

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ, АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
МГУ

_____ / Н.Н. Сысоев /

«___» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ДАННЫХ

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая специальность

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол №_____,)

Москва 20___

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

Д.ф.-м.н. Сажина Ольга Сергеевна, кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Жаров Владимир Евгеньевич

**Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных»**

Дисциплина «Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных» является составной частью профессионального блока вариативной части. Читается студентам астрономического отделения третьего курса физического факультета МГУ им. Ломоносова. На лекциях студенты получают сведения из стохастического анализа, стохастических систем и элементов теории оптимального оценивания. Особое внимание уделяется построению непрерывного и дискретного фильтра Калмана с разбором соответствующих примеров на семинарских занятиях.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.

5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных» реализуется на 4-ом курсе в 7-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Знания основ теории вероятности, математической статистики, линейной алгебры и математического анализа.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

| Формируемые компетенции (код компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) |
|--|---|
| УК-1.Б | 3-1 Знать: основные понятия стохастического анализа 3-2 Знать: элементы теории оптимального управления У-1 Уметь: вычислять характеристики случайных процессов, применять к случайным процессам операции математического анализа У-2 Уметь: ставить задачу оптимального оценивания В-1 Владеть: математическим аппаратом, применяемым в стохастическом анализе |
| ОПК-1.Б | 3-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении практических задач теории фильтрации У-1 Уметь: решать типовые задачи построения фильтров, фильтра Калмана У-2 Уметь: строить математические модели систем по исходным наблюдательным данным В-1 Владеть: навыками интерпретации результатов построенных фильтров |

4. Форма обучения: очная.

5. Язык обучения: русский.

6. Содержание дисциплины

Тема 1. Повторение основных понятий и методов математической статистики.

Случайная величина. Закон распределения случайной величины. Характеристики случайной величины. Элементы спектральной теории.

Тема 2. Сведения из стохастического анализа. Характеристики случайных функций.

Случайные функции. Моменты. Примеры вычисления характеристик случайных функций.

Тема 3. Стохастические интегралы. Примеры.

Тема 4. Стохастические дифференциалы. Примеры.

Тема 5. Математические модели стохастических систем и их характеристики. Линейные дифференциальные системы. Соединения систем и их характеристики. Дискретные стохастические системы. Примеры.

Тема 6. Стохастические дифференциальные уравнения. Приведение уравнений непрерывной стохастической системы к стохастическим дифференциальным уравнениям.

Тема 7. О численном интегрировании уравнений дифференциальных стохастических систем.

Тема 8. Понятие оптимального нелинейного оценивания. Оптимальное нелинейное оценивание в гауссовских дифференциальных стохастических системах. Оптимальное дискретное оценивание.

Тема 9. Уравнение фильтра Калмана-Бьюси. Элементы линейного стохастического анализа непрерывных систем. Методы спектрально-корреляционной теории линейных систем.

Общие уравнения линейной фильтрации. Понятие устойчивости фильтра.

Тема 10. Постановка задачи фильтрации сигнала неизвестной формы в случае помехи в виде белого шума. Примеры.

Тема 11. Дискретный фильтр Калмана. Дискретное оптимальное линейное оценивание.

Вывод уравнений оптимального фильтра Калмана.

Тема 12. Понятие устойчивости дискретного фильтра. Решение задач построения оптимального фильтра.

7. Объем дисциплины

| НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ | Трудоемкость в зачетных единицах | объем учебной нагрузки в ак. часах | | | | | Самостоятельная работа студентов |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----|----|--------|-------------------------------------|
| | | Общая трудоемкость | в том числе ауд. занятий | | | Лекций | |
| Общая аудиторная нагрузка | | | | | | | |
| Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных | 3 | 108 | 72 | 36 | 36 | 36 | 36 |

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, и семинары, на которых рассматривается практическое содержание курса, включая решение прикладных задач по построению оптимальных фильтров. Также в изучение курса входит самостоятельная работа, заключающаяся в подготовке к лекционным занятиям и решению задач. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

| № темы | Наименование раздела дисциплины | Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы | | | | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | |
|---------------|--|---|-----------|---------------------|-----------|---|--|
| | | Всего часов | Лекции | Научно-практические | Семинары | | |
| 1 | Повторение основных понятий и методов математической статистики. | 9 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 2 | Сведения из стохастического анализа. Характеристики случайных функций. | 8 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 3 | Стохастические интегралы. | 9 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 4 | Стохастические дифференциалы. | 8 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 5 | Математические модели стохастических систем и их характеристики. | 8 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 6 | Стохастические дифференциальные уравнения. | 8 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 7 | О численном интегрировании уравнений дифференциальных стохастических систем. | 8 | 3 | - | 3 | 2 | Собеседование, опрос |
| 8 | Понятие оптимального нелинейного оценивания. | 9 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 9 | Уравнение фильтра Калмана-Бьюси. | 9 | 3 | - | 3 | 2 | |
| 10 | Постановка задачи фильтрации сигнала неизвестной формы в случае помехи в виде белого шума. | 9 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 11 | Дискретный фильтр Калмана. | 9 | 3 | - | 3 | 3 | |
| 12 | Понятие устойчивости дискретного фильтра. | 9 | 3 | - | 3 | 3 | |
| | Промежуточная аттестация | 5 | | | | 2 | Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием |
| ИТОГО: | | 108 | 36 | - | 36 | 36 | |

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиций; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Математическая обработка наблюдательных и экспериментальных данных» проводится в первом семестре в форме экзамена. Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

| Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в фонде |
|--|---|---|
| Оценочные средства текущего контроля | | |
| Тематический опрос (в форме ответов на вопросы) | Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме. | Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины |
| Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме) | Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции. | Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины |
| Тестирование | Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме. | Образцы тестов |
| Оценочные средства промежуточной аттестации | | |
| Письменная работа | Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности. | Перечень вопросов к зачету |
| Собеседование | Средство, позволяющее получить экспертную | Требования к |

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| | оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области. | порядку проведения собеседования |
|--|--|----------------------------------|

11. Шкала оценивания.

| Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
|---|---|---|---|--|
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ЗНАТЬ: основные понятия стохастического анализа УК-1.Б З-1 | Отсутствие знаний основных понятий стохастического анализа | В целом успешные, но не систематические знания основных понятий стохастического анализа | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий стохастического анализа | Успешные и систематические знания основных понятий стохастического анализа |
| ЗНАТЬ: элементы теории оптимального управления УК-1.Б З-2 | Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных элементов теории оптимального управления | В целом успешное, но не систематическое знание основных элементов теории оптимального управления | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных элементов теории оптимального управления | Успешное и систематическое знание основных элементов теории оптимального управления |
| ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении практических задач теории фильтрации ОПК-1.Б З-1 | Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, используемых при решении практических задач теории фильтрации | В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, используемых при решении практических задач теории фильтрации | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, используемых при решении практических задач теории фильтрации | Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при решении практических задач теории фильтрации |

| | | | фильтрации | |
|--|--|---|---|--|
| УМЕТЬ: вычислять характеристики и случайных процессов, применять к случайным процессам операции математического анализа УК-1.Б У-1 | Отсутствие умения вычислять характеристики случайных процессов, применять к случайным процессам операции математического анализа | В целом успешное, но не систематическое умение вычислять характеристики и случайных процессов, применять к случайным процессам операции математического анализа | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение вычислять характеристики и случайных процессов, применять к случайным процессам операции математического анализа | Успешное и систематическое умение вычислять характеристики и случайных процессов, применять к случайным процессам операции математического анализа |
| УМЕТЬ: ставить задачу оптимального оценивания УК-1.Б У-2 | Отсутствие умения ставить задачу оптимального оценивания | В целом успешное, но не систематическое умение ставить задачу оптимального оценивания | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение ставить задачу оптимального оценивания | Успешное и систематическое умение ставить задачу оптимального оценивания |
| УМЕТЬ: решать типовые задачи построения фильтров, фильтра Калмана ОПК-1.Б У-1 | Отсутствие умения решать типовые задачи построения фильтров, фильтра Калмана | В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи построения фильтров, фильтра Калмана | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи построения фильтров, фильтра Калмана | Успешное и систематическое умение решать типовые задачи построения фильтров, фильтра Калмана |
| УМЕТЬ: строить математические модели систем по исходным наблюдательным данным ОПК-1.Б У-2 | Отсутствие умения строить математические модели систем по исходным наблюдательным данным | В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели систем по исходным наблюдательным | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели систем по | Успешное и систематическое умение строить математические модели систем по исходным наблюдательным |

| | | ым данным | исходным наблюдательным данным | |
|--|--|---|---|--|
| ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в стохастическом анализе УК-1.Б В-1 | Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в стохастическом анализе | В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в стохастическом анализе | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в стохастическом анализе | Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в стохастическом анализе |
| ВЛАДЕТЬ: навыками интерпретации результатов построенных фильтров ОПК-1.Б В-1 | Отсутствие/фрагментарное владение навыками интерпретации результатов построенных фильтров | В целом успешное, но не систематическое владение навыками интерпретации результатов построенных фильтров | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками интерпретации результатов построенных фильтров | Успешное и систематическое владение навыками интерпретации результатов построенных фильтров |

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Контрольные вопросы и задачи:

1. Сформулировать понятие закон распределения случайной величины.
2. Сформулировать характеристики случайной величины.
3. Понятие спектральной теории.
4. Сформулировать понятие случайной функции и ее характеристик.
5. Примеры стохастических интегралов.
6. Примеры стохастических дифференциалов.
7. Построить линейную дифференциальную стохастическую систему.
8. Построить линейные системы с разными типами соединений. Описать свойства полученных систем.
9. Привести пример стохастического дифференциального уравнения.
10. Сформулировать задачу оптимального нелинейного оценивания.
11. Сформулировать задачу оптимального нелинейное оценивание в гауссовских дифференциальных стохастических системах.
12. Сформулировать понятие оптимального дискретного оценивания.
13. Выписать уравнение фильтра Калмана-Бьюси, фильтра Калмана. Пояснить смысл входящих в него величин.
14. Сформулировать постановку задачи фильтрации сигнала неизвестной формы в случае помехи в виде белого шума.

15. Построить дискретный фильтр Калмана.
16. Сформулировать понятие устойчивости дискретного фильтра.
17. Сформулировать понятие устойчивости непрерывного фильтра.
18. Найти оптимальный фильтр для фильтрации синусоидального сигнала данной частоты, который наблюдается с аддитивным гауссовым шумом.

Печатное учебно-методическое пособие в стадии завершения.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Темы к экзамену определяются согласно вышеприведенному плану лекций. Печатное учебно-методическое пособие в стадии завершения.

Тема 1. Повторение основных понятий и методов математической статистики.

Случайная величина. Закон распределения случайной величины. Характеристики случайной величины. Элементы спектральной теории.

Тема 2. Сведения из стохастического анализа. Характеристики случайных функций.

Случайные функции. Моменты. Примеры вычисления характеристик случайных функций.

Тема 3. Стохастические интегралы. Примеры.

Тема 4. Стохастические дифференциалы. Примеры.

Тема 5. Математические модели стохастических систем и их характеристики. Линейные дифференциальные системы. Соединения систем и их характеристики. Дискретные стохастические системы. Примеры.

Тема 6. Стохастические дифференциальные уравнения. Приведение уравнений непрерывной стохастической системы к стохастическим дифференциальным уравнениям.

Тема 7. О численном интегрировании уравнений дифференциальных стохастических систем.

Тема 8. Понятие оптимального нелинейного оценивания. Оптимальное нелинейное оценивание в гауссовых дифференциальных стохастических системах. Оптимальное дискретное оценивание.

Тема 9. Уравнение фильтра Калмана-Бьюси. Элементы линейного стохастического анализа непрерывных систем. Методы спектрально-корреляционной теории линейных систем.

Общие уравнения линейной фильтрации. Понятие устойчивости фильтра.

Тема 10. Постановка задачи фильтрации сигнала неизвестной формы в случае помехи в виде белого шума. Примеры.

Тема 11. Дискретный фильтр Калмана. Дискретное оптимальное линейное оценивание.

Вывод уравнений оптимального фильтра Калмана.

Тема 12. Понятие устойчивости дискретного фильтра. Решение задач построения оптимального фильтра.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. И.Н. Синицын. Фильтры Калмана и Пугачёва. Москва: Логос. 2007. 776 с.
2. L. Wasserman. All of Statistics. A Concise Course in Statistical Inference. Springer. 2004. 736 с.
3. В.Ю. Теребиж. Анализ временных рядов в астрофизике. Москва: Наука. 1992. 392 с.

4. Л.В. Зотов. Теория фильтрации и обработка временных рядов. Москва: Физический факультет МГУ. 2010. 200 с.

Дополнительная литература.

1. В. Феллер. Введение в теорию вероятностей и ее приложений. в 2-х т. Москва: Мир. 1984.
2. Н.Н. Калиткин. Численные методы. СПб, БХВ-Петербург. 2011.

Интернет-ресурсы.

В стадии подготовки.

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: учебной магнитной доски и маркера (синего или черного) или учебной доски и мела.