

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_ А.В. Медведев

« 20 » апреля 2026 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

#### **2.1.8 Цифровая обработка сигналов и изображений**

#### **Научная специальность 1.3.4. Радиофизика**

Иркутск 2026

|                                                                      |                              |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработали<br>кандидат физико-математических наук | Кочанов А.А.<br>Киселев А.В. |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|

### **1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов и изображений» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.3.4. Радиофизика.

Дисциплина является обязательной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.3.4. Радиофизика.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач на этапе получения и обработки экспериментального материала, и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

### **2. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Цифровая обработка сигналов и изображений» является изучение теоретических основ современных методов и важнейших алгоритмов, применяемых при компьютерной обработке результатов физического эксперимента, которые могут быть представлены в различных формах: электрические сигналы, акустические сигналы, статические и динамические изображения и др.

Задачами дисциплины «Цифровая обработка сигналов и изображений» является:

- изучить методы построения алгоритмов, используемых при решении физических задач;
- овладеть навыками алгоритмизации и построения программ для решения задач;
- освоить физические основы обработки сигналов и изображений.

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)**

В процессе изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов и изображений» аспирант должен приобрести знания и умения, необходимые для его дальнейшего профессионального становления, а именно:

#### **Знать:**

- теоретические основы и математический аппарат цифровой обработки сигналов представимых в различных формах (электрические сигналы, акустические сигналы и др.);
- методы преобразования сигналов в телекоммуникационных системах – кодирование, сжатие, модуляцию-демодуляцию, форматы представления информации.
- базовые принципы построения алгоритмов, основные алгоритмические конструкции и структуры данных;

#### **Уметь:**

- выявлять существенные количественные закономерности физических явлений,
- реализовывать на типовых и специализированных программных средствах методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов,
- уметь оптимизировать подходы при изменяющихся априорных сведениях;
- использовать языки программирования, строить логически выверенные и эффективные алгоритмы.

#### **Владеть:**

- навыками использования современных методов и технологий цифровой обработки сигналов,
- методами обработки данных и навыками их систематизации, анализа и осмысления.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы/ 144 часа.

| Вид учебной работы                                | Всего часов /<br>зачетных<br>единиц | Семестр     |             |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                   |                                     | 1           | 2           |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                 | <b>72/2</b>                         | <b>36/1</b> | <b>36/1</b> |
| В том числе:                                      |                                     |             |             |
| Лекции                                            | 36                                  | 18/0,5      | 18/0,5      |
| Практические занятия                              | 36                                  | 18/0,5      | 18/0,5      |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>             | <b>72/2</b>                         | <b>36/1</b> | <b>36/1</b> |
| В том числе:                                      |                                     |             |             |
| Конспектирование                                  | 36/1                                |             |             |
| Самоподготовка и выполнение домашних заданий      | 36/1                                |             |             |
| Вид промежуточной аттестации (зачет)              | зачет                               | зачет       | зачет       |
| <b>Контактная работа (всего)</b>                  | <b>72/2</b>                         |             |             |
| <b>Общая трудоемкость (часы/зачетные единицы)</b> | <b>144/4</b>                        | <b>72/2</b> | <b>72/2</b> |

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

##### 5.1. Содержание разделов и темы дисциплины (модуля)

###### Раздел 1. Основы анализа сигналов

###### 1.1. Вводный курс. Основные определения

Базовые знания о представлении информации в компьютере. Основные подходы к решению задач с помощью компьютера. Классификация сигналов. Энергия и мощность сигнала. Основные статистические характеристики сигнала. Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Корреляционная функция. Теорема Парсеваля. Дискретные представления сигналов. Интегральные представления.

###### 1.2. Цифровые сигналы и работа с ними

Задачи языка программирования при цифровой обработке одномерных и многомерных сигналов. Компьютерная сеть. Доступ к интернет ресурсам (данным и алгоритмам). Определение аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. Спектр дискретного сигнала. Субдискретизация сигнала. Преобразование Гильберта. Дискретные случайные сигналы. Корреляционная матрица. Дискретный белый шум.

###### 1.3. Спектральный анализ

Основы объектно-ориентированного программирования применительно к задачам обработки сигналов, графического представления и сохранения результатов анализа (периодограмм, спектров и тд). Форматы представления научных данных (FITS, HDF5, TIFF). Архитектура приложения и принципы модульного программирования на примере построения типовых инструментов спектрального анализа сигналов. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Свойства ДПФ. Восстановление непрерывного сигнала с помощью ДПФ. Связь ДПФ и спектра преобразования Фурье. Взаимосвязь ДПФ и фильтрации. Эффект Гиббса. Весовые оконные функции. Периодограмма. Метод Уэлча. Спектр дискретного случайного процесса. Текущие спектры и их свойства.

###### 1.4. Фильтры

Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров. Основы методов параллельных вычислений применительно к задаче обработки и фильтрации данных большого объема. Сборка приложений для решения специализированных задач. Импульсная характеристика фильтра. Функция передачи. Фильтры первого и второго

порядка. Формы реализации цифровых фильтров. Понятие свертки. Обращение свертки. Некоторые идеализированные фильтры.

### 1.5 Адаптивные фильтры

Основные понятия адаптивной обработки сигналов. Оптимальный фильтр Винера. Понятие целевой функции. Градиентный поиск оптимального решения и т.д. Применение адаптивных фильтров. Выравнивание частотной характеристики приемного канала.

### 1.6 Модуляция и демодуляция сигналов

Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция. Манипуляция. Импульсно-кодовая модуляция. Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.

## Раздел 2. Основы цифровой обработки изображений

### 2.1 Вводные определения. Первичная обработка изображений

Цифровое изображение. Первичная обработка изображений. Технические средства обработки изображений. Форматы графических файлов (на примере анализа оптических астрономических и радиоастрономических наблюдений).

### 2.2 Инструменты цифровой обработки изображений

Визуализация двумерных данных: изображение, контур, поверхность. Цветовая палитра. Преобразование изображений в различные системы координат. Понятие сплайнов. Двумерное преобразование Фурье. Удаление шумов. Линейные фильтры. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Матрица конволюции. Способы обработки границ изображений. Эрозия и наращивание. Контрастирование цифровых изображений. Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собеля и др. Примеры.

### 2.3 Формирование изображений из данных и их реконструкция

Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии). Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии). Характерные инструментальные искажения изображений. Восстанавливающий Фильтр Винера-Тихонова. Метод CLEAN реконструкции радиоизображений. Метод Максимальной энтропии. Метод оптимального отжига. Примеры калибровки и обработки спутниковых изображений HINODE(XRT), SDO(AIA), радиоданных, получаемых на многочастотном Сибирском радиогелиографе (CPG). Визуализация процесса обработки данных.

## 5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

| №  | Наименование раздела | Наименование темы                                              | Всего часов | Аудиторные занятия |                      | СРС | Форма контроля |
|----|----------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|----------------------|-----|----------------|
|    |                      |                                                                |             | Лекции             | Практические занятия |     |                |
| 1. | Раздел 1             | Вводный курс. Основные определения.                            | 2           | 2                  |                      |     | зачет          |
| 2. | Раздел 1             | Цифровые сигналы и работа с ними                               | 14          | 3                  | 4                    | 7   | зачет          |
| 3. | Раздел 1             | Спектральный анализ                                            | 15          | 4                  | 4                    | 7   | зачет          |
| 4. | Раздел 1             | Фильтры                                                        | 13          | 3                  | 3                    | 7   | зачет          |
| 5. | Раздел 1             | Адаптивные фильтры                                             | 12          | 2                  | 2                    | 8   |                |
| 6. | Раздел 1             | Модуляция и демодуляция сигналов                               | 16          | 4                  | 5                    | 7   | зачет          |
| 7. | Раздел 2             | Вводные определения. Первичная обработка цифровых изображений. | 24          | 6                  | 6                    | 12  | зачет          |
| 8. | Раздел 2             | Инструменты цифровой обработки изображений                     | 24          | 6                  | 6                    | 12  | зачет          |
| 9. | Раздел 2             | Формирование                                                   | 24          | 6                  | 6                    | 12  | зачет          |

|                     |  |                                             |            |           |           |           |  |
|---------------------|--|---------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--|
|                     |  | изображений из данных<br>и их реконструкция |            |           |           |           |  |
| <b>Итого (часы)</b> |  |                                             | <b>144</b> | <b>36</b> | <b>36</b> | <b>72</b> |  |
| <b>Итого (з.е.)</b> |  |                                             | <b>4</b>   | <b>1</b>  | <b>1</b>  | <b>2</b>  |  |

### 5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

| №<br>п/п | Наименование обеспечиваемых<br>(последующих) дисциплин и практик | № № разделов и/или тем данной дисциплины,<br>необходимых для изучения обеспечиваемых<br>(последующих) дисциплин |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Исследовательская практика                                       | 1-2                                                                                                             |

### 5.4. Перечень лекционных занятий

| №<br>п/п | № раздела и темы<br>дисциплины (модуля) | Наименование<br>используемых технологий | Трудоемкость<br>(часы) | Оценочные<br>средства |
|----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1.       | Раздел 1, Тема 1                        | лекция                                  | 2                      | устный опрос          |
| 2.       | Раздел 1, Тема 2                        | лекция                                  | 3                      | устный опрос          |
| 3.       | Раздел 1, Тема 3                        | лекция                                  | 4                      | устный опрос          |
| 4.       | Раздел 1, Тема 4                        | лекция                                  | 3                      | устный опрос          |
| 5.       | Раздел 1, Тема 5                        | лекция                                  | 2                      | устный опрос          |
| 6.       | Раздел 1, Тема 6                        | лекция                                  | 4                      | устный опрос          |
| 7.       | Раздел 2, Тема 1                        | лекция                                  | 6                      | устный опрос          |
| 8.       | Раздел 2, Тема 2                        | лекция                                  | 6                      | устный опрос          |
| 9.       | Раздел 2, Тема 3                        | лекция                                  | 6                      | устный опрос          |

### 5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

| №<br>п/п | № раздела и<br>темы<br>дисциплины<br>(модуля) | Наименование семинаров, практических и<br>лабораторных работ                 | Трудоемкость<br>(часы) | Оценочные<br>средства  |
|----------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1.       | Раздел 1, Тема 2                              | Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.     | 4                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 2.       | Раздел 1, Тема 3                              | Дискретное преобразование Фурье                                              | 1                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 3.       | Раздел 1, Тема 3                              | Спектральный анализ и фильтрация сигналов                                    | 2                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 4.       | Раздел 1, Тема 3                              | Весовые оконные функции                                                      | 1                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 5.       | Раздел 1, Тема 4                              | Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров                      | 3                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 6.       | Раздел 1, Тема 5                              | Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов. Основы реконструкции сигналов      | 2                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 7.       | Раздел 1, Тема 6                              | Модуляция сигналов. Способы модуляции, используемые при передаче информации. | 2                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 8.       | Раздел 1, Тема 6                              | Демодуляция сигналов. Исследование спектров модулированных сигналов          | 3                      | Проект,<br>дискуссия * |
| 9.       | Раздел 2, Тема 1                              | Цифровое изображение. Первичная обработка.                                   | 4                      | Проект,<br>дискуссия * |

|     |                  |                                                                                                                                                                                                                                         |   |                     |
|-----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------|
| 10. | Раздел 2, Тема 1 | Форматы графических файлов (на примере анализа данных наблюдений).                                                                                                                                                                      | 2 | Проект, дискуссия * |
| 11. | Раздел 2, Тема 2 | Визуализация двумерных данных: изображение, контур, поверхность. Цветовая палитра.                                                                                                                                                      | 1 | Проект, дискуссия * |
| 12. | Раздел 2, Тема 2 | Преобразование изображений в различные системы координат. Понятие сплайнов. . Двумерное преобразование Фурье.                                                                                                                           | 1 | Проект, дискуссия * |
| 13. | Раздел 2, Тема 2 | Удаление шумов. Линейные фильтры. Алгоритмы поиска характерных линий и точек изображения. Матрица конволюции. Способы обработки границ изображений. Эрозия и наращивание.                                                               | 2 | Проект, дискуссия * |
| 14. | Раздел 2, Тема 2 | Преобразование Хафа. Алгоритм Кэнни. Фильтры Лапласа, Собела и др. Примеры.                                                                                                                                                             | 2 | Проект, дискуссия * |
| 15. | Раздел 2, Тема 3 | Основные принципы формирования изображений (на примерах из астрономии и радиоастрономии). Основные понятия и определения восстановления (реконструкции) изображений.                                                                    | 1 | Проект, дискуссия * |
| 16. | Раздел 2, Тема 3 | Характерные инструментальные искажения (геометрические, радиометрические, шумовые и тд.). Восстанавливающий Фильтр Винера-Тихонова. Метод CLEAN реконструкции радиоизображений. Метод Максимальной энтропии. Метод оптимального отжига. | 2 | Проект, дискуссия * |
| 17. | Раздел 2, Тема 3 | Примеры калибровки и обработки спутниковых изображений HINODE(XRT), SDO(AIA), радиоданных, получаемых на многочастотном Сибирском радиогелиографе (СРГ).                                                                                | 2 | Проект, дискуссия * |
| 18. | Раздел 2, Тема 3 | Визуализация процесса обработки данных.                                                                                                                                                                                                 | 1 | Проект, дискуссия * |

\*- аспиранты должны показать преподавателю законченную, правильно функционирующую программу, ответить на уточняющие вопросы.

## 5.6. Перечень и содержание самостоятельной работы

| № | Тема                             | Вид самостоятельной работы            | Задание                                                                                                                                                                                                                                               | Рекомендуемая литература                                  | Всего часов |
|---|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------|
| 1 | Цифровые сигналы и работа с ними | Создание программы. Письменная работа | Написать программу обработки заданного сигнала. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.                                                                                                                                                      | Основная литература: 1, 2                                 | 7           |
| 2 | Спектральный анализ              | Письменная работа                     | Письменно ответить на вопросы: Показать аналитическую связь между спектрами аналогового и оцифрованного сигналов. Объяснить возникающие при этом различия двух спектров. При каком интервале дискретизации будет наблюдаться полное подобие спектров? | Основная литература: 1, 2<br>Дополнительная литература: 1 | 3           |

|   |                                  |                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                              |   |
|---|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---|
| 3 | Спектральный анализ              | Создание программы. Письменная работа  | Используя метод Уолша, построить динамический спектр суммы двух гармонических сигналов, имеющих разные частоты. Исследовать влияние применения разных весовых функций на результат (к примеру: прямоугольное окно и окно Ханна). Результаты оформить в виде графиков.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Основная литература: 1, 2<br>Дополнительная литература: 1    | 4 |
| 4 | Фильтры                          | Создание программы. Письменная работа  | Дано: зашумленный гидроакустический сигнал. Построить спектр сигнала и определить участки спектра для последующей фильтрации. Применить два типа фильтров (частота среза задается самостоятельно): ФНЧ и ФВЧ. Объяснить полученные результаты. На примере фазового фильтра, реализовать плавный сдвиг сигнала по оси времени.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Основная литература: 1, 2, 3<br>Дополнительная литература: 1 | 7 |
| 5 | Адаптивные фильтры               | Создание программы.                    | Используя адаптивный фильтр Винера, произвести фильтрацию зашумленного сигнала. С помощью аппарата спектрального анализа провести качественное сравнение спектра фильтрованного сигнала с результатами применения обычных линейных фильтров (ФНЧ, ФВЧ). Описать основные различия в спектрах, достоинства и недостатки адаптивного фильтра Винера.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Основная литература: 1, 2<br>Дополнительная литература: 1    | 8 |
| 6 | Модуляция и демодуляция сигналов | Создание программы. Письменная работа. | Для случая однотоновой модуляции построить графики амплитудно-модулированных сигналов для разных значений параметра $m$ (глубины модуляции) $= 0, 0.5, 1, 1.5$ ; Проверить, что происходит с восстановленным (демодулированным) сигналом в случае перемодуляции? Вычислить пиковую мощность однотонового сигнала. Какая доля мощности уходит в среднем на формирование несущего колебания? Объяснить основные различия между фазовой и частотной модуляцией. Построить спектр гармонического сигнала для случая гармонической угловой модуляции. Объяснить, что будет происходить со спектром при изменении параметра глубины модуляции. Реализовать амплитудно-манипулированный сигнал, для случая алфавита (0 и 1 - двоичной последовательности). | Основная литература: 1, 2<br>Дополнительная литература: 1    | 4 |
| 7 | Модуляция и                      | Создание                               | Реализовать алгоритм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Основная                                                     | 3 |

|    |                                                                |                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                 |   |
|----|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---|
|    | демодуляция сигналов                                           | программы.                             | синхронного детектирования для случая демодуляции амплитудно-модулированного сигнала. Показать на графиках, что будет происходить при внесении ошибки фазы и частоты в алгоритм?                                                                                     | литература: 1, 2<br>Дополнительная литература: 1                |   |
| 8  | Вводные определения. Первичная обработка цифровых изображений. | Создание программы.                    | Определить основные характеристики для предложенных изображений: размер, количество цветовых каналов, глубину цвета. Разработать алгоритмы (функции) для изменения дискретизации и разрешения изображений.                                                           | Основная литература: 1, 2, 3<br>Дополнительная литература: 1    | 4 |
| 9  | Вводные определения. Первичная обработка цифровых изображений. | Создание программы. Письменная работа. | Изучить структуры различных файловых форматов: текстового, бинарного, табличного и иерархического в применении к научным данным. Определить преимущества и недостатки форматов в применении к хранению научных данных. Написать отчет.                               | Основная литература: 1, 2, 3<br>Дополнительная литература: 1    | 8 |
| 10 | Инструменты цифровой обработки изображений                     | Создание программы. Письменная работа. | Построить двумерный массив от заданной функции интенсивности. Визуализировать полученные данные в виде изображения с изолиниями.                                                                                                                                     | Основная литература: 1, 2, 3                                    | 3 |
| 11 | Инструменты цифровой обработки изображений                     | Создание программы.                    | Очистить изображение, зашумленное периодическим сигналом, применяя двумерное преобразование Фурье. Вывести результат в виде двух изображений: оригинального и после фильтрации.                                                                                      | Основная литература: 2, 3                                       | 3 |
| 12 | Инструменты цифровой обработки изображений                     | Создание программы.                    | Разработать программу для выделения объектов переднего плана на предложенных данных с учетом минимальной допустимой площади объекта. Воспользоваться методами бинарной морфологии для разделения плотно прилегающих объектов. Результат оформить в виде изображения. | Основная литература: 1, 2, 3<br>Дополнительная литература: 1    | 3 |
| 13 | Инструменты цифровой обработки изображений                     | Создание программы.                    | Используя алгоритм Хафа на заданной ионограмме определить треки. Полученный результат в виде линий нанести на исходную ионограмму. Прodelать ту же процедуру, используя алгоритм Кэнни. Объяснить основные различия, получаемых результатов.                         | Основная литература: 1, 2, 3                                    | 3 |
| 14 | Формирование изображений из данных и их реконструкция          | Создание программы. Письменная работа. | Обработать изображение одним из предложенных методов. Написать отчет.                                                                                                                                                                                                | Основная литература: 1, 2, 3<br>Дополнительная литература: 1, 3 | 3 |
| 15 | Формирование                                                   | Создание                               | Дано цифровое изображение                                                                                                                                                                                                                                            | Основная                                                        | 3 |

|    |                                                       |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                  |   |
|----|-------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---|
|    | изображений из данных и их реконструкция              | программы. Письменная работа. | радиоисточника, имеющего гауссову форму. Изображение подвергнуто процедуре свертки с диаграммой направленности Сибирского радиогелиографа. На примере использования метода чистки CLEAN (алгоритм Хегбома) выполнить процедуру восстановления истинного распределения радиояркости источника. Объяснить результаты такой реконструкции. Прodelать ту же процедуру, для случая, когда в исходное изображение внесен белый шума. Проследить зависимость получаемых результатов реконструкции от величины вносимого в изображение шума. | литература: 1, 2, 3<br><br>Дополнительная литература: 3          |   |
| 16 | Формирование изображений из данных и их реконструкция | Создание программы.           | Написать программу, которая считывает радиоизображения Солнца (формат FITS), полученные на СРГ. Провести их визуализацию и первичный анализ (центрирование, фильтрацию и т.д.).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Основная литература: 1, 2, 3<br><br>Дополнительная литература: 3 | 3 |
| 17 | Формирование изображений из данных и их реконструкция | Создание программы.           | Написать программу для визуализации процесса поиска активных субапертур на серии данных полученных адаптивной оптикой. Даны, результаты натурных измерений Солнца на телескопе БСВТ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Основная литература: 1, 2, 3                                     | 3 |

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература

| № | Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы                                                             | Количество экземпляров |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1 | Умняшкин С. Основы теории цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. Москва: Техносфера, 2017. - 512 с. -ISBN 978-5-94836-484-1                             | 2                      |
| 2 | Майкл Доусон Программируем на Python. Санкт-Петербург: Питер. 2019. - 416 с. -ISBN 978-5-496-01071-9                                                           | 1                      |
| 3 | Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 1104 с. - ISBN 978-5-94836-331-8 | 3                      |

### 6.2. Дополнительная литература

| № | Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы                                                                                                               | Количество экземпляров |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1 | Умняшкин, С. В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов: учебное пособие / С. В. Умняшкин. - Москва : Техносфера, 2012. - 368 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс" - ISBN 978-5-94836-318-9 | 1                      |
| 2 | Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы [Текст] : научное издание / В. И. Джиган. - М. : Техносфера, 2013. - 527 с. : ил. ; 25 см. - (Мир цифровой обработки). - Библиогр.: с. 505-      | 1                      |

|   |                                                                                                                                                                                                                                      |   |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|   | 520. - Предм. указ.: с. 521-527. - ISBN 978-5-94836-342-4.                                                                                                                                                                           |   |
| 3 | Томпсон, А. Ричард. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии [Текст] : научное издание / А.Р. Томпсон ; Д.М. Моран, Д.У. Свенсон. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2003. - 624 с. : ил ; 24 см. - ISBN 5-9221-0015-7. | 2 |

### 6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- <http://ssrt.iszf.irk.ru/indexru.shtml>
- Архив наблюдений радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (<http://badary.iszf.irk.ru/>)
- Научная база данных Scopus (<https://www.scopus.com>)
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>)

### 6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
- Международная система индексирования публикаций Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Научные ресурсы зарубежного издательства Elsevier B.V. – Freedom Collection (<https://www.elsevier.com>)

### 6.5. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

## 7. Образовательные технологии

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование аспирантами выступлений друг друга.
- Проект — комплексное задание прорабатываемое несколько занятий, учитывая работу на дому, по окончании которой предоставляется письменный отчет.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ПК, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;
- выполнение лабораторных и практических работ.

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

## **9. Контроль качества освоения программы аспирантуры**

**Цель контроля** – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **Планируемые результаты освоения дисциплины**

**Знать:** теоретические основы и математический аппарат цифровой обработки сигналов, представимых в различных физических формах (электрические сигналы, акустические сигналы и др.), методы преобразования сигналов в телекоммуникационных системах – кодирование, сжатие, модуляцию, форматы представления информации;

**Уметь:** выявлять количественные закономерности физических явлений, реализовывать на типовых и специализированных программных средствах методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов, уметь оптимизировать подходы при изменяющихся априорных сведениях;

**Владеть:** навыками использования современных методов и технологий цифровой обработки сигналов, а также методами обработки данных и навыками их систематизации и анализа.

### **Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос и тестирование.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

#### Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

| Раздел/Тема                                                                                                              | ОС            | Содержание задания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Раздел 1. Вводный курс. Основные определения.                                                                            | Устный опрос  | Дискуссия, устный опрос.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Раздел 1. Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) | Решение задач | <p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Проект компьютерного практикума:</b><br/> Дано: Цифровая запись гидроакустического сигнала длительностью 1.03 с. Сигнал получен с помощью специализированного 4-х канального приемника на о. Байкал с глубины 150м. Шаг квантования сигнала – 5 мкс.</p> <p>Необходимо написать программу, которая а) считывает сигнал из файла; б) вычисляет такие характеристики сигнала как: математическое ожидание, дисперсию; в) производит вычисление и построение в виде графиков функции корреляции между парами приемных каналов; г) выполняет операцию усреднения сигнала по трем точкам.</p> <p><b>Контрольные вопросы:</b><br/> а) Сигнал имеет частотный спектр, ограниченный частотой <math>f_{\max} = 50</math> кГц. Каким должен быть выбран шаг квантования сигнала по времени (при его приеме), чтобы обеспечить условие отсутствия потерь информации?<br/> б) Сигнал регистрируется приемным устройством в течение 10 с., дискретные отсчеты сигнала снимаются через каждые 10 мкс. Какова предельная частота сигнала <math>f_{\max}</math> может быть зафиксирована. Какое разрешение по частоте будет обеспечиваться в этом случае?</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p> |
| Раздел 1. Спектральный анализ и фильтрация сигналов. Весовые оконные функции                                             | Решение задач | <p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Проект компьютерного практикума:</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                                    |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                    |                                              | <p><b>Дано:</b> Набор тестовых сигналов (синусоидальный сигнал, синус + белый шум и тд.) представленных в цифровой форме. Цифровая запись радиопотока Солнца на длине волны 5.2 см (шаг квантования 1.6 сек, период наблюдения 8 часов) в формате fits.</p> <p>Необходимо написать программу, которая совершает следующие действия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>а) считывает сигналы из файлов;</li> <li>б) выполняет прямое БПФ над тестовыми сигналами и выводит результат в виде графиков (спектры мощности);</li> <li>в) фильтрует спектры в заданной полосе частот (тип фильтра по выбору пользователя) и производит обратное ДПФ. Используя наработанный материал, выполнить анализ спектра реального радиосигнала. Выявить основные свойства спектра. В качестве дополнительного задания предлагается построить скользящий спектр мощности радиосигнала используя метод построения периодограмм Уэлча. <p><b>Контрольные вопросы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>а) Покажите, что преобразование Фурье и обратное преобразование суть линейные операции.</li> <li>б) Объяснить, в чем заключается смысл применения оконного преобразования Фурье и оконных весовых функций.</li> <li>в) Определите максимальный размер М окна сканирования, при котором предпочтителен прямой алгоритм вычисления свертки, если <math>N = 2048</math>, а исходные данные таковы <math>X = [x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1} x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1}]</math></li> </ul> <p>и ядро свертки <math>G = [g_0, g_1 \dots g_{M-1}, g_0, g_1 \dots g_{M-1}]</math> комплексные.</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p> </li></ul> |
| Раздел 1. Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров. | Решение задач<br>Расчетно-графическая работа | <p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.</p> <p><b>Расчетно-графическая работа для компьютерного практикума:</b><br/>Конструирование простейших цифровых фильтров. Генерация тестовых сигналов. Фильтрация.</p> <p><b>Отчет и обсуждение результатов.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Раздел 1. Амплитудная модуляция. Разновидности                     | Решение задач<br>Расчетно-графическая        | <p><b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                                                                                                                                  |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| амплитудной модуляции.<br>Фазовая и частотная модуляция<br>Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации. | работа                                       | доски.<br><br><b>Проект компьютерного практикума:</b><br>Необходимо смоделировать систему передачи информации по радиоканалу, которая состоит из передатчика сигнала, канала связи с аддитивным белым гауссовым шумом, приемника сигнала. Передатчик включает в себя источник сообщения и модулятор радиосигнала, а приемник - входной полосовой фильтр, демодулятор радиосигнала, ФНЧ. Отобразить графики временных и спектральных функций на выходе каждого блока. Параметры системы передачи приведены ниже:<br>Источник сигнала - гармонический сигнал по закону синуса в третьей степени с частотой 130 Гц. Вид модуляции - фазовая модуляция с индексом модуляции 4. Несущая частота 3 кГц. Отношение сигнал/шум 9 дБ. Частота дискретизации 8 кГц.<br><br><b>Отчет и обсуждение результатов.</b>                                           |
| Раздел 2. Основы реконструкции сигналов.<br>Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов                                             | Решение задач<br>Расчетно-графическая работа | <b>Решение типовых теоретических задач</b> в ходе практических занятий. Работа у доски.<br><br><b>Проект компьютерного практикума:</b><br>Радиосигнал от наблюдаемого объекта удовлетворяет уравнению вида:<br>$H(u) \cdot F(u) = G(u) + N(u)$<br>где $H$ – передаточная функция радиотелескопа, $F$ – истинный сигнал, $G$ – наблюдаемый сигнал, $N$ – стационарный гауссов шум; * - знак оператора свертки. Необходимо написать программу, которая на основе применения оптимального фильтра Винера производит операцию обращения свертки и дает оценку истинного сигнала. Также необходимо исследовать влияние шума на качество восстановленного сигнала. Даны в виде массивов данных: а) наблюдаемый сигнал; б) истинный сигнал (для тестов алгоритма); в) передаточная функция радиотелескопа.<br><br><b>Отчет и обсуждение результатов.</b> |

### Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончанию дисциплины, в виде зачетов в соответствии с графиком учебного процесса.

Для допуска к зачету студент должен выполнить все практические задания. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

### Вопросы для зачета

- Классификация сигналов
- Основные статистические характеристики сигнала
- Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Корреляционная функция
- Теорема Парсевала
- Дискретные и интегральные представления сигналов.
- Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование. Теорема Котельникова. Частота Найквиста.
- Спектр дискретного сигнала. Субдискретизация сигнала.
- Дискретный белый шум.
- Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).
- Восстановление непрерывного сигнала с помощью ДПФ.
- Алгоритм быстрого ДПФ (БПФ).
- Эффект Гиббса
- Метод Уэлча
- Спектр дискретного случайного процесса
- Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров
- Фильтры первого и второго порядка
- Понятие свертки. Обращение свертки.
- Амплитудная модуляция.
- Фазовая и частотная модуляция
- Демодуляция.
- Оптимальный фильтр Винера.

### Типовые задания для зачета

1. Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.  
*Дано:* Цифровая запись гидроакустического сигнала длительностью 1.03 с. Сигнал получен с помощью специализированного 4-х канального приемника на о. Байкал с глубины 150м. Шаг квантования сигнала – 5 мкс.

Необходимо написать программу, которая а) считывает сигнал из файла; б) вычисляет такие характеристики сигнала как: математическое ожидание, дисперсию; в) производит вычисление и построение в виде графиков функции корреляции между парами приемных каналов; г) выполняет операцию усреднения сигнала по трем точкам.

Контрольные вопросы:

а) Сигнал имеет частотный спектр, ограниченный частотой  $F_{max} F_{max} = 50$  кГц. Каким должен быть выбран шаг квантования сигнала по времени (при его приеме), чтобы обеспечить условие отсутствия потерь информации?

б) Сигнал регистрируется приемным устройством в течение 10 с., дискретные отсчеты сигнала снимаются через каждые 10 мкс. Какова предельная частота сигнала  $F_{max} F_{max}$  может быть зафиксирована. Какое разрешение по частоте будет обеспечиваться в этом случае?

2. Спектральный анализ и фильтрация сигналов

*Дано:* Набор тестовых сигналов (синусоидальный сигнал, синус + белый шум и тд.) представленных в цифровой форме. Цифровая запись радиопотока Солнца на длине волны 5.2 см (шаг квантования 1.6 сек, период наблюдения 8 часов) в формате fits.

Необходимо написать программу, которая совершает следующие действия: а) считывает

сигналы из файлов; б) выполняет прямое БПФ над тестовыми сигналами и выводит результат в виде графиков (спектры мощности); в) фильтрует спектры в заданной полосе частот (тип фильтра по выбору пользователя) и производит обратное БПФ. Используя наработанный материал, выполнить анализ спектра реального радиосигнала. Выявить основные свойства спектра. В качестве дополнительного задания предлагается построить скользящий спектр мощности радиосигнала, используя метод построения периодограмм Уэлча.

#### Контрольные вопросы:

а) Покажите, что преобразование Фурье и обратное преобразование суть линейные операции.

б) Объяснить, в чем заключается смысл применения оконного преобразования Фурье и оконных весовых функций.

в) Определите максимальный размер  $M$  окна сканирования, при котором предпочтителен прямой алгоритм вычисления свертки, если  $N = 2048$ , а исходные данные таковы  $X = [x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1} x_0, x_1 \dots x_{N-2}, x_{N-1}]$  и ядро свертки  $G = [g_0, g_1 \dots g_{M-1} g_0, g_1 \dots g_{M-1}]$  комплексные.

### 3. Модуляция-демодуляция простейших сигналов

Необходимо смоделировать систему передачи информации по радиоканалу, которая состоит из передатчика сигнала, канала связи с аддитивным белым гауссовым шумом, приемника сигнала. Передатчик включает в себя источник сообщения и модулятор радиосигнала, а приемник - входной полосовой фильтр, демодулятор радиосигнала, ФНЧ. Отобразить графики временных и спектральных функций на выходе каждого блока. Параметры системы передачи приведены ниже:

Источник сигнала - гармонический сигнал по закону синуса в третьей степени с частотой 130 Гц. Вид модуляции - фазовая модуляция с индексом модуляции 4. Несущая частота 3 кГц. Отношение сигнал/шум 9 дБ. Частота дискретизации 8 кГц.

Проверяемые компетенции: ОПК-1, ПК-1, ПК-2

### 4. Реконструкция сигналов. Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов

Радиосигнал от наблюдаемого объекта удовлетворяет уравнению вида:

$$N(u) * F(u) = G(u) + N(u)$$

где  $N$  – передаточная функция радиотелескопа,  $F$  – истинный сигнал,  $G$  – наблюдаемый сигнал,  $N$  – стационарный гауссов шум;  $*$  - знак оператора свертки.

Необходимо написать программу, которая на основе применения оптимального фильтра Винера производит операцию обращения свертки и дает оценку истинного сигнала. Также, необходимо исследовать влияние шума на качество восстановленного сигнала. Даны в виде массивов данных: а) наблюдаемый сигнал; б) истинный сигнал (для тестов алгоритма); в) передаточная функция радиотелескопа.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, аспирант не приобрел необходимых знаний и умений