

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Основы физики пылевой плазмы
<b>по направлению:</b>	Ядерная физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра плазменной энергетики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.В. Филиппов, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры плазменной энергетики 04.06.2020

## Аннотация

Данный курс лекций посвящен изучению основ физики пылевой плазмы. Рассматриваются общие свойства низкотемпературной плазмы, содержащей частицы конденсированной дисперсной фазы микронных размеров, теория зарядки пылевых частиц в бесстолкновительной плазме в приближении ограниченных орбит, изучается неэкранированный потенциал пылевой частицы в рамках кинетической теории на основе уравнений Власова. Изучаются вопросы зарядки пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях в гидродинамическом приближении, рассматриваются приближенные и численные методы решения (метод релаксации и метод конечных разностей) задачи о зарядке пылевых частиц, выводятся условия кристаллизации пылевых частиц.

Изучаются вопросы формирования плазменно-пылевой ловушки для заряженных частиц в плазме и в газовых разрядах различных типов, подробно рассматривается пылевая плазма в несамостоятельном газовом разряде с внешним источником ионизации газа. Рассматривается экранирование заряда пылевых частиц в равновесной (теория Дебая-Гюккеля) и в неравновесной плазме в рамках в диффузионно-дрейфового приближения и на основе кинетических уравнений Власова.

Изучается электростатическое взаимодействие пылевых частиц. Рассматривается определение электростатической силы взаимодействия через максвелловы натяжения, изучаются термодинамические потенциалы системы зарядов в равновесной и в неравновесной плазме. Определяются условия кристаллизации в неравновесной плазме.

Рассматриваются динамические явления в пылевой плазме, включая пылеакустические волны, явление вязкости пылевой плазмы, процесс ионной фокусировки и динамическое экранирование. Рассматриваются такие приложения пылевой плазмы как плазменно-пучковые технологии получения наноструктурированных композиционных материалов и атомная батарея на основе упорядоченных плазменно-пылевых структур.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью дисциплины «Основы физики пылевой плазмы» является освоение студентами фундаментальных знаний в области физики идеальной и неидеальной плазмы, изучение экспериментальных и теоретических методов исследования плазмы, содержащей частицы конденсированной дисперсной фазы.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики идеальной и неидеальной плазмы как дисциплины, базирующейся на общефизических и общетеоретических знаниях физиков и обеспечивающей развитие современных технологий;
- обучение студентов методам описания неидеальной плазмы, фазовых переходов, экспериментальным и теоретическим методам определения основных свойств неидеальной пылевой плазмы.
- формирование подходов к выполнению теоретических исследований студентами в области физики пылевой плазмы 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 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ОПК-1.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Владеет систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования, применять знания в области профессиональной деятельности для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК-3.1 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	ПК-1.1 Знает физическое описание явлений и процессов в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.2 Умеет создавать теоретические и математические модели в области ядерной физики и технологий
ПК-2 Готов применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий	ПК-2.1 Знает методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
	ПК-2.2 Умеет рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные свойства неидеальных систем;
- основные процессы, протекающие в различных газовых средах при генерации плазмы разрядом постоянного тока, ВЧ-разрядом, внешним источником ионизации (в пучковой и фоторезонансной плазме) и при термическом нагреве.

уметь:

- получать решения для точно решаемых задач;
- выполнять оценки параметров пылевой плазмы – заряда пылевых частиц, радиуса экранирования, параметра неидеальности для обоснования возможности применения приближенных решений.

владеть:

Классическими решениями как задач из области термодинамики и статической физики, физической кинетики и теории зондов, так и задач из курсов теоретической физики, физики плазмы и др.

Среди точно решаемых задач в первую очередь необходимо сделать упор на изучение одномерных задач, стационарных и простейших нестационарных 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	Определение и свойства пылевой плазмы.	2	2		3
2	Зарядка пылевых частиц в бесстолкновительной плазме.	4	4		6
3	Зарядка пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.	4	4		6

4	Формирование ловушки для заряженных пылевых частиц в плазме и в газовых разрядах различных типов.	4	4		6
5	Теория экранирования заряда пылевых частиц.	4	4		6
6	Динамические явления в пылевой плазме.	4	4		6
7	Приложения пылевой плазмы.	4	4		6
8	Взаимодействие пылевых частиц и формирование упорядоченных структур.	4	4		6
Итого часов		30	30		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. Определение и свойства пылевой плазмы.

Определение пылевой плазмы. Обзор общих свойств низкотемпературной плазмы, содержащей частицы конденсированной дисперсной фазы микронных размеров.

##### 2. Зарядка пылевых частиц в бесстолкновительной плазме.

Приближение ограниченных орбит. Неэкранированный потенциал пылевой частицы в рамках уравнений Власова.

##### 3. Зарядка пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.

Гидродинамическое приближение. Область применимости, основные уравнения, граничные условия. Приближенные методы решения. Численные методы решения – метод релаксации и метод конечных разностей. Аппроксимация расчетного потенциала пылевой частицы потенциалом Дебая. Условие кристаллизации пылевых частиц. Численное моделирование процессов в пылевой плазме на основе нелокальной модели зарядки пылевых частиц. Связь потенциала с зарядом. Условие формирования слоя амбиполярной диффузии.

##### 4. Формирование ловушки для заряженных пылевых частиц в плазме и в газовых разрядах различных типов.

Формирование ловушки для заряженных пылевых частиц в плазме. Пылевая плазма в несамостоятельном газовом разряде. Описание и результаты экспериментов. Численное моделирование структуры несамостоятельного разряда. Расчет скорости ионизации газа. Локальная и нелокальная модели несамостоятельного разряда. Результаты расчетов и их сравнение с экспериментом.

##### 5. Теория экранирования заряда пылевых частиц.

Экранирование заряда пылевых частиц. Теория Дебая-Хюккеля. Экранирование в неравновесной плазме в рамках диффузионно-дрейфового приближения. Линеаризация и Фурье-преобразование. Постоянные экранирования в изотермической и неизотермической плазме, в плазме с самостоятельной ионизацией и в плазме с внешним источником ионизации газа. Когда экранирование описывается теорией Дебая-Хюккеля.

## 6. Динамические явления в пылевой плазме.

Пылеакустических волны. Вязкость пылевой плазмы. Ионная фокусировка. Динамическое экранирование.

## 7. Приложения пылевой плазмы.

Плазменно-пучковые технология получения наноструктурированных композиционных материалов. Атомная батарея на основе упорядоченных плазменно-пылевых структур.

## 8. Взаимодействие пылевых частиц и формирование упорядоченных структур.

Взаимодействие пылевых частиц и формирование упорядоченных структур. Энергия электрического поля системы двух заряженных микрочастиц в плазме. Электростатическая сила через максвелловы натяжения. Взаимодействие в равновесной плазме. Термодинамические потенциалы системы зарядов в равновесной плазме. Электростатическая энергия двух макрочастиц в неравновесной плазме. Потенциал взаимодействия двух макрочастиц в неравновесной плазме. Условие кристаллизации в неравновесной плазме.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Физика газового разряда [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. П. Райзер .— 3-е изд., перераб. и доп. — Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 736 с.
2. Основы электродинамики плазмы [Текст] / А. Ф. Александров, Л. С. Богданкевич, А. А. Рухадзе ; под ред. А. А. Рухадзе - М. Высшая школа, 1988
3. S. Ichimaru, Statistical Plasma Physics. V. I: Basic Principles, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
4. О.С. Ваулина, О.Ф. Храпак, В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, С.А. Храпак. Пылевая плазма. Эксперимент и теория. Москва, Физматлит, 2009, 316 с.
5. А.В. Филиппов. Пылевая плазма с внешним источником ионизации газа. Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2012, 348 с. ISBN 978-3-8473-9679-6.

### Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц - М. Физматлит, 1976
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.
3. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007 .— 536 с.

4. Е.М. Лифшиц, Л. П. Питаевский, Теоретическая физика. Т.IX. Статистическая физика. Часть 2. Теория конденсированного состояния, Наука, Москва (1978).
5. В. Смайт, Электростатика и электродинамика. Иностранная литература, Москва, 1954.
6. В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин, Сборник задач по электродинамике, Наука, Москва, 1970.
7. Е. В. Гобсон, Теория сферических и эллипсоидальных функций. Иностранная литература, Москва, 1952.
8. T.M. MacRobert, Spherical harmonics. Metiuen & Co. Ltd., London, 2-nd edition, revised, 1947.
9. Г.Н. Ватсон, Теория бесселевых функций, Иностранная литература, Москва, 1949, т.1.
10. E.J.W. Verwey, J. Th. G. Overbeek, Theory of the Stability of Lyophobic Colloids, Elsevier Publishing Company, New York -- Amsterdam -- London -- Brussels (1948).
11. J.-P. Hansen, I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, 3d ed., 2006, Elsevier, London.
12. Г. Карслоу, Д. Егер, Теплопроводность твердых тел, Наука, Москва, 1964 [H.S. Carslaw,

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

Электронная библиотека АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ" на внутреннем сайте <http://trinit.ru/>  
Электронная библиотека МФТИ

**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)**

При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученные основные определения, формулировки теорем. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения (1 час неделю), подготовка к практическому занятию, решение задач (1 час). 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>	Ядерная физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра плазменной энергетики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.В. Филиппов, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ОПК-1.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Владеет систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования, применять знания в области профессиональной деятельности для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК-3.1 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	ПК-1.1 Знает физическое описание явлений и процессов в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.2 Умеет создавать теоретические и математические модели в области ядерной физики и технологий
ПК-2 Готов применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий	ПК-2.1 Знает методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
	ПК-2.2 Умеет рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы физики пылевой плазмы» обучающийся должен:

### знать:

- основные свойства неидеальных систем;
- основные процессы, протекающие в различных газовых средах при генерации плазмы разрядом постоянного тока, ВЧ-разрядом, внешним источником ионизации (в пучковой и фоторезонансной плазме) и при термическом нагреве.

### уметь:

- получать решения для точно решаемых задач;
- выполнять оценки параметров пылевой плазмы – заряда пылевых частиц, радиуса экранирования, параметра неидеальности для обоснования возможности применения приближенных решений.

### владеть:

Классическими решениями как задач из области термодинамики и статической физики, физической кинетики и теории зондов, так и задач из курсов теоретической физики, физики плазмы и др.

Среди точно решаемых задач в первую очередь необходимо сделать упор на изучение одномерных задач, стационарных и простейших нестационарных задач.

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



С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

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

1. Определение пылевой плазмы. Свойства низкотемпературной плазмы, содержащей частицы конденсированной дисперсной фазы микронных размеров.
2. Зарядка пылевых частиц в бесстолкновительной плазме. Приближение ограниченных орбит.
3. Кинетическое описание на основе уравнений Власова распределения потенциала вокруг пылевой частицы.
3. Гидродинамическая модель процесса зарядки пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.
4. Эффективные граничные условия в рамках гидродинамической модели переноса электронов и ионов.
5. Решение Дерягина для определения заряда пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.
6. Метод релаксации для решения задачи о зарядке пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.
7. Метод конечных разностей для решения задачи о зарядке пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.
8. Нелокальная модель зарядки пылевых частиц при повышенных давлениях.
9. Условия кристаллизации пылевых частиц. Критерии фазовых переходов.
10. Условия формирования слоя амбиполярной диффузии около пылевой частицы.
11. Механизм формирования ловушки для заряженных пылевых частиц в плазме.
12. Особенности пылевой плазмы в несамостоятельном газовом разряде.
13. Особенности пылевой плазмы в фоторезонансной плазме.
14. Расчет скорости ионизации газа несамостоятельного разряда в газе.
15. Локальная и нелокальная модели переноса электронов в несамостоятельном разряде.
16. Теория Дебая-Хюккеля экранирование заряда пылевых частиц.
17. Экранирование в неравновесной плазме в рамках в диффузионно-дрейфового приближения. Модель точечных стоков.
18. Экранирование в изотермической и неизотермической плазме.
19. Экранирование в плазме с самостоятельной ионизацией и в плазме с внешним источником ионизации газа.
20. Потенциал взаимодействия пылевых частиц в равновесной плазме.
21. Потенциал взаимодействия пылевых частиц в неравновесной плазме.
22. Условия формирования упорядоченных структур в пылевой плазме.
23. Термодинамические потенциалы системы двух заряженных микрочастиц в равновесной плазме.
24. Определение силы взаимодействия двух заряженных пылевых частиц через максвелловы натяжения.
25. Потенциал взаимодействия двух макрочастиц в неравновесной плазме. Условие кристаллизации в неравновесной плазме.
26. Атомная батарея на основе упорядоченных плазменно-пылевых структур.
27. Динамическая и статическая диэлектрическая проницаемость пылевой плазмы.
28. Структурный фактор и двухчастичная функция распределения. Уравнение Орнштейна-Церника. Гиперцепное приближение и приближение Перкуса-Йевики.
29. Правило сумм для причинных функций отклика. Метод моментов.
30. Пылеакустические волны.

Примеры контрольных заданий:

1.  
А) Уравнения Власова и самосогласованное поле.

В) Определение силы взаимодействия двух точечных зарядов на основе максвеллова тензора натяжений.

С) Критерий Линдемана фазовых переходов.

Д) При каких условиях плазма неидеальна?

2.

А) Гидродинамические уравнения переноса электронов и ионов в газовой среде.

В) Основные процессы гибели и рождения электронов и ионов в пылевой плазме.

С) Способы генерации низкотемпературной пылевой плазмы.

Д) Связь заряда и потенциала пылевой частиц конечного размера в плазме.

Примеры экзаменационных билетов (заданий, тестов и др. материалов, используемых для проведения зачета, экзамена):

1.

А) Кинетическое описание на основе уравнений Власова распределения потенциала вокруг пылевой частицы.

В) Получение конечно-разностных уравнений задачи о зарядке пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях на основе метода интегральных тождеств.

С) Критерии фазовых переходов.

Д) Постоянные экранирования в плазме с внешним источником ионизации.

2.

А) Вывести из уравнения Больцмана в двучленном приближении уравнения нелокальной модели зарядки пылевых частиц при повышенных давлениях.

В) Вид потенциала взаимодействия пылевых частиц в равновесной плазме.

С) Атомная батарея на основе упорядоченных плазменно-пылевых структур

Д) Определение параметра неидеальности и структурного фактора в равновесной пылевой плазме.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал 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 (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который 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;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

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

При проведении экзамена студенту предоставляется 35-50 минут на подготовку ответа по выбранной теме и решению задачи. Ответ студента длится 15-25 минут. Если задача решена неправильно, студенту указывается на его ошибку и предлагается решить заново с учетом замечания.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, справочной литературой, вычислительной техникой, и своими конспектами.