

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

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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Случайные процессы и случайные поля в физических системах
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии
	Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
	центр образовательных программ ФАКТ
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

Н.Н. Колачевский, д-р физ.-мат. наук, профессор

А.Д. Табунов

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

Аннотация

Курс «Случайные процессы и случайные поля в физических системах» предполагает овладение как новыми знаниями в области статистических методов описания физических процессов, так и навыками применять эти знания при решении задач, моделирующих прикладные примеры физических измерительных систем. В результате изучения дисциплины студент должен получить общие представления о классических и современных методах описания случайных функций и случайных полей, также приобрести навыки и умения постановки и решения (на уровне аналитических оценок) типовых задач на примере реальных физических систем.

Дисциплина опирается на знания, полученные студентами при изучении дисциплин математического анализа, теории функций комплексного переменного, дифференциальных уравнений и в особенности теории вероятности.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение основных статистических методов, применяемых в теоретических и экспериментальных исследованиях и разработках, связанных с проблематикой применения радиофизических и оптико-электронных приборов и устройств, в том числе в задачах навигации, космической связи и дистанционного зондирования.

Задачи дисциплины

- знакомство с предметом статистической радиофизики и основами ее математического аппарата;
- изучение основ теории случайных процессов;
- корреляционной теорией случайных функций, включая знакомство с природой шумов и флуктуаций в радиотехнических системах;
- изучение основ теории случайных полей, включая вопросы распространения сигналов в случайно-неоднородных средах;
- постановкой и решением задач оптимальной обработки сигналов;
- получение навыков решения типовых задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными системами.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
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	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ключевые определения и понятия теории случайных процессов и случайных полей;
- классификацию случайных процессов;
- основы теории:
- стационарных случайных процессов;
- марковских процессов с дискретными и непрерывными состояниями;
- методы спектральных разложений случайных функций; роль и место корреляционных функций;
- линейной фильтрации случайных процессов;
- распространения сигналов в случайно-неоднородных средах;
- задания и математического описания действительных и комплексных случайных полей;
- понимать принципы экспериментальных методов измерения статистических характеристик шумовых сигналов в физических системах;
- понимать физический смысл флуктуаций сигналов (на примере автоколебательной системы) основных шумовых процессов в физических системах.

уметь:

- решать типовые задачи по ключевым разделам теории случайных процессов и проводить численные оценки ключевых характеристик на примере реальных физических систем;
- правильно ориентироваться при выборе методов описания случайных процессов и полей при постановке конкретных задач теоретического анализа, инженерных оценок и/или разработки узлов, приборов, комплексов в соответствии с реальными требованиями, предъявляемыми к этим устройствам;
- осваивать смежные предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с применением методов, изучаемых в дисциплине.

владеть:

- навыками усвоения большого объема междисциплинарной информации в области теории и практических приложений в физических системах, связанных с применением методов случайных процессов и случайных полей;
- навыками решения типовых задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными физическими системами;
- культурой и навыками постановки типовых задач, решаемых методами, изучаемыми в процессе освоения дисциплины.

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	10	10		10
2	Основы теории случайных процессов	10	10		10
3	Корреляционная теория случайных функций	10	10		10
Итого часов		30	30		30

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Введение

Динамические системы и случайные события. Статистическая устойчивость. Аксиомы Колмогорова. Вероятность и функции распределения. Моменты.

Схема Бернулли. Вычисление моментов. Броуновское движение на плоскости. Сложение колебаний со случайными фазами. Флуктуации плотности газа в сосуде.

Независимые случайные величины. Распределение Бернулли, Пуассона, Лапласа. Нормальный (гауссов) закон. Характеристическая функция.

Распределение Пуассона. Термоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Вычисление моментов. Гауссов закон распределения.

Статистическая зависимость, двумерная функция распределения. Коэффициент корреляции.

Характеристическая функция. Двумерная плотность вероятности смешанные моменты. Замена переменных.

2. Основы теории случайных процессов

Понятие случайной функции. Случайные последовательности и процессы. Случайные импульсный процесс.

Функции распределения суммы и произведения независимых слагаемых. Формула свертки. Вычисление характеристических функций Формулы Кэмбелла. Приложения: дробовой эффект, случайный радиолокационный сигнал, эхолокация. Случайные импульсы в нейронах, стресс. Стационарные процессы в узком и широком смысле. Функция корреляции.

Переход к полярным координатам. Распределение Рэлея. Квадратичный, линейный и фазовый детекторы.

Эргодичность. Условие Слуцкого. Марковские процессы. Цепи Маркова. Уравнение Колмогорова. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка. Стохастические дифференциальные уравнения. Флуктуации в автоколебательных системах.

Случайные импульсы. Формулы Кэмбелла. Дробовые шумы в физических системах. Тепловые шумы и фликкер-шум.

Флуктуации в автоколебательных системах. Линия излучения генератора.

Вычисления корреляционных функций (случайные импульсы, случайный телеграфный сигнал, колебания со случайной фазой).

3. Корреляционная теория случайных функций

Комплексные случайные функции. Свойства смешанного момента и функции корреляции. Гармонические фильтры во временном представлении. Функции Грина.

Теорема Винера-Хинчина. Спектральная плотность мощности и ее вычисления для рассмотренных выше систем.

Спектральные разложения случайных функций и их функций корреляции. Теорема Винера-Хинчина. Спектральная плотность мощности.

Спектральное преобразование случайных процессов линейным гармоническим фильтром

Примеры спектральных разложений. Простейший импульсный процесс, случайный телеграфный сигнал, "белый" шум.

Эффективная полоса пропускания фильтра. Идеальный фильтр, интегрирующие цепочки, гауссов фильтр. Корреляционная функция на выходе фильтра.

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

учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в статистическую радиофизику [Текст] : в 2 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для вузов . Случайные процессы / С. М. Рытов .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1976 .— 495 с.
 2. Введение в статистическую радиофизику [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 : учеб. пособие для вузов. Случайные поля / С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Атарский ; под общ. ред. С. М. Рытова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1978 .— 463 с.
- Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Введение в статистическую радиофизику [Текст] : в 2 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для вузов . Случайные процессы / С. М. Рытов .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1976 .— 495 с.
2. Введение в статистическую радиофизику [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 : учеб. пособие для вузов. Случайные поля / С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Атарский ; под общ. ред. С. М. Рытова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1978 .— 463 с.
3. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах [Текст] / С. А. Ахманов, Ю. Е. Дьяков, А. С. Чиркин .— [Научное изд.] / 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Физматлит, 2010 .— 428 с.
- 4) Стохастические уравнения и волны в случайно- неоднородных средах [Текст] / В. И. Кляцкин .— М. : Наука, 1980 .— 336 с.

Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Теоретические основы статистической радиотехники[Текст] / Б.Р.Левин .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Радио и связь, 1989 .— 653 с.
2. Измерение и анализ случайных процессов [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол ; пер. с англ. Г. В. Матушевского, В. Е. Привальского ; под ред. И. Н. Коваленко .— М. : Мир, 1971 .— 408 с.

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

http://www.idsc.ethz.ch/Courses/stochasticsystems/Stochastic_Processes.pdf

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, программный пакет Matlab.

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

Студент, изучающий дисциплину «Случайные процессы и случайные поля в физических системах» должен, с одной стороны, закрепить знания, полученные при изучении дисциплин математического, ЕН (Б.2) и профессионального (Б.3) циклов и овладеть на этой основе новыми знаниями, навыками и умениями в области статистических методов описания физических процессов, а с другой стороны, - научиться применять эти знания при решении задач, моделирующих прикладные примеры физических измерительных систем. В результате изучения дисциплины «Случайные процессы и случайные поля в физических системах» студент должен получить общие представления о классических и современных методах описания случайных функций и случайных полей, также приобрести навыки и умения постановки и решения (на уровне аналитических оценок) типовых задач на примере реальных физических систем.

Структура дисциплины представляет собой сочетание лекций и практических занятий в соотношении 50% на 50%. На практических занятиях закрепляются полученные на лекциях общие понятия и представления, а также с использованием на этих занятиях подробно изучаемых теоретических положений и методов разбираются упражнения и примеры, моделирующие типовые физические измерительные системы.

В отсутствие домашних заданий, контрольных и лабораторных работ успешное освоение дисциплины «Случайные процессы и случайные поля в физических системах» и, в особенности материалов, изучаемых на практических занятиях, требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса предусмотрено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и материалам практических занятий;
- чтение и конспектирование рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- решение и разбор в аудитории примеров и задач, предлагаемых на практических занятиях;
- подготовку вне аудитории к запланированным преподавателем практическим занятиям, а также дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется преподавателем в форме выборочных опросов (рубежный контроль) на лекциях, практических занятиях и индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Космические технологии
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
центр образовательных программ ФАКТ
курс: 1
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

Н.Н. Колачевский, д-р физ.-мат. наук, профессор
А.Д. Табунов

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
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
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Случайные процессы и случайные поля в физических системах» обучающийся должен:

знать:

- ключевые определения и понятия теории случайных процессов и случайных полей;
- классификацию случайных процессов;
- основы теории:
 - стационарных случайных процессов;
 - марковских процессов с дискретными и непрерывными состояниями;
- методы спектральных разложений случайных функций; роль и место корреляционных функций;
- линейной фильтрации случайных процессов;
- распространения сигналов в случайно-неоднородных средах;
- задания и математического описания действительных и комплексных случайных полей;
- понимать принципы экспериментальных методов измерения статистических характеристик шумовых сигналов в физических системах;
- понимать физический смысл флуктуаций сигналов (на примере автоколебательной системы) основных шумовых процессов в физических системах.

уметь:

- решать типовые задачи по ключевым разделам теории случайных процессов и проводить численные оценки ключевых характеристик на примере реальных физических систем;
- правильно ориентироваться при выборе методов описания случайных процессов и полей при постановке конкретных задач теоретического анализа, инженерных оценок и/или разработки узлов, приборов, комплексов в соответствии с реальными требованиями, предъявляемыми к этим устройствам;
- осваивать смежные предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с применением методов, изучаемых в дисциплине.

владеть:

- навыками усвоения большого объема междисциплинарной информации в области теории и практических приложений в физических системах, связанных с применением методов случайных процессов и случайных полей;
- навыками решения типовых задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными физическими системами;
- культурой и навыками постановки типовых задач, решаемых методами, изучаемыми в процессе освоения дисциплины.

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

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.

Перечень контрольных вопросов (в произвольном порядке) для подготовки к дифференцированному зачету в 9 семестре:

1. Понятие случайной функции.
2. Случайные последовательности и случайные процессы
3. Моменты случайных функций, функция корреляции
4. Классификация случайных процессов
5. Стационарные процессы (в узком смысле)
6. Стационарность в широком смысле
7. Эргодичность случайного процесса
8. Вероятностная сходимости. Различные виды сходимости
9. Эргодическая теорема для корреляционной функции
10. Эргодические теоремы для стационарного процесса, условие Слуцкого, достаточные условия эргодичности
11. Теорема об относительном времени пребывания
12. Марковские процессы. Уравнение Маркова, матрица вероятности перехода
13. Уравнение Смолуховского
14. Марковские процессы с дискретными состояниями, уравнение Колмогорова
15. Марковский процесс с непрерывными состояниями
16. Необходимое и достаточное условие эргодичности для какой-либо детерминированной функции от случайного процесса
17. Экспериментальные методы измерения статистических характеристик шумовых сигналов, аналоговые и цифровые методы
18. Непрерывность, дифференцируемость и интегрируемость случайной функции. Средние по времени и средние по ансамблю

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся по итогам обучения

Примеры типовых задач, предлагаемых к решению на практических занятиях по дисциплине, одна из которых обязательно включается в вопрос билета на дифференцированном зачёте.

1. Определить среднее значение и дисперсию для случайной величины распределенной по закону Пуассона.
2. То же самое проделать для нормально распределенной случайной величины.
3. Определить центральный момент K -го порядка для нормально распределенной случайной величины.
4. Показать, что коэффициент корреляции $|R| \leq 1$.
5. Найти дисперсию суммы двух коррелированных случайных величин.
6. Определить характеристическую функцию для нормального закона распределения, распределения Пуассона и биномиального.
7. Пусть $y = x^2$, где x - случайная величина распределенная нормально. Определить функцию распределения $W_y(y)$. ($\bar{x} = 0$).
8. Пусть $y = \cos \varphi$, где φ - случайная величина равномерно распределенная в интервале $[-\varphi, +\varphi]$ определить $W_y(y)$.

9. Независимые случайные величины x и y распределены нормально. Пусть $x = r \cos \varphi$, $y = r \sin \varphi$. Определить $W_{r\varphi}(r, \varphi)$ ($\bar{x} = \bar{y} = 0$).

10. Вычислить среднее, дисперсию и корреляционную функцию для импульсного пуассоновского процесса, где импульсы являются прямоугольными:

$$F(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < \nu \\ 0 & t < 0, t > \nu \end{cases}$$

11. Определить среднее напряжение, дисперсию и функцию корреляции $\varphi_v(\varphi)$, для RC контура, включенного в анодную цепь. Тепловыми шумами R - пренебречь. Учесть только дробовой эффект диода.

12. Найти корреляционную функцию случайного сигнала: $\varphi(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi)$, где A , $\varphi_0 = \text{const}$. φ - случайная фаза, равномерно распределенная в интервале $[-\pi, +\pi]$

13. Найти одномерную и двумерную плотность вероятности процесса $\varphi(t) = \varphi_0 \cos \varphi_1 + \varphi_2 \sin \varphi_3$, где $\varphi_0 = \text{const}$. $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - независимые нормальные случайные величины, такие, что $\bar{\alpha} = \bar{\beta} = 0$ и $\varphi_1^2, \varphi_2^2, \varphi_3^2$

14. Определить спектральную плотность мощности процесса, описанного в задаче 10. Перейти к пределу при $\nu \rightarrow 0$

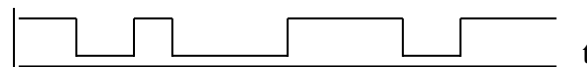
15. Определить спектральную плотность мощности процесса, описанного в задаче 11.

16. Пусть $f(t)$ и $\varphi(t)$ соответственно воздействие и отклик устойчивой линейной системы с постоянными параметрами. Показать, что если воздействие имеет конечную энергию, то отклик тоже.

17. Определить эффективную полосу пропускания интегрирующей цепочки, идеального фильтра и фильтра с гауссовой частотной характеристикой.

18. Найти спектральную плотность мощности процесса, описанного в задаче 13.

19. Определить спектральную плотность мощности случайного телеграфного сигнала



где значения сигнала в любой момент времени с равной вероятностью равны либо нулю, либо единице, а вероятность того, что в интервале происходит n скачков задается распределением Пуассона.

20. Определить спектральную плотность суммы двух стационарных и стационарно-связанных процессов.

21. Определить спектральную плотность произведения двух вещественных и некоррелированных процессов.

22. Найти связь между спектром на выходе и спектром на входе для квадратичного детектора при условии, что входной процесс распределен нормально.

23. Написать уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка для плотности вероятности перехода $v(u, t/u_0, t)$, где $u(t)$ - напряжение на емкости RC контура, находящегося под действием теплового шума, генерируемого сопротивлением R .

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

Основными показателями владения материалом при изучении дисциплины «Случайные процессы и случайные поля в физических системах» являются оценки преподавателя в ходе текущего (рубежного) контроля, промежуточной (дифференцированный зачет) и итоговой (экзамен) аттестации умения демонстрировать знания, полученные из проработки материалов лекций, практических занятий и рекомендуемой основной и дополнительной литературы при ответах вопросы при проведении дифференцированного зачета, основные и дополнительные вопросы экзаменационного билета.

Рубежный контроль применяется в следующих формах:

- оценка ответов на вопросы в процессе краткого (до 5 мин) выборочного устного опроса перед началом каждого практического занятия по материалам предыдущего занятия;
- оценка умения решать у доски и/или в письменном виде типовые примеры и/или задачи, рассматриваемые на лекциях и семинарах;
- оценка активности и ответов на вопросы при проведении экспериментальных измерений в соответствии с программой практических занятий.

Дифференцированный зачет по дисциплине в 9 семестре является инструментом контроля усвоения материалов лекционных и практических занятий путем устного опроса по программе изучаемых в 9 семестре модулей в соответствии с типовыми контрольными вопросами.

Экзаменатору предоставляется право, помимо теоретических вопросов билета, давать студентам задачи и примеры, типовые варианты которых рассматривались на практических занятиях. Студенты с разрешения экзаменатора могут пользоваться конспектами лекций, семинаров, справочной литературой только во время подготовки к дифференцированному зачёту. На подготовку к дифференцированному зачёту и опрос отводится время в соответствии с утвержденными нормативами: (подготовка не менее 30 минут и не более 1 часа), (опрос – не более 2-х астрономических часов).

Критерии оценивания

оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) и задачи по программе дисциплины.

оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета и правильные ответы не менее чем на два из трех дополнительных вопросов (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на вопросы по билету или дополнительные, уточняющие вопросы в рамках билета неточности, не связанные с принципиальными ошибками или не знанием материала.

оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более двух ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более четырех ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, а при необходимости и дополнительных вопросов (вне рамок билета) студент показывает нетвердое знание базовых положений, связанных с материалом билета и дополнительных вопросов (допускает ошибки в определениях, фундаментальные законы, и т.п.), допускает нарушение логической последовательности при ответах, но при этом демонстрирует знание основных разделов учебной программы.

оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета студент показывает разрозненный характер знаний, нечеткие, но без грубых ошибок, формулировки базовых положений, входящих в материалы билета, допускает нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом демонстрирует общее понимание и ключевые знания основных разделов учебной программы.

оценка **«неудовлетворительно (2-1)»** выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов билета, допускает грубые ошибки при формулировках базовых положений, входящих в материалы билета; во время ответа на вопросы билета обращается к справочным материалам (конспектам лекций, семинаров и пр.).