

## **Рабочая программа дисциплины**

### **1. Теория фильтрации и обработка временных рядов**

#### **2. Лекторы.**

**2.1.** к.ф.-м.н., Зотов Леонид Валентинович, кафедра небесной механики астрометрии и гравиметрии МГУ, e-mail: tempus@sai.msu.ru, телефон.: +7(495) 939- 5024

#### **3. Аннотация дисциплины.**

Задача курса – познакомить слушателей с различными подходами к фильтрации сигналов, которые в цифровой век зачастую представлены дискретными временными рядами. Будут изложены классические и современные методы анализа временных рядов, такие как Фурье-анализ, вейвлет-анализ, сингулярный спектральный анализ, а также даны классические подходы к линейной фильтрации, разработанные Винером, Колмогоровым, Калманом и Бьюсси.

Развитие кибернетики и биологические исследования, проведенные в XX веке, позволили использовать при создании систем и решении ряда задач принципы, заложенные природой в живые существа. На таких принципах основаны динамические системы с обратной связью, нейронные сети, генетические алгоритмы, о которых также идёт речь.

Динамические системы служат для моделирования причинно-следственных связей. Задачи восстановления причин по наблюдаемым следствиям носят название обратных задач и их решение отягчено шумами наблюдений и недостатком априорной информации. О важной роли теории фильтрации при решении таких задач слушатели узнают в рамках предлагаемого курса.

#### **4. Цели освоения дисциплины.**

Знакомство с методами обработки временных рядов и фильтрации сигналов. Приобретение профессиональных знаний в области обработки астрономических и геофизических данных. Приобретение практических навыков программной обработки данных. Умение ориентироваться в проблемах фильтрации, подбирать фильтры под задачу, понимать принципы решения обратных задач.

#### **5. Задачи дисциплины.**

В результате освоения дисциплины ТФиОВР студенты должны приобрести профессиональные знания о методах обработки временных рядов и фильтрации сигналов, о применимости изучаемых методов при решении проблем астрономии, геофизики, навигации и управления.

#### **6. Компетенции.**

##### **7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.**

С-ПК-1, С-СК-1

##### **7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.**

С-ПК-3, С-ПК-4

#### **7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

В результате освоения дисциплины студент должен профессионально знать основы обработки временных рядов и фильтрации, иметь ясное представление о процессах и сигналах, уметь производить обработку рядов в MATLAB, фильтровать сигнал, понимать принципы решения обратных задач.

#### **8. Содержание и структура дисциплины.**

Вид работы	Семестр			Всего
	8			
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	108			108
<b>Аудиторная работа:</b>	51			51
Лекции, акад. часов	17			17
Семинары, акад. часов	34			34
Лабораторные работы, акад. часов	0			0
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	57			57
<b>Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, эк-замен)</b>	Экз			Экз

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий				Форма текущего контроля
		Аудиторная работа			Самостоятельная работа	
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	Вводный раздел. Основные понятия фильтрации (неделя 1).	<i>№1. 2 часа. Линейность, детерминированные и стохастические, дискретные и непрерывные, одномерные и многомерные сигналы.</i>				<i>ДЗ, тесты</i>

2	Фурье-анализ	<p>№2. 2 часа.  История создания  Ряд Фурье  Геометрический  смысл Фурье-анализа  Преобразование  Фурье  Принцип неопределённости Гейзенберга  Дискретное преобразование Фурье  Быстрое преобразование Фурье  Принцип Котельникова-Шеннона  Характеристики случайных процессов  Спектральный анализ случайных процессов  Спектральный анализ с окном  Кросскорреляционный анализ  Многомерный анализ</p>	<p>№1. 4 часа.  1) Фурье-анализ сгенерированного сигнала  2) Анализ сигнала с добавлением шумов  3) Фурье-анализ сигнала движения полюса  4) Анализ сигналов с которыми по выбору слушателей</p> <p>№2. 4 часа.  1) Применение алгоритм скользящего среднего в частотной области  2) Изменение степени сглаживания</p>		<p>2 часа.  Самостоятельное изучение пособия, решение задач в конце главы.</p>	
---	--------------	--	--	--	--	--

3	Вейвлет-анализ	<p>№3.1 час.  Оконное преобразование  Непрерывный вейвлет-анализ  Вейвлет-анализ как фильтрация  Анализ сигналов с использованием вейвлетов  Дискретное вейвлет-преобразование  Каскады зеркальных фильтров  Кратно-масштабный анализ  Многомерный вейвлет-анализ</p>	<p>№3. 4 часа.  1) Генерация процесса АРСС, добавление гармонического сигнала и шумов  2) Расчет АКФ  3) Вычисление СПМ по методу Блекмана-Тьюки</p> <p>№4. 4 часа.  1) Обработка сигнала с использованием различных вейвлет-функций  2) Модификация сигнала, с включением импульса, изучение треугольника его влияния.</p> <p>№5. 2 часа.  1) Изучение работы пакета Wavelab  2) Работа с сайтом wavelet org</p>			
---	----------------	---	---	--	--	--

4	Сингулярный спектральный анализ	<p><i>№4. 1 час.</i>  <i>Алгоритм ССА</i>  <i>Разделимость</i>  <i>Группировка</i>  <i>Многомерный ССА</i>  <i>Особенности ССА</i></p>	<p><i>№6. 4 часа.</i>  <i>1) Выполнение ССА для предложенного сигнала и сигнала по выбору слушателя.</i>  <i>2) Опробация пакета Гусеница - ССА</i>  <i>3) Изучение пакета SSA-MTM .</i></p>			
5	Постановка задачи фильтрации, характеристики линейных фильтров	<p><i>№5. 1 час.</i>  <i>Основные характеристики линейных фильтров</i>  <i>Стационарная динамическая система как фильтр</i>  <i>Распространение на двумерный случай</i>  <i>Дискретные фильтры</i></p>				

6	Оптимальная фильтрация Винера-Колмогорова	<p><i>№6. 2 часа.</i></p> <p><i>Общие положения</i></p> <p><i>Начальные моменты СПМ</i></p> <p><i>Факторизация СПМ, формирующий фильтр</i></p> <p><i>Постановка задачи оптимальной фильтрации</i></p> <p><i>Вывод уравнения Винера-Хопфа</i></p> <p><i>Решение уравнения Винера-Хопфа в спектральной области</i></p> <p><i>Решение уравнения Винера-Хопфа методами ТФКП</i></p> <p><i>Многомерный случай</i></p>	<p><i>№7. 4 часа.</i></p> <p><i>Применение фильтра низких частот к обработке сигнала.</i></p>			
---	---	--	---	--	--	--

7	Фильтрация Калмана-Бьюсси	<p><i>№7. 2 часа.</i></p> <p><i>Динамические системы</i></p> <p><i>Модель наблюдений и состояний</i></p> <p><i>Операционный подход. Характеристики многоканальной системы</i></p> <p><i>Предварительные соглашения</i></p> <p><i>Уравнение Винера-Хопфа в нестационарном случае, принцип ортогональности</i></p> <p><i>Вывод уравнений непрерывного фильтра Калмана-Бьюсси</i></p> <p><i>Вывод соотношений дискретного фильтра Калмана</i></p> <p><i>Алгоритм дискретной фильтрации Калмана</i></p> <p><i>Нелинейный фильтр Калмана</i></p>			<p><i>№9. 2 часа.</i></p> <p>Работа с лекционным материалом, с учебным пособием, решение задач</p>	
---	---------------------------	---	--	--	--	--



8	Нейронные сети	<p><i>№8. 2 часа.</i>  <i>Модели нейрона, пер-</i>  <i>септрон</i>  <i>Многослойные</i>  <i>нейронные сети</i>  <i>Теорема об аппрок-</i>  <i>симации</i>  <i>Обучение</i>  <i>Алгоритм обратного</i>  <i>распространения</i>  <i>ошибки</i>  <i>Погрешность и</i>  <i>структура НС</i>  <i>Другие виды НС</i>  <i>НС, обучающиеся без</i>  <i>учителя</i>  <i>Модульные сети. Об-</i>  <i>ласти применения</i>  <i>НС</i></p>	<p><i>№8. 4 часа.</i>  <i>Использование</i>  <i>нейронной сети для</i>  <i>прогнозирования</i>  <i>сигнала</i></p>			
---	----------------	--	--	--	--	--

9	Методы оптимизации	<p><i>№9. 2 часа.</i>  <i>Методы оптимизации</i>  <i>Методы наискорейшего спуска</i>  <i>Ньютоновские методы</i>  <i>Метод Левенберга-Марквардта</i>  <i>Квазиньютоновские методы</i>  <i>Условная оптимизация</i>  <i>Популяционные алгоритмы</i>  <i>Математическое описание возмущений в линейной спиральной волне плотности. Элементы линейной гравитационной теории спиральных</i></p>	<p><i>№9. 4 часа.</i>  <i>Построение алгоритма решения обратной задачи</i></p>			
---	--------------------	---	--	--	--	--

10	Фильтрация и решение обратных задач	<p><i>№10. 2 часа.</i></p> <p><i>Совместность СЛАУ</i></p> <p><i>Обусловленность</i></p> <p><i>Псевдорешения</i></p> <p><i>SVD-разложение</i></p> <p><i>Геометрия псевдорешения</i></p> <p><i>Обратные задачи для дискретных моделей наблюдений</i></p> <p><i>Модель в спектральной области</i></p> <p><i>Регуляризация плохо обусловленных систем</i></p> <p><i>Общие замечания, дилемма смещения и дисперсии</i></p> <p><i>Модели на основе интегральных уравнений</i></p> <p><i>Корректирующая фильтрация Пантелева</i></p> <p><i>Регуляризация Филлипса-Тихонова</i></p>			Работа с лекционным материалом, с учебным пособием, решение задач	
11						
12						
13						
14						
15						

## 9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является спецкурсом по выбору кафедры
2. Вариативная часть, профессиональный блок, модуль «Астрономия».
3. Курс является связывающим звеном между общими курсами «Математическая обработка наблюдений», и спецкурсами по геофизике, методам обработки астрономических изображений, наблюдению и управлению динамическими объектами

3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

«Математическая обработка наблюдений», Математический анализ, ТФКП, Теория вероятностей и случайных процессов.

3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее.

Курс является одним из завершающих курсов. Его освоение необходимо для научно-исследовательской работы, курсовой работы, дипломной работы, связанной с анализом и обработкой данных.

## 10. Образовательные технологии

Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия в принципе могут проходить на русском, китайском или английском языках.

## 11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

**Промежуточная аттестация** проводится на 6 и 12 неделе в форме теста с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

**Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях.

### Список вопросов для аттестации

- 1 Основные принципы, лежащие в основе фильтрации. Примеры её применения в различных областях. Понятие о временных рядах. Случайные процессы.
- 2 Фурье-анализ гармонических функций и временных рядов.
- 3 Фурье-анализ случайных процессов, вычисление СПМ по АКФ.
- 4 Метод Блэкмана-Тьюки вычисления СПМ с корреляционным окном.
- 5 Вейвлет-анализ как фильтрация. Примеры его использования.
- 6 Характеристики вейвлет-функций. Условие допустимости.
- 7 Принцип неопределённости Гейзенберга при частотно-временном представлении сигнала.
- 8 Дискретное вейвлет-преобразование. Кратно-масштабный анализ.
- 9 Сингулярный спектральный анализ. Этапы алгоритма.
- 10 Возможности ССА. Его преимущества и недостатки.
- 11 Линейная фильтрация и её характеристики.
- 12 Системы линейных дифференциальных уравнений как фильтры.
- 13 Многомерные и дискретные свёртки.
- 14 Постановка задачи синтеза оптимального фильтра Винера-Колмогорова.

- 15 Уравнение Винера-Хопфа. Вывод и интерпретация.
- 16 Факторизация спектральной плотности. Формирующий фильтр.
- 17 Решение уравнения Винера-Хопфа методом Бодэ-Шеннона. Фильтр Винера.
- 18 Понятие о динамической системе. Запись уравнений динамической системы в терминах пространства состояний. Постановка задачи фильтрации Калмана-Бьюсси.
- 19 Основные уравнения фильтрации Калмана-Бьюсси в непрерывном случае.
- 20 Дискретизация уравнений наблюдаемой динамической системы. Фильтр Калмана-Бьюсси для дискретного случая.
- 21 Основные этапы алгоритмов фильтрации Винера-Колмогорова и Калмана-Бьюсси. Сравнение этих двух методов фильтрации.
- 22 Основные модели нейронов. Принципы организации нейронных сетей.
- 23 Возможности нейронных сетей по классификации образов. Универсальные теоремы об аппроксимации.
- 24 Принципы обучения нейронных сетей. Алгоритм обратного распространения ошибки.
- 25 Радиальные нейронные сети, многослойные персептроны, сети на основе самоорганизации и др. Примеры использования.
- 26 Детерминированные методы оптимизации. Градиентные и квазиньютоновские методы.
- 27 Стохастические методы дискретной оптимизации. Популяционные алгоритмы.
- 28 Обратные задачи для систем линейных уравнений. Методы фильтрации главных компонент.
- 29 Фильтрация шумов при решении обратных задач на основе интегральных уравнений.
- 30 Метод регуляризации как разновидность фильтрации.

## **12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

Л.В. Зотов, Теория фильтрации и обработка временных рядов», Издательство Физ. ф-т МГУ, 2010.

L. Zotov, V.L. Pantelev Filtering and inverse problems solving, in Computational Methods for Applied Inverse Problems Edited by Y. F. Wang, A. G. Yagola and C. C. Yang, De Gruyter & Higher Education Press, June 2012, Pages 169-194

### **Интернет-ресурсы**

<http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/lecture/filtr/>

**Методические указания к лабораторным занятиям -**

**Методические указания к практическим занятиям -**

## **13. Материально-техническое обеспечение**

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

Аудитория 73. ГАИШ МГУ. Проектор.