

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Кинетические методы анализа временных рядов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной математики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Ю.Н. Орлов, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальной математики 28.03.2025

Аннотация

В курсе излагается кинетический подход к анализу и прогнозированию нестационарных временных рядов, основанный на кинетических уравнениях относительно функции распределения случайной величины. Основное внимание уделено методам оценки эмпирической плотности функции распределения и построения кинетических уравнений, моделирующих ее эволюцию. Определяется горизонт квазистационарного прогнозирования функции распределения временного ряда и находится оптимальный объем выборки данных для построения оператора эволюции внутри этого горизонта. На основе согласованного уровня стационарности выборочных распределений строится индикатор разладки нестационарных случайных процессов. Теория сопровождается примерами анализа и прогнозирования временных рядов, которые встречаются в практической деятельности: это динамические системы с хаосом, возникающие при дискретизации обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений с особенностями, последовательности символов в литературных и технических текстах, потоки биометрических и телеметрических данных, биржевые ряды.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

дать студентам основы знаний в области математической статистики применительно к нестационарным случайным процессам.

Задачи дисциплины

- освоить основные понятия нестационарной математической статистики,
- уметь выводить уравнения эволюции для выборочных функций распределения,
- проводить анализ уровня нестационарности выборочных распределений,
- строить индикаторы разладки.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

основные кинетические уравнения (Лиувилля, Больцмана, Власова, Фоккера-Планка), индикаторы разладки временных рядов, согласованный уровень стационарности.

уметь:

работать с выборочными статистиками и исследовать их на стационарность.

владеть:

базовыми понятиями математической статистики и кинетической теории.

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

	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Уравнение Лиувилля для динамических систем, зацепляющаяся система моментов	4			6
2	Основные понятия динамического хаоса.	4			6
3	Уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка и эмпирическая оценка его параметров	2			6
4	Индикаторы разладки для временных рядов и согласованный уровень стационарности	2			6
5	Уравнение Лиувилля для выборочных плотностей функций распределения.	2			6
6	Уравнения эволюции выборочных моментов.	2			6
7	Уравнения эволюции эмпирических моментов для уравнения Фоккера-Планка.	2			6
8	Стационарные методы анализа временных рядов.	2			6
9	Нестационарная корреляция. Нестационарный пуассоновский поток событий.	2			6
10	Горизонтный ряд и его свойства.	2			6
11	Оптимальный объем выборки для задачи прогнозирования.	2			5
12	Построение индикаторов разладки.	2			5
13	Анализ статистики символов в естественных языках.	2			5
Итого часов		30			75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Уравнение Лиувилля для динамических систем, зацепляющаяся система моментов

1. Уравнение Лиувилля в классической статистической механике для гладких динамических систем и цепочка Боголюбова для динамических систем с многочастичным взаимодействием. Уравнения эволюции моментов функции распределения.
2. Вывод уравнений гидродинамики в локально-равновесном приближении. Первое и второе приближения, частные решения цепочки Боголюбова.
3. Уравнение Больцмана.
4. Уравнение Власова.
5. Уравнение Лиувилля для динамических систем с вырождением.

2. Основные понятия динамического хаоса.

Основные понятия динамического хаоса. Логистическая динамическая система. Хаотические динамические системы с вырождением.

3. Уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка и эмпирическая оценка его параметров

Уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка.

Выборочные функции распределения, критерий Колмогорова. Оптимизация объема выборки для нестационарного временного ряда. Оценка сверху ошибки прогнозирования значений ряда в среднем квадратичном.

Гистограммная оценка плотности функции распределения. Оптимальное разбиение гистограммы.

4. Индикаторы разладки для временных рядов и согласованный уровень стационарности

Согласованный уровень стационарности. Индекс нестационарности выборочных распределений.

5. Уравнение Лиувилля для выборочных плотностей функций распределения.

Эмпирическое уравнение Лиувилля для выборочных плотностей функций распределения.

6. Уравнения эволюции выборочных моментов.

Уравнения эволюции выборочных моментов. Модели замыкания моментной системы.

7. Уравнения эволюции эмпирических моментов для уравнения Фоккера-Планка.

Вывод уравнений эволюции эмпирических моментов для уравнения Фоккера-Планка. Уравнения эволюции выборочных дисперсии, ковариации и асимметрии. Положительная определенность диффузионной матрицы эмпирического уравнения Фоккера-Планка.

8. Стационарные методы анализа временных рядов.

Стационарные методы анализа временных рядов и их ограничения. Парная стационарная линейная регрессия. Авторегрессионные стационарные модели. Модель скользящего среднего. Модели авторегрессии-скользящего среднего, коинтегрированные временные ряды.

9. Нестационарная корреляция. Нестационарный пуассоновский поток событий.

Оценка достоверности нестационарной корреляции.

Нестационарный пуассоновский поток событий.

10. Горизонтный ряд и его свойства.

Горизонтный ряд и его свойства. Распределение горизонтного ряда стационарного процесса при горизонте прогнозирования на один шаг вперед. Распределение горизонтного ряда в последнем сегменте горизонта прогнозирования.

11. Оптимальный объем выборки для задачи прогнозирования.

Определение оптимального объема выборки для задачи прогнозирования.

12. Построение индикаторов разладки.

Типы расстояний между выборочными распределениями и точность идентификации фрагмента временного ряда. Построение индикаторов разладки.

13. Анализ статистики символов в естественных языках.

Анализ статистики символов в естественных языках. Методы идентификации атрибутов текстов.

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

Аудитория на 18 человек, меловая доска, швабра для стирания с доски, скребок для удаления лишней воды с доски, мел со скруглённым квадратным сечением.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Орлов Ю. Н. Кинетические методы исследования нестационарных временных рядов. - М.: МФТИ, 2014

Дополнительная литература

1. Статистические функции распределения [Текст]/А. А. Власов, -М., Наука, 1966

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

Не используются

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной математики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	Ю.Н. Орлов, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	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 «Кинетические методы анализа временных рядов» обучающийся должен:

знать:

основные кинетические уравнения (Лиувилля, Больцмана, Власова, Фоккера-Планка), индикаторы разладки временных рядов, согласованный уровень стационарности.

уметь:

работать с выборочными статистиками и исследовать их на стационарность.

владеть:

базовыми понятиями математической статистики и кинетической теории.

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

Не предусмотрено.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Уравнение Лиувилля в классической статистической механике для гладких динамических систем.
2. Уравнение Больцмана и его свойства.
3. Уравнение Власова и уравнения эволюции моментов.
4. Уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка.
5. Основные понятия динамического хаоса.
6. Выборочные функции распределения, критерий Колмогорова.
7. Оптимальное разбиение гистограммы для оценки плотности распределения.
8. Согласованный уровень стационарности.
9. Определение оптимального объема выборки для задачи прогнозирования.
10. Типы расстояний между выборочными распределениями.

Примеры билетов:

Билет 1.

- А) Уравнение Лиувилля для выборочных распределений.
- Б) Нестационарное распределение Пуассона.

Билет 2.

- А) Уравнения эволюции выборочных моментов.

Б) Положительная определенность диффузионной матрицы эмпирического уравнения Фоккера-Планка.

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 устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 астрономический час на подготовку.

Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться только программой дисциплины.