений, описывающих распространение волны горения за счет теплопроводности. Определение конечной температуры и состава. Теория Зельдовича - Франк-Каменецкого - Семенова. Оценки для скорости и толщины фронта пламени.

##### 6. Диффузионное горение. Приближение бесконечной скорости реакции. Метод введения концентрации инертной примеси. Ламинарное диффузионное горение

Определение диффузионного горения. Приближение бесконечной скорости реакции. Метод введения концентрации инертной примеси. Получение формы факела ламинарного диффузионного пламени.

7. Турбулентное диффузионное горение (случай однонаправленной брутто-реакции). Модель микроламинарных пламен. Метод введения функции плотности вероятности

Физические представления о турбулентном диффузионном горении. Подход Рейнольдса для описания турбулентных течений. Неприменимость метода моментов для описания влияния турбулентности на средние скорости химических реакций. Модель микроламинарных пламен. Использование аппарата обобщенных функций. Получение выражения для скорости реакции из модели микроламинарных пламен. Метод функции плотности вероятности. Простой способ конструирования функции плотности вероятности реализации различных значений концентрации инертной примеси. Замыкание системы уравнений турбулентного движения.

8. Турбулентное диффузионное горение (случай квазиравновесных реакций). Выражение констант равновесия через термодинамические функции

Физическое представление о квазиравновесном протекании реакции. Определение равновесного состава смеси. Выражение энтальпии смеси через концентрацию инертной примеси. Применение метода функции плотности вероятности. Выражение констант равновесия через термодинамические функции.

9. Проблемы численного моделирования течений с неравновесным горением

Модельная система реакций. Жесткость системы дифференциальных уравнений. Невозможность устранения несущественных быстропротекающих процессов. Устойчивость явной и неявной аппроксимаций источников членов. Построение абсолютно устойчивой аппроксимации.

Семестр: 2 (Весенний)

10. Теория квазиодномерных течений с подводом тепла. Тепловое запираение. Приближенный расчет течения в каналах переменной площади

Вывод уравнений квазиодномерного течения из условия сохранения потоков массы, импульса и энергии. Выражение скоростей изменения параметров через скорость изменения площади канала, скорость тепловыделения и вязкие потери. Сопло Лаваля и его тепловой аналог. Тепловое запираение. Приближенный расчет течения в каналах переменной площади. Идея пульсирующего детонационного двигателя.

11. Теория экзотермических скачков. Шесть режимов распространения волн горения

Теория экзотермических скачков Михельсона. Прямая Рэлея-Михельсона, ее физический смысл. Кривая Гюгонио, ее физический смысл. Теоремы о свойствах прямой Рэлея-Михельсона и кривой Гюгонио. Шесть режимов распространения волн горения, отличающиеся значением числа Маха исходных веществ и продуктов сгорания в системе покоя волны.

12. Потери в волнах горения

Изменение энтропии вдоль кривой Гюгонио. Связь между ростом энтропии и потерями полного давления. Изменение полного давления вдоль кривой Гюгонио.

13. Скорость распространения волны горения. Количественные оценки для волн горения

Скорость распространения волны горения относительно исходного газа, как функция от перепада скорости в волне в произвольной системе отсчета. Определение типа волны по перепаду скорости в волне. Количественные оценки для волн сильной детонации, детонации Чепмена-Жуге и слабой дефлаграции.

#### 14. Степень определенности течения в экзотермическом скачке для разных типов волн горения

Ответы на вопросы: 1) какой из нескольких возможных режимов горения реализуется? 2) какие параметры волны горения можно задавать произвольно, а какие нет? Влияние предыстории на рассматриваемое течение. Метод характеристик. Степень определенности течения в экзотермическом скачке для разных типов волн горения. Возможность задавать различные параметры до и после фронта волны горения.

#### 15. Механизмы распространения волн горения разных типов

Необходимость волны повышения температуры в структуре волны горения. Невязкий механизм осуществления волны горения – скачок уплотнения. Структура сильной детонации по Зельдовичу, Нейману и Дерингу. Распространение волны слабой дефлаграции за счет теплопроводности. Реализация слабой детонации и слабой дефлаграции с помощью луча лазера.

#### 16. Одномерные нестационарные автомодельные течения с волнами горения разных типов

Течение в трубке с движущимся поршнем. Решения с сильной детонацией, слабой детонацией и слабой дефлаграцией. Особая роль детонации Чепмена-Жуге. Условие, при котором скачок уплотнения нагоняет слабую детонацию. Итерационная процедура для определения параметров в слабой дефлаграции, перед которой бежит скачок уплотнения или волна разрежения.

#### 17. Двумерные нестационарные автомодельные течения с наклонными волнами детонации

Система уравнений для автомодельного решения с наклонной волной детонации. Определение угла наклона волны. Детонационная поляра. Неустойчивость сильных решений. Условие образования стационарного решения с отошедшей детонационной волной.

#### 18. Влияние конечной скорости реакции на структуру течения с наклонной волной детонации

Гистерезис автомодельного решения с наклонной волной детонации при нулевом угле клина. “λ-структура” наклонной детонационной волны, ее физическое объяснение. Невозможность гистерезиса при учете конечной скорости реакций.

#### 19. Устойчивость течения в детонационной волне. Тонкая структура детонационных волн

Неустойчивость одномерной структуры Зельдовича-Неймана-Деринга. Критерий устойчивости Щелкина. Возможность устойчивого существования детонации в многомерном течении. Оценка размера ячеек в тонкой структуре детонационной волны. Спиновая детонация, условия ее образования.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 9, Ч. 2 : Статистическая физика. Теория конденсированного состояния : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Физматлит, 2000-2005 .— 496 с.

#### Дополнительная литература

1. Физика горения газов [Текст]/Е. С. Щетинков, -М., Наука, 1965
2. Газодинамика горения [Текст]/И. Н. Зверев, Н. Н. Смирнов, -М., Изд-во МГУ, 1987

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

Не используются

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

Журналы по гидродинамике ( Механика жидкости и газа, JournalofFluidMechanics, JournalofSoundandVibration), доступные через Internet, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

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

Студент, изучающий дисциплину "Газодинамика горения", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой 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), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Авиационные технологии передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра компьютерного моделирования
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.В. Власенко, канд. физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	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)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Газодинамика горения» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия химической кинетики;
- влияние различных эффектов (стехиометрия смеси, расход массы через зону реакции, диффузия тепла, диффузия массы, турбулентность) на протекание горения;
- влияние тепловыделения на изменение параметров течения;
- основные типы волн горения и их физические свойства;
- специфические численные проблемы, возникающие при численном моделировании течений с неравновесными химическими реакциями.

### уметь:

- оценить температуру в реакторе или в камере сгорания;
- определить полноту сгорания топливной смеси;
- оценить скорость распространения и толщину фронта волны горения;
- рассчитывать форму пламени газовой горелки и форму факела диффузионного пламени;
- рассчитывать структуру автомодельных решений с волнами горения.

**владеть:**

- методами приближенного решения системы уравнений химической кинетики;
- методом введения концентрации инертной примеси;
- методом функции плотности вероятности;
- некоторыми методами построения обобщенных решений дифференциальных уравнений;
- некоторыми методами анализа устойчивости и физичности численной аппроксимации источников членов;
- некоторыми методами построения автомодельных решений.

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

1. Объяснить зависимость скорости фронта пламени, распространяющегося за счет теплопроводности, от различных параметров потока
2. Объяснить зависимость толщины фронта пламени, распространяющегося за счет теплопроводности, от различных параметров потока
3. Найти температуру и состав газа за фронтом пламени, распространяющемся за счет теплопроводности
4. Найти угол при основании конусовидного пламени в горелке Бунзена
5. Что такое первое число Дамкелера? При каких значениях этого числа пламя является диффузионным?
6. Найти расположение фронта ламинарного диффузионного пламени относительно границ турбулентной струи
7. Найти значение концентрации инертной примеси на фронте пламени при бесконечной скорости реакции
8. Вывести поправку к средней скорости реакции методом моментов
9. Объяснить физические предположения, лежащие в основе модели микроламинарных пламен
10. Как определить функцию плотности вероятности реализаций различных значений концентрации инертной примеси?
11. Написать уравнения, определяющие равновесный состав газа. От каких параметров зависит равновесный состав?
12. Выразить энтальпию смеси через концентрацию инертной примеси

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

- 1) Получить связь между парциальным давлением и мольной долей
- 2) Выразить молекулярный вес смеси через массовые и мольные доли
- 3) Что входит в предэкспоненциальный множитель закона Аррениуса в случае мономолекулярной, бимолекулярной и тримолекулярной реакции?
- 4) Насколько должна измениться температура, чтобы скорость реакции выросла в раз?
- 5) Получить условия развития пламени из горячего очага
- 6) Классифицировать реакции в модели Моретти горения водорода в воздухе по стадиям развития цепного процесса
- 7) Может ли радикал быть заряженной частицей? Незаряженной частицей?
- 8) Написать формулу для теплового эффекта реакции горения водорода в воздухе при постоянном давлении
- 9) Вывести формулу для зависимости теплового эффекта реакции в замкнутом постоянном объеме от коэффициента избытка окислителя
- 10) При каком горение более эффективно: при или при ?
- 11) Проанализировать устойчивость различных стационарных решений системы уравнений идеального гомогенного реактора

12) Связать расход воздуха через зону горения за стабилизатором горения с коэффициентом сопротивления стабилизатора

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.