

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра высшей математики

Авторы-составители: **Полосков Игорь Егорович**

Рабочая программа дисциплины
СТОХАСТИЧЕСКИЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
Код УМК 54032

Утверждено
Протокол №1
от «30» августа 2019 г.

Пермь, 2019

1. Наименование дисциплины

Стохастические динамические системы

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.03.03** Механика и математическое моделирование
направленность Программа широкого профиля

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Стохастические динамические системы** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность : Программа широкого профиля)

ПК.5 способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач

4. Объем и содержание дисциплины

| | |
|---|--|
| Направления подготовки | 01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Программа широкого профиля) |
| форма обучения | очная |
| №№ триместров, выделенных для изучения дисциплины | 11 |
| Объем дисциплины (з.е.) | 3 |
| Объем дисциплины (ак.час.) | 108 |
| Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе: | 42 |
| Проведение лекционных занятий | 28 |
| Проведение практических занятий, семинаров | 14 |
| Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку | 0 |
| Самостоятельная работа (ак.час.) | 66 |
| Формы текущего контроля | Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (1) |
| Формы промежуточной аттестации | Зачет (11 триместр) |

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Стохастические динамические системы. Первый семестр

Тема 1. Введение. Общие вопросы теории случайных процессов

Понятие случайного процесса. Случайные последовательности и случайные процессы. Классификация случайных процессов. Простейшие модели случайных процессов, для изучения которых достаточно средств классической теории вероятностей. Задача Бернулли о независимых испытаниях и ее некоторые приложения (дробовый эффект, сложение колебаний со случайными амплитудами, случайные блуждания частицы в одном измерении). Реализации и сечения случайного процесса. Случайные функции и их основные числовые характеристики (математическое ожидание, дисперсия, среднееквадратическое отклонение). Задание случайной функции как детерминированной функции от совокупности случайных параметров. Задание случайной функции совокупностью ее конечномерных распределений, общие требования к этим распределениям. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов.

Моментные, корреляционные, автокорреляционные и взаимные корреляционные функции случайных процессов. Основные свойства корреляционных функций случайных процессов. Корреляционные функции для типовых сигналов. Основные аппроксимации корреляционных функций. Связь между видом КФ и видом реализаций процессов.

Стационарные и нестационарные процессы. Стационарность в узком и в широком смыслах. Среднее значение по множеству. Среднее значение по времени. Эргодические случайные процессы.

Непрерывность, дифференцируемость и интегрируемость случайных процессов. Сходимости в среднем.

Спектральная плотность. Взаимная спектральная плотность. Физический смысл спектральной плотности. Теорема Винера-Хинчина для стационарных случайных функций. Спектральные плотности типовых сигналов (простейший импульсный случайный процесс, случайный "телеграфный сигнал", дельта-коррелированный процесс). Спектр колебания с флуктуирующей частотой. Аппроксимации спектральных плотностей. Связь между видом реализации случайного процесса и видом его спектральной плотности. Случаи дискретного и непрерывного спектров.

Энергетические характеристики случайных процессов. Узкополосные и широкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и их производных для суммы сигнала и узкополосного шума. Модели случайных процессов. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы, близкие к гауссовскому. Белый шум. Пуассоновский и винеровский процессы. Понятие о процессах Леви. Элементы теории выбросов случайных процессов. Постановка задачи о пересечении стационарным случайным процессом заданного постоянного уровня, классическая формула Райса. Разложение Карунена-Лозва.

Линейные и нелинейные преобразования случайных сигналов. Расчет установившихся ошибок в автоматических системах. Статистическая линеаризация нелинейных элементов. Постановка задачи. Прохождение случайного сигнала через нелинейный безынерционный элемент с зоной насыщения. Плотность вероятности выходного сигнала. Расчет коэффициентов статистической линеаризации на основе первого критерия. Расчет коэффициентов статистической линеаризации на основе второго критерия.

Тема 2. Динамические системы со случайным входом

Шумы и помехи как случайные процессы. Аддитивные и мультипликативные флуктуации. Уравнение Ланжевена. Понятие о дельта-коррелированном процессе. Броуновское движение (винеровский процесс), его различные конструкции. Характеристики броуновского движения. Поведение траекторий: недифференцируемость с вероятностью единица, локальные максимумы, точки роста. Стохастические параметрические системы. Моментная неустойчивость и устойчивость по вероятности. Стохастический параметрический резонанс. Процедура построения приближенных уравнений для отыскания среднего

значения фазовой переменной линейной системы с одним флуктуирующим параметром, имеющим конечное время корреляции. Приближение Бурре для уравнения Дайсона. Условия неустойчивости в среднем системы первого порядка и гармонического осциллятора с флуктуирующей частотой. Способы стабилизации первоначально неустойчивых систем.

Тема 3. Прикладная теория марковских процессов

Марковский процесс как обобщение динамической закономерности. Условие марковского процесса. Понятие о цепях Маркова, уравнение Маркова, матрица вероятности перехода. Пример блуждания частицы между отражающими и поглощающими стенками. Стохастические исчисления (интегралы) Ито и Стратоновича. Связь между двумя видами стохастического интеграла. Формулы Ито и Стратоновича замены переменных. Стохастические дифференциальные уравнения (СДУ) Ито и Стратоновича. Существование и единственность решения. Формирующий фильтр. Уравнение Смолуховского. Уравнение Чепмена-Колмогорова. Основное кинетическое уравнение. Прямое и обратное уравнения Колмогорова. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК-уравнение). Граничные условия. Замена переменных. Различные формы ФПК-уравнения. Стационарные решения уравнения Фоккера-Планка. Уравнение Лиувилля. Уравнение Орнштейна-Уленбека. Дифференциальные уравнения со случайными параметрами. Уравнение Пугачева. СДУ для процессов со скачками. Уравнение Колмогорова-Феллера. Анализ стохастических систем с одной и многими степенями свободы. Система Ферхюльста в среде с белым шумом. Немарковские процессы. Показатели Ляпунова. Бифуркация в стохастических системах.

Тема 4. Основы теории случайных полей

Случайное поле и его задание. Свойства n -мерной плотности вероятности. Статистическая однородность, стационарность. Моменты случайного поля и их вычисление. Многомерное случайное поле, корреляционная матрица.

Комплексное случайное поле. Пространственная корреляционная функция и ее свойства. Взаимная корреляционная функция двух комплексных полей, коэффициент корреляции. Статистическая однородность случайного поля в широком смысле. Статистическая изотропность. Примеры. Понятие радиуса корреляции. Пространственные спектральные разложения однородных случайных полей. Пространственная спектральная плотность. Обобщение теоремы Винера-Хинчина на случайные поля. Соотношение неопределенностей. Взаимный пространственный спектр. Пространственно-временные спектральные разложения,

Эргодичность случайного поля. Пространственная и пространственно-временная эргодичность. Среднее поле. Функция корреляции. Поперечная и продольная корреляция. Случаи крупномасштабных и мелких неоднородностей.

Определение функционала, примеры. Простейшие свойства функционалов. Понятие вариационной (функциональной) производной. Правила функционального дифференцирования. Примеры вычисления вариационной производной. Высшие вариационные производные. Функциональный ряд Тейлора.

Основные способы описания случайных полей: последовательность плотностей вероятности (вероятностный функционал), последовательность характеристических функций (характеристический функционал), последовательности моментных и кумулянтных функций.

Понятие стохастического функционала. Формула Фуруцу-Новикова и ее обобщения. Принцип причинности. Формула расщепления корреляции двух функционалов. Вывод формулы дифференцирования функционального среднего для марковского процесса. Размыкание корреляции для дихотомического шума. Применение теории безгранично делимых распределений к выводу корреляционной формулы для негауссова белого шума.

Стохастические уравнения. Стохастическая гидродинамика. Стохастическое уравнение Навье-Стокса. Случайная сила, ее свойства. Уравнение Фоккера-Планка для одновременной функции распределения

турбулентных пульсаций (уравнение Хопфа).

Тема 5. Методы исследования стохастических систем

Постановка задачи статического анализа динамических систем. Характеристики линейных стационарных динамических систем. Воздействие случайного процесса на линейную систему. Статическое исследование линейных стационарных систем. Связь между корреляционными функциями и спектральными плотностями случайных процессов на входе и выходе линейной системы. Теорема о нормализации. Пример: сейсмическое воздействие на сооружение. Частотный метод статического анализа. Аналитический метод определения дисперсии. Физика прохождения случайного сигнала через интегрирующее и дифференцирующее звенья. Примеры вычисления дисперсии. Формирующий фильтр. Приближенный алгоритм моделирования формирующего фильтра. Моделирование продольной турбулентности атмосферы. Поперечная турбулентность атмосферы. Рекуррентные уравнения моделирования стохастической системы на ЭВМ. Статистический анализ линейных стационарных дискретных систем. Статистический анализ линейной нестационарной системы методом моделирования с использованием эквивалентной системы. Моделирование случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией. Определение характеристик случайного процесса по реализациям. Статистический анализ системы стабилизации крена летательного аппарата с помощью частотного метода. Статистический анализ системы стабилизации крена летательного аппарата методом моделирования. Статистический анализ линейных нестационарных систем. Определение весовых функций как функции i -го аргумента путем прямого интегрирования системы. Статистические характеристики процессов на выходе нелинейных устройств и методы их нахождения. Точные методы. Обзор точных решений. Методы упрощения исходной задачи. Методы линеаризации. Численные методы. Методы интегральных преобразований. Методы бесконечных рядов. Вариационные методы. Методы возмущений. Итерационные схемы. Методы сведения к системам ОДУ. Методы интегральных уравнений. Методы интегральных уравнений. Методы, сочетающие различные схемы. Замыкание бесконечных систем ОДУ. Методы генерации случайных чисел (линейно-конгруэнтные методы, методы сдвигового регистра и его модификации - метод Фибоначчи, вычитания-со-сдвигом и т.п.). Методы анализа корреляций в генераторах случайных чисел. Физические методы анализа генераторов.

Тема 6. Некоторые прикладные задачи стохастической механики

Применение метода полуобратной задачи при анализе некоторых стохастических систем. О стохастических системах с заданными свойствами. Необходимое условие существования стохастического потенциала полиномиального типа и его применение. Расчет стационарной плотности вероятности на основе принципа детального баланса. Техника и применение метода интегратора. Аппроксимация винеровского процесса в задачах моделирования стохастических систем. Обобщение метода интегратора и техника его применения. Метод формального представления переходной плотности и расчет статистических характеристик второго порядка. Расширение фазового пространства в задачах анализа дифференциально-разностных систем со случайным входом. О явлении запаздывания в динамических системах. Постановка задачи. Метод решения. Примеры. Анализ стохастических систем, описываемых интегро-дифференциальными уравнениями. Уравнения для первых моментов фазового вектора линейной интегро-дифференциальной системы. О стохастических интегро-дифференциальных уравнениях, сводимых к СДУ. Итерационный метод приближенного анализа линейных СИДУ. Анализ случайных процессов в распределенных системах. О стохастических процессах в непрерывной

среде. Методика исследования. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Стохастическое уравнение Бюргера. О колебаниях упругой колонны под действием случайной нагрузки. Об анализе случайных полей. Задача о колебании колонны. Численные результаты.

О вращении твердого тела под действием диссипативного и случайных моментов.

Стохастическое моделирование динамики загрязнения бассейна реки. Введение в проблематику. О конвективном переносе загрязнений

Чувствительность стохастических систем.

Решение задач управления детерминированными и стохастическими системами. Постановка задач.

Варианты операционного метода и их реализация с помощью систем компьютерной алгебры. О формализме метода степенных рядов.

Итоговое контрольное мероприятие

Марковский процесс как обобщение динамической закономерности. Условие марковского процесса

Понятие о цепях Маркова, уравнение Маркова, матрица вероятности перехода. Пример блуждания частицы между отражающими и поглощающими стенками. Стохастические исчисления (интегралы)

Ито и Стратоновича. Связь между двумя видами стохастического интеграла. Формулы Ито и

Стратоновича замены переменных. Стохастические дифференциальные уравнения (СДУ) Ито и

Стратоновича. Уравнение Смолуховского. Уравнение Чепмена-Колмогорова. Прямое и обратное

уравнения Колмогорова. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК-уравнение). Граничные

условия. Замена переменных. Различные формы ФПК-уравнения. Стационарные решения уравнения

Фоккера-Планка. Уравнение Лиувилля. Уравнение Орнштейна-Уленбека. Дифференциальные

уравнения со случайными параметрами. Уравнение Пугачева. СДУ для процессов со скачками.

Уравнение Колмогорова-Феллера. Анализ стохастических систем с одной и многими степенями

свободы. Немарковские процессы.

Показатели Ляпунова. Бифуркация в стохастических системах.

Случайное поле и его задание. Свойства n -мерной плотности вероятности. Статистическая однородность, стационарность. Моменты случайного поля и их вычисление. Многомерное случайное поле, корреляционная матрица.

Определение функционала, примеры. Простейшие свойства функционалов. Понятие вариационной (функциональной) производной. Правила функционального дифференцирования. Примеры вычисления вариационной производной. Высшие вариационные производные. Функциональный ряд Тейлора.

Постановка задачи статического анализа динамических систем. Характеристики линейных

стационарных динамических систем. Воздействие случайного процесса на линейную систему.

Статическое исследование линейных стационарных систем. Связь между корреляционными функциями

и спектральными плотностями случайных процессов на входе и выходе линейной системы.

Статистический анализ линейных нестационарных систем. Определение весовых функций как функции

i -го аргумента путем прямого интегрирования системы. Статистические характеристики процессов на

выходе нелинейных устройств и методы их нахождения.

Точные методы. Обзор точных решений. Методы упрощения исходной задачи. Методы линеаризации.

Численные методы. Методы интегральных преобразований. Методы бесконечных рядов. Вариационные

методы. Методы возмущений. Итерационные схемы. Методы сведения к системам ОДУ. Методы

интегральных уравнений. Методы интегральных уравнений.

Применение метода полуобратной задачи при анализе некоторых стохастических систем. О

стохастических системах с заданными свойствами. Необходимое условие существования

стохастического потенциала полиномиального типа и его применение. Расчет стационарной плотности

вероятности на основе принципа детального баланса. Техника и применение метода интегратора.

Аппроксимация винеровского процесса в задачах моделирования стохастических систем. Обобщение метода интегратора и техника его применения. Метод формального представления переходной плотности и расчет статистических характеристик второго порядка.

Расширение фазового пространства в задачах анализа дифференциально-разностных систем со случайным входом. О явлении запаздывания в динамических системах. Постановка задачи. Метод решения. Примеры.

Анализ стохастических систем, описываемых интегро-дифференциальными уравнениями. Уравнения для первых моментов фазового вектора линейной интегро-дифференциальной системы. О стохастических интегро-дифференциальных уравнениях, сводимых к СДУ. Итерационный метод приближенного анализа линейных СИДУ.

Анализ случайных процессов в распределенных системах. О стохастических процессах в непрерывной среде. Методика исследования. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Стохастическое уравнение Бюргерса. О колебаниях упругой колонны под действием случайной нагрузки. Об анализе случайных полей. Задача о колебании колонны. Численные результаты.

О вращении твердого тела под действием диссипативного и случайных моментов.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторные занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Маланин В. В., Полосков И. Е. Методы и практика анализа случайных процессов в динамических системах: учебное пособие / В. В. Маланин, И. Е. Полосков. - Москва: Регулярная и хаотическая динамика, 2005, ISBN 5-93972-477-9. - 296. - Библиогр.: с. 273-295
2. Кляцкин В. И. Очерки по динамике стохастических систем / В. И. Кляцкин. - Москва: URSS, 2012, ISBN 978-5-396-00434-4. - 442. - Библиогр.: с. 432-437

Дополнительная:

1. Кляцкин В. И. Стохастические управления: теория и ее приложение к акустике, гидродинамике и радиофизике Т. 2. Когерентные явления в стохастических динамических системах / В. И. Кляцкин. - Москва: Физматлит, 2008, ISBN 978-5-9221-0815-7. - 344. - Библиогр.: с. 326-339
2. Шахтарин Борис Ильич Случайные процессы в радиотехнике: Цикл лекций: Учеб. пособие для вузов / Борис Ильич Шахтарин. - М.: Радио и связь, 2000, ISBN 5-256-01571-0. - 584. - Библиогр.: с. 576-579
3. Методы классической и современной теории автоматического управления. учебник в 5-ти т. / под ред. К. А. Пупкова. Т. 2. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, ISBN 5-7038-2190-8 (т. 2). - 640. - Библиогр.: с. 624-631
4. Монин А. С. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. В 2 т Ч. 1 / А. С. Монин, А. М. Яглом. - Москва: Наука, 1967. - 720. - Алф. указ.: с. 679-708. - Библиогр.: с. 709-720
5. Кляцкин В. И. Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах / В. И. Кляцкин. - Москва: Наука, 1980. - 336. - Библиогр.: с. 332-336
6. Кляцкин В. И. Диффузия и кластеризация пассивной примеси в случайных гидродинамических потоках / [ред. Н. Б. Бартошевич-Жагель]. - М.: Физматлит, 2005, ISBN 5-9221-0575-2. - 160. - Библиогр.: с. 151-157
7. Кляцкин В. И. Стохастические управления: теория и ее приложение к акустике, гидродинамике и радиофизике Т. 1. Основные положения, точные результаты и асимптотические приближения / В. И. Кляцкин. - Москва: Физматлит, 2008, ISBN 978-5-9221-0814-0. - 320. - Библиогр.: с. 309-314
8. Бородин Андрей Николаевич, Салминен Пааво Справочник по броуновскому движению: Факты и формулы: Пер. с англ. / Андрей Николаевич Бородин, Пааво Салминен. - СПб.: Лань, 2000, ISBN 5-8114-0201-5. - 640. - Библиогр.: с. 631-636
9. Маланин В. В., Полосков И. Е. Случайные процессы в нелинейных динамических системах. Аналитические и численные методы исследования / В. В. Маланин, И. Е. Полосков. - М.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001, ISBN 5-93972-078-1. - 160. - Библиогр.: с. 138-159
10. Монин А. С. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. В 2 т Ч. 1 / А. С. Монин, А. М. Яглом. - Москва: Наука, 1965. - 639. - Библиогр. с. 603-639
11. Кляцкин В. И. Стохастические уравнения глазами физика. Основные положения, точные результаты и асимптотические приближения / В. И. Кляцкин. - М.: Физматлит, 2001, ISBN 5-9221-0186-2. - 528. - Библиогр.: с. 514-527

12. Кляцкин В. И. Статистическое описание динамических систем с флуктуирующими параметрами/В. И. Кляцкин.-Москва:Наука,1975.-239.-Библиогр.: с. 232-239
13. Шмелев Александр Борисович Основы марковской теории нелинейной обработки случайных полей/Александр Борисович Шмелев.-М.:Изд-во МФТИ,1998, ISBN 5-89155-029-6.-208.
14. Кляцкин В. И. Динамика стохастических систем:Курс лекций/В. И. Кляцкин.-М.:Физматлит,2002, ISBN 5-9221-0248-6.-240.-Библиогр.: с. 237-239
15. Ван Кампен Н. Г. Стохастические процессы в физике и химии/Н. Г. Ван Кампен, ред. С. С. Моисеев, Г. А. Хоменко.-М.:Высш. шк.,1990, ISBN 5-06-001013-9.-376.-Библиогр.: с. 7 (9 назв.), 10 (8 назв.)

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ

<http://window.edu.ru/> Единое окно доступа к образовательным ресурсам

<http://www.mathnet.ru/> Общероссийский математический портал

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Стохастические динамические системы** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;
- свободно распространяемый пакет Maxima (<http://maxima.sourceforge.net/ru/index.html>);
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Стохастические динамические системы**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и
критерии их оценивания**

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|---|---|
| <p>ПК.5 способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач</p> | <p>Знать основной теоретический аппарат дисциплины "Стохастические динамические системы", базовые постановки задач стохастической механики систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, основные методы и алгоритмы изучаемой дисциплины. Иметь навыки решения модельных задач, встречающихся в профессиональной деятельности. Владеть средствами основных математических и инженерных программных пакетов, необходимыми для аналитического и приближенного исследования динамических систем, описываемых различными формами стохастических уравнений (дифференциальных, интегральных, интегро-дифференциальных и др.).</p> | <p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основной теоретический аппарат дисциплины "Стохастические динамические системы", базовые постановки задач стохастической механики систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, основные методы и алгоритмы изучаемой дисциплины. Не имеет навыков решения модельных задач, встречающихся в профессиональной деятельности. Не владеет средствами основных математических и инженерных программных пакетов, необходимыми для аналитического и приближенного исследования динамических систем, описываемых различными формами стохастических уравнений (дифференциальных, интегральных, интегро-дифференциальных и др.).</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основного теоретического аппарата дисциплины "Стохастические динамические системы", базовых постановок задач стохастической механики систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, основных методов и алгоритмов изучаемой дисциплины. Демонстрирует частично сформированные навыки решения модельных задач, встречающихся в профессиональной деятельности. Слабо владеет средствами основных математических и инженерных программных пакетов, необходимыми для аналитического и приближенного исследования</p> |

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|-------------|---------------------------------|--|
| | | <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>динамических систем, описываемых различными формами стохастических уравнений (дифференциальных, интегральных, интегро-дифференциальных и др.).</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основного теоретического аппарата дисциплины "Стохастические динамические системы", базовых постановок задач стохастической механики систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, основных методов и алгоритмов изучаемой дисциплины. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы навыки решения модельных задач, встречающихся в профессиональной деятельности. В целом успешное, но с отдельными недочетами владение средствами основных математических и инженерных программных пакетов, необходимыми для аналитического и приближенного исследования динамических систем, описываемых различными формами стохастических уравнений (дифференциальных, интегральных, интегро-дифференциальных и др.).</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основного теоретического аппарата дисциплины "Стохастические динамические системы", базовых постановок задач стохастической механики систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, основных методов и алгоритмов изучаемой дисциплины. Полностью сформированные навыки решения модельных задач, встречающихся в профессиональной деятельности. Глубокое владение средствами основных математических и инженерных программных пакетов, необходимыми для аналитического и приближенного исследования</p> |

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--------------------|--|--|
| | | Отлично динамических систем, описываемых различными формами стохастических уравнений (дифференциальных, интегральных, интегро-дифференциальных и др.). |

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

| Компетенция | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|---|--|---|
| Входной контроль ПК.5 способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач | Тема 1. Введение. Общие вопросы теории случайных процессов Входное тестирование | Знать основной теоретический аппарат дисциплины "Теория вероятностей и математическая статистика". Иметь навыки решения задач на формулы классической и геометрической вероятностей, применения понятий, связанных с отдельными и векторными случайными величинами. |
| ПК.5 способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач | Тема 3. Прикладная теория марковских процессов Письменное контрольное мероприятие | Общие вопросы теории случайных процессов. Динамические системы со случайным входом. Прикладная теория марковских процессов. |
| ПК.5 способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач | Тема 6. Некоторые прикладные задачи стохастической механики Защищаемое контрольное мероприятие | Знания основ теории случайных полей и методов исследования стохастических систем. Умения и навыки решения стандартных и модельных задач. |

| Компетенция | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|--|---|--|
| ПК.5 способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач | Итоговое контрольное мероприятие Итоговое контрольное мероприятие | Знания и умение ставить и решать модельных и стандартных прикладных задач стохастической механики. |

Спецификация мероприятий текущего контроля

Тема 1. Введение. Общие вопросы теории случайных процессов

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|-------|
| Умения и навыки решения задач, связанных с общими и специальными случайными величинами. Шесть задач, каждая по 1 баллу. Неправильное решение - 0 баллов, с погрешностями - 0,5 балла, правильное решение - 1 балл. | 6 |
| Умения и навыки решения задач, связанных с векторными случайными величинами. Умения и навыки решения задач, связанных с общими и специальными случайными величинами. Шесть задач, каждая по 1 баллу. Неправильное решение - 0 баллов, с погрешностями - 0,5 балла, правильное решение - 1 балл. | 6 |
| Умения и навыки решения на формулы классической и геометрической вероятностей. Четыре задачи, каждая по 1 баллу. Неправильное решение - 0 баллов, с погрешностями - 0,5 балла, правильное решение - 1 балл. | 4 |
| Умения и навыки решения задач, связанных с применением теорем сложения и умножения вероятностей, формул полной вероятности и Байеса. Четыре задачи, каждая по 1 баллу. Неправильное решение - 0 баллов, с погрешностями - 0,5 балла, правильное решение - 1 балл. | 4 |

Тема 3. Прикладная теория марковских процессов

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|-------|
| Знания и умение решать задачи из прикладной теории марковских процессов. 4 задачи, баллы: 3, 3, 4, 4. Неверное решение - 0 баллов. С большими замечаниями -1 балл. С небольшими замечаниями - 2 балла. Без замечаний - 3 или 4 балла. | 14 |
| Знания и умение решать задачи по стохастическому и спектральному анализу случайных процессов. 4 задачи по 3 балла каждая. Неверное решение - 0 баллов. С большими | 12 |

| | |
|--|---|
| замечаниями -1 балл. С небольшими замечаниями - 2 балла. Без замечаний - 3 балла. | |
| Знания и умение решать задачи по основам теории случайных процессов. 2 задачи по 2 балла каждая. Неверное решение - 0 баллов. С замечаниями - 1 балл. Без замечаний - 2 балла. | 4 |

Тема 6. Некоторые прикладные задачи стохастической механики

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|--------------|
| Умения и навыки применения методов исследования стохастических систем для решения стандартных и модельных задач стохастической механики. 3 задачи по 5 баллов за каждую. Неправильное решение задачи - 0 баллов. Правильное с замечаниями - 4 балла. Решение с заметными ошибками - 3 балла. | 15 |
| Умения и навыки решения стандартных и модельных задач по основам теории случайных полей. 3 задачи по 5 баллов за каждую. Неправильное решение задачи - 0 баллов. Правильное с замечаниями - 4 балла. Решение с заметными ошибками - 3 балла. | 15 |

Итоговое контрольное мероприятие

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|--------------|
| Знания и умение ставить и решать модельных и стандартных прикладных задач стохастической механики. 2 индивидуальных лабораторных работы по 20 баллов. Полное выполнение в срок - 20 баллов, опоздание со сдачей - штраф в 1 балл за каждый день опоздания. Сдача после исправлений - минус четыре балла. | 40 |