

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

**УТВЕРЖДЕНО**

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

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**по дисциплине:** Математическая теория горения и процессы в камерах сгорания газотурбинные двигатели и газотурбинные установки

**по направлению:** Прикладные математика и физика

**профиль подготовки:** Авиационные технологии  
передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии  
кафедра силовых установок

**курс:** 1

**квалификация:** магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.Б. Лебедев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры силовых установок 20.03.2024

## Аннотация

Дисциплина Математическая теория горения и процессы в камерах сгорания газотурбинные двигатели и газотурбинные установки направлена на ознакомление студентов с современными понятиями и вопросами теории ламинарного и турбулентного горения, теории лежащей на стыке математики, аэродинамики, физики и химии.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- на основе уравнений гидродинамики, турбулентности и химической кинетики рассматриваются аналитические и численные подходы, разработанные для описания процессов при гомогенном и диффузионном горении газов. Значительное внимание уделяется описанию современных моделей турбулентного гомогенного и диффузионного горения, а также методам численного интегрирования турбулентного горения (методы RANS, LES и DNS). Такие подходы позволяют решать не только классические задачи теории горения (задача о скорости распространения ламинарного пламени Зельдовича - Франк - Каменецкого, устойчивость фронта пламени Ландау-Дарье и т.д.), но также дают возможность анализировать различные процессы (тепловыделение, образование вредных примесей, автоколебания и т.п.) в современных камерах сгорания авиационных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ). Последнему посвящен раздел курса, связанный с описанием процессов, происходящих в камерах сгорания.

#### Задачи дисциплины

- формирование у студентов базовых знаний в области ламинарного и турбулентного гомогенного и диффузионного горения, а также процессов в камерах сгорания ГТУ и ГТД;
- приобретение расчетно-теоретических знаний в области описания и моделирования ламинарных и турбулентных течений при наличии гомогенного и диффузионного горения;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области диффузионного и гомогенного горения применительно к камерам сгорания ГТД и ГТУ.

### 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-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории химии и физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов химии и физики;
- современные проблемы химии, физики, математики;
- современное положение дел в проблеме идентификации физических, химических и газодинамических механизмов в различных течениях;
- разновидности современных способов математического моделирования и исследования ламинарных и турбулентных течений при наличии горения и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физико-химических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и расчетные методики;
- выводить основные уравнения моделей турбулентного горения и понимать их физический смысл;
- пользоваться аппаратом тензорного исчисления в простейших задачах;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими и расчетными данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач ламинарного и турбулентного горения.

#### 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	Введение в турбулентное горение.	2			1
2	Горение – основные физические представления и понятия.	1			1
3	Концепции моделирования турбулентности.	1			1
4	Ламинарное гомогенное пламя.	1			1
5	Ламинарное диффузионное пламя. Конфигурация диффузионного пламени.	1			1
6	Математическое описание горения.	2			1
7	Модели замыкания фильтрованной скорости реакции.	2			1
8	Моделирование крупных вихрей (Метод LES). Фильтры LES.	2			1

9	Моделирование турбулентного диффузионного горения с использованием модели тонкого фронта пламени (flamelet модель).	2			1
10	Некоторые сведения из термодинамики процессов горения и химической кинетики.	2			1
11	Неустойчивость фронта пламени Ландау-Дарье.	4			1
12	Применение метода LES для расчета диффузионного и гомогенного турбулентного горения.	2			1
13	Турбулентное диффузионное горение.	2			1
14	Турбулентное пламя предварительно перемешанной смеси.	2			2
15	Численное моделирование турбулентных течений с горением.	2			
16	Явления переноса. Модели переноса вещества, импульса, энергии.	1			
17	Некоторые сведения из термодинамики процессов горения и химической кинетики.	1			
18	Автоколебания в камере сгорания.	1	1		5
19	Взаимодействие пламя/стенка.	1	1		5
20	Горение одиночной капли.	1	1		8
21	Некоторые результаты расчетов методом DNS взаимодействия турбулентного пламени со стенкой.	1	1		2
22	Образование оксидов азота при горении углеводородных топлив.	2	2		
23	Образование углеводородов и сажи.	2	2		2
24	Охлаждение стенок камеры сгорания.	2	2		2
25	Поверхностные реакции.	2	2		2
26	Процессы воспламенения.	3	3		4
Итого часов		45	15		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. Введение в турбулентное горение.

Взаимодействие между турбулентностью и пламенем. Влияние турбулентности на горение. Одномерное турбулентное гомогенное пламя. Турбулентное струйное диффузионное пламя.

##### 2. Горение – основные физические представления и понятия.

Основные определения. Основные типы пламени. Примеры ламинарного и турбулентного гомогенного и диффузионного горения. Фронт пламени.

##### 3. Концепции моделирования турбулентности.

Модели турбулентности. Функции плотности вероятности. Уравнение для плотности вероятности концентрации. Эмпирические двухпараметрические функции распределения вероятностей.

#### 4. Ламинарное гомогенное пламя.

Анализ распространения пламени Зельдовича. Задача о скорости распространения ламинарного пламени Зельдовича - Франк - Каменецкого. Структура пламени. Скорость распространения пламени.

#### 5. Ламинарное диффузионное пламя. Конфигурация диффузионного пламени.

Пламя предварительно не перемешанной смеси с быстрыми химическими реакциями. Концентрация пассивной примеси. Модель тонкого фронта пламени. Подход Бурке-Шумана.

#### 6. Математическое описание горения.

Модель среды. Термическое и калорическое уравнение состояния. Законы сохранения. Уравнения сохранения вещества (уравнения диффузии и неразрывности). Уравнение сохранения импульсов. Уравнение сохранения энергии. Интегральный закон сохранения энергии.

#### 7. Модели замыкания фильтрованной скорости реакции.

Ограничения метода LES. Пределы моделирования крупных вихрей. Прямое численное моделирование (Метод DNS). Разрешение масштабов турбулентности и химических масштабов.

#### 8. Моделирование крупных вихрей (Метод LES). Фильтры LES.

Моделирование неразрешенных напряжений и потоков – модель Смагоринского, динамическая модель Германо, модель подобию масштабов. Дифференциальные модели для подсеточных характеристик турбулентности.

#### 9. Моделирование турбулентного диффузионного горения с использованием модели тонкого фронта пламени (flamelet модель).

Совместные функции распределения вероятностей. Уравнение для дисперсии концентрации пассивной примеси и скалярной диссипации. Схемы для расчета турбулентного диффузионного горения методом RANS при бесконечно быстрых химических реакциях и при конечных скоростях химических реакций.

#### 10. Некоторые сведения из термодинамики процессов горения и химической кинетики.

Законы термодинамики. Равновесие в газовых смесях. Химический потенциал. Определение адиабатической температуры пламени. Скорость химической реакции. Теплота реакции. Константы скорости реакций и закон Аррениуса. Цепные химические реакции.

#### 11. Неустойчивость фронта пламени Ландау-Дарье.

Эффекты, стабилизирующие плоский фронт пламени. Теория Маркштейна.

#### 12. Применение метода LES для расчета диффузионного и гомогенного турбулентного горения.

Пламя в потоке с градиентом скорости. «Растяжение» пламени. Погасание пламени.

#### 13. Турбулентное диффузионное горение.

Формула Билгера о связи скорости химической реакции и скалярной диссипации на фронте пламени. Критические явления на фронте пламени. Малое отклонение от химического равновесия.

14. Турбулентное пламя предварительно перемешанной смеси.

Диаграммы Борги и Петерса. Модели турбулентного гомогенного горения. Модель Зимонта для расчета турбулентного гомогенного горения.

15. Численное моделирование турбулентных течений с горением.

Осреднение по Рейнольдсу и осреднение по Фавру. Осреднение уравнений Навье-Стокса (метод RANS). Осреднение скорости химической реакции. Простые модели замыкания осредненной скорости реакции. Модель разрушения вихря Сполдинга ( eddy-break-up) и ее модификации.

16. Явления переноса. Модели переноса вещества, импульса, энергии.

Теплопроводность и диффузия в газах. Вязкость газов. Аппроксимация потоков динамических и скалярных параметров течения. Законы Фурье и Фика, числа Льюиса и Прандтля. Общая система уравнений динамики реагирующего газа. Числа Дамкелера и Карловитца. Классификация химически реагирующих течений.

17. Некоторые сведения из термодинамики процессов горения и химической кинетики.

Законы термодинамики. Равновесие в газовых смесях. Химический потенциал. Определение адиабатической температуры пламени. Скорость химической реакции Теплота реакции. Константы скорости реакций и закон Аррениуса. Цепные химические реакции.

Семестр: 2 (Весенний)

18. Автоколебания в камере сгорания.

Баланс акустической энергии в реагирующих потоках Критерии неустойчивого горения Релея и Чу. Вихри при неустойчивом горении. Метод моделирования крупных вихрей при неустойчивом горении.

19. Взаимодействие пламя/стенка.

Виды взаимодействия пламя/стенка в ламинарных потоках. Особенности взаимодействия пламя/стенка в турбулентных потоках.

20. Горение одиночной капли.

Закон d<sup>2</sup> для времени жизни капли. Фазы горения капли. Горение аэрозолей. Режимы горения облака капель.

21. Некоторые результаты расчетов методом DNS взаимодействия турбулентного пламени со стенкой.

DNS расчеты по влиянию стенок на стабилизацию пламени.

22. Образование оксидов азота при горении углеводородных топлив.

Механизмы образования оксидов азота: термический механизм Зельдовича, Быстрое образование NO по механизму Фенимора, Образование NO из закиси азота (N<sub>2</sub>O), превращение топливного азота в NO.

### 23. Образование углеводородов и сажи.

Не сгоревшие углеводороды, образование полициклических ароматических углеводородов. Феноменологические подходы для описания образования сажи. Численное моделирование процесса сажеобразования.

### 24. Охлаждение стенок камеры сгорания.

Пример численного моделирования системы охлаждения в камере сгорания.

### 25. Поверхностные реакции.

Некоторые основные понятия и определения гетерогенных химических реакций.

### 26. Процессы воспламенения.

Тепловой взрыв - анализ Семенова и Франк – Каменецкого. Самовоспламенение – пределы воспламенения и время задержки воспламенения. Зажигание. Учет влияния взаимодействия пламя/стенка в моделях теплопереноса в стенку.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором с ноутбуком и экраном, белой доской (она же – экран) и флوماстерами для дополнительных пояснений.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвеладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыв. М. «Наука», 1980.
2. Кузнецов В.Р., Сабельников В.А. Турбулентность и горение. М. «Наука», 1986.
3. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М. «Физматлит», 2003.
4. А. Лефевр. Процессы в камерах сгорания. Москва. Мир. 1986.
5. Poinot T., Veynante D. Theoretical and Numerical Combustion. Edwards. 2 - nd ed., 2005.

### Дополнительная литература

1. H. Lefebvre, D.R Ballal. Gas Turbine Combustion/ CRC Press. New York. 2010.
2. K. K. Kuo, R. Acharya. Fundamentals of Turbulent and Multiphase Combustion. John Wiley & Sons, Inc., 2012.
3. T. C. Lieuwen. Unsteady Combustor Physics. Cambridge University Press. 2012
4. Williams F.A. Combustion theory. Benjamin/Cummings, Menlo Park, 1984.
5. Peters N. Turbulent Combustion. Cambridge University Press. 2000.

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

Журналы по турбулентности, теории горения, физической химии (« Физика горения и взрыва», «Теплофизика высоких температур», «Механика жидкости и газа», Journal of Fluid Mechanics, Combustion and Flame, Turbulence and Modeling, Combustion Science and Technology), доступные через Internet, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий дисциплину, 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;
- подготовка к дифференцированному зачету;
- подготовку к экзамену.

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.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### 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 силовых установок
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.Б. Лебедев, канд. физ.-мат. наук

## 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-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическая теория горения и процессы в камерах сгорания газотурбинные двигатели и газотурбинные установки» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории химии и физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов химии и физики;
- современные проблемы химии, физики, математики;
- современное положение дел в проблеме идентификации физических, химических и газодинамических механизмов в различных течениях;
- разновидности современных способов математического моделирования и исследования ламинарных и турбулентных течений при наличии горения и физические принципы, на которых они основаны.

### уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физико-химических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и расчетные методики;
- выводиться основные уравнения моделей турбулентного горения и понимать их физический смысл;
- пользоваться аппаратом тензорного исчисления в простейших задачах;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими и расчетными данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач ламинарного и турбулентного горения.

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

1. Описать процесс образования полициклических ароматических углеводородов.
2. Какое основное ограничение вводится при выводе уравнений модели тонкого фронта пламени?
3. Какие модели осреднения параметров потока используются для описания турбулентного горения?
4. Каков физический смысл формулы Билгера в теории турбулентного диффузионного горения?
5. Что позволяет узнать использование диаграмм Борги или Петерса для турбулентного гомогенного горения?
6. Постановка задачи Ландау-Дарье об устойчивости фронта пламени.
7. Определение «растяжения» (стретча) пламени.
8. Зачем используется уравнение для дисперсии концентрации пассивной примеси в модели тонкого фронта пламени при моделировании турбулентного диффузионного горения?
9. Какие виды охлаждения стенок используются в камерах сгорания?
10. Сформулировать задачу о горении одиночной капли.
11. Перечислить механизмы образования оксидов азота при горении углеводородных топлив.

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

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Модель среды.
2. Термическое и калорическое уравнение состояния.
3. Законы сохранения.
4. Уравнения сохранения вещества (уравнения диффузии и неразрывности).
5. Уравнение сохранения импульсов.
6. Уравнение сохранения энергии.
7. Интегральный закон сохранения энергии.
8. Законы термодинамики.
9. Равновесие в газовых смесях.
10. Химический потенциал.
11. Определение адиабатической температуры пламени.
12. Скорость химической реакции. Теплота реакции.
13. Константы скорости реакций и закон Аррениуса.
14. Цепные химические реакции.

Вопросы к экзамену:

1. Алгоритм векторно-матричной прогонки.
2. Теорема об устойчивости векторно-матричной прогонки.
3. Метод Гаусса с выбором ведущего элемента.
4. Сформулируйте задачу о скорости распространении ламинарного фронта пламени.
5. Метод простой итерации для решения линейных уравнений.
6. Метод простой итерации с оптимальным выбором.
7. Метод переменных направлений для решения линейных уравнений.
8. Треугольные методы для решения линейных уравнений.
9. Итерационные методы вариационного типа.
10. Метод минимальных невязок.

БИЛЕТ 1

1. Алгоритм векторно-матричной прогонки. Теорема об устойчивости векторно-матричной прогонки.

2. Метод Гаусса с выбором ведущего элемента.

#### БИЛЕТ 2

1. Метод простой итерации для решения линейных уравнений. Метод простой итерации с оптимальным выбором  $\square$ .

2. Метод переменных направлений для решения линейных уравнений.

#### БИЛЕТ 3

1. Треугольные методы для решения линейных уравнений.

2. Итерационные методы вариационного типа. Метод минимальных невязок.

#### 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 и экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

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