



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра общей и космической физики



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.12 Методы обработки сигналов

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Солнечно-земная физика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 25 от « 21 » апреля 2020 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
общей и космической физики
Протокол № 7
от « 27 » марта 2020 г.
Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор
Паперный В.Л.

Иркутск 2020 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
5. Содержание дисциплины (модуля)	4
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	4
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами	5
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	6
6.1. План самостоятельной работы студентов	7
6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	8
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	9
а) <i>основная литература</i>	9
б) <i>дополнительная литература</i>	9
в) <i>программное обеспечение</i>	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	10
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	10
10. Образовательные технологии	10
11. Оценочные средства (ОС)	11
 12. ПРИЛОЖЕНИЕ: ФОС	 16

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Учебный курс направлен на 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. В программе курса предусмотрена работа с натурными наблюдательными данными астрофизических обсерваторий ИСЗФ СО РАН.

Цели: изучение методов анализа и обработки сигналов, способов их преобразования и передачи по каналам связи, освоение теоретических основ математического аппарата цифровой обработки одно- и многомерных сигналов, освоение современных программных инструментов.

Ставится **задача** сформировать навыки экспериментальных исследований, осмысления результатов физического эксперимента, построения моделей исследуемых процессов.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Курс «Методы обработки сигналов» относится к вариативной части цикла Б1.

Данная дисциплина предназначена для студентов 3 курса физического факультета.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Курс «Методы обработки сигналов», согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, позволяет студенту приобрести следующую общей профессиональную компетенцию (ОПК):

- способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов физики и математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2)
- способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2).

В результате изучения курса “ Методы обработки сигналов” студент будет

знать теоретические основы и математический аппарат анализа и обработки сигналов (представленных в различных формах), методы преобразования сигналов в телекоммуникационных системах – кодирование, сжатие, модуляцию, форматы представления информации.

иметь представление о современных технологиях цифровой обработки сигналов;

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;

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

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		6			
Аудиторные занятия (всего)	60/1.66	60			
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции	18/0.5	18			
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)	38/1.06	38			
КСР	4/0.11	4			
Самостоятельная работа (всего)	12/0.33	12			
В том числе:			-	-	-
Решение домашних задач	10/0.28	10			
Подготовка к зачету	2/0.06	2			
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)					
Контактная работа (всего)	61.2/1.7	61.2			
Общая трудоемкость часы зачетные единицы	72	72			
	2	2			

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Раздел 1. ОСНОВЫ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

1.1. Вводный курс. Основные определения

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. Дискретные сигналы

Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. Спектр дискретного сигнала. Субдискретизация сигнала. Z-преобразование. Дискретные случайные сигналы. Корреляционная матрица. Дискретный белый шум.

1.3. Спектральный анализ

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. Импульсная характеристика фильтра. Функция передачи. Фильтры первого и второго порядка. Формы реализации цифровых фильтров. Понятие свертки. Обращение свертки. Некоторые идеализированные фильтры.

1.5.Модуляция и демодуляция

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

1.6.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.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Дисциплина преподается на третьем курсе обучения бакалавров, поэтому обеспечиваемых (последующих) дисциплин не имеется.

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лек.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Раздел 1	Вводный курс. Основные определения.	1					1
2.	Раздел 1	Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.	2			6	2	10
3.	Раздел 1	Дискретное преобразование Фурье	2			4	1	7
4.	Раздел 1	Спектральный анализ и фильтрация сигналов	2			4	1	7

5.	Раздел 1	Весовые оконные функции	2			4	1	7
6.	Раздел 1	Линейная цифровая обработка сигналов с помощью фильтров.	1					1
7.	Раздел 1	Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция	2			4	1	7
8.	Раздел 1	Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.	2			4	2	8
9.	Раздел 1	Основы реконструкции сигналов.	2			4	2	8
10.	Раздел 1	Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов	2			8	2	12

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1	Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.	6	Проект, дискуссия *	ОПК2 ПК2
2.	Раздел 1	Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Корреляционная функция	4	Проект, дискуссия *	
3.	Раздел 1	Спектральный анализ. Дискретное преобразование Фурье	4	Проект, дискуссия *	
4.	Раздел 1	Взаимосвязь ДПФ и фильтрации. Эффект Гиббса. Весовые оконные функции	4	Проект, дискуссия *	
5.	Раздел 1	Амплитудная модуляция. Разновидности амплитудной модуляции. Фазовая и частотная модуляция	4	Проект, дискуссия *	

6.	Раздел 1	Демодуляция. Способы модуляции, используемые при передаче информации.	4	Проект, дискуссия *	
7.	Раздел 1	Реконструкция сигналов.	4	Проект, дискуссия *	
8.	Раздел 1	Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов	8	Проект, дискуссия *	

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Основные алгоритмы обработки сигналов на компьютере. Дискретные сигналы.	Самостоятельное решение задач по данной теме на практических занятиях	Написать программу обработки заданного сигнала. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.	[1,2]	2
2.	Спектральный анализ и фильтрация сигналов	Самостоятельное решение задач по данной теме на практических занятиях	Написать программу фильтрации заданного сигнала с помощью сглаживания и ДПФ. Ответить на контрольные вопросы. Написать отчет.	[1,2]	1
3.	Модуляция-демодуляция простейших сигналов	Работа с данными натурального эксперимента	Обработать сигнал. Произвести фильтрацию. Реализовать простейшую модель передачи сигнала по каналу связи. Написать отчет.	[1,2]	1
4.	Реконструкция сигналов. Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов	Самостоятельное решение задач по данной теме на практических занятиях	Изучить алгоритмы адаптивной фильтрации. Написать программу обращения свертки и оценки истинного сигнала. Написать отчет.	[1,2]	1
5.	Кодирование и декодирование сигналов	Самостоятельное решение задач по данной теме на практических занятиях	Написать программу сохранения, считывания и отображения. Написать отчет.	[1,2]	1
6.	Методы реализации цифровых фильтров	Самостоятельное решение задач по данной теме на практических занятиях	Написать программу обработки сигнала. Написать отчет.	[1,2,3]	2
9.	Текущие консультации				2
10.	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к зачету	Повторить все разделы курса	Основная литература: 1 - 3	2

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать профессиональную оценку конкретной ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Теоретические знания, полученные студентами на практических занятиях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении лабораторных работ.

При выполнении практических заданий и лабораторной работы обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения пользоваться научно-технической справочной литературой. Каждый студент должен подготовиться к защите своего отчета, разобравшись с теорией исследуемого явления.

Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала каждой практической работы, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведен опрос по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не предусмотрены.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

а) основная литература

1. Воробьев С.Н. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] : учеб. для студ. учрежд. высш. проф. образования по направл. подгот. 210700 "Инфокоммуникац. технологии и системы связи" / С. Н. Воробьев. - ЭВК. - М. : Академия, 2013. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - 20 доступов. - ISBN 978-5-7695-9560-8
2. Черных, А.А. Цифровая обработка сигналов на основе платы Emona SIGEx [Электронный ресурс] / А. А. Черных, Ю. В. Ясюкевич, В. Л. Паперный. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - Ч. 1. - 2014.
3. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] : издание 3-е, исправленное / А. Оппенгейм. - Москва : Техносфера, 2012. - 1048 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-94836-329-5
4. Магазинникова, А.Л. Основы цифровой обработки сигналов [Электронный ресурс] / А. Л. Магазинникова. - Москва : Лань", 2016. - Режим доступа: ЭБС "Издательство Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2175-6

б) дополнительная литература

- 1) Умняшкин, С. В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Умняшкин. - Москва : Техносфера, 2012. - 368 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-94836-318-9
- 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. 505-520. - Предм. указ.: с. 521-527. - ISBN 978-5-94836-342-4. - (1 экз.)
- 3) Дворкович, В.П. Оконные функции для гармонического анализа сигналов [Текст] : научное издание / В. П. Дворкович, А. В. Дворкович. - М. : Техносфера, 2014. - 105 с. : цв. ил. ; 21 см. - (Мир цифровой обработки). - Библиогр.: с. 104-105. - ISBN 978-5-94836-373-8. - (1 экз.)
- 4) 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. - (3 экз.)
- 5) Попов, О.Б. Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов [Текст] : учеб. пособие / О.Б. Попов. - М. : Горячая линия - Телеком, 2010. - 176 с. : ил. ; 21 см. - (Учебное пособие для вузов). - Библиогр.: с. 174-175. - ISBN 978-5-9912-0131-5. - (2 экз.)

сверено с ЖБ ЧЧУ Ж

в) программное обеспечение

- На каждом компьютере установлены ОС Linux (Ubuntu 14.04.2 LTS) и следующие программные пакеты: Geany 1.23.1, Midnight Commander, Leafpad, Mozilla, Gnuplot, Evince 3.10.3, LibreOffice 4.2.8.2. Все установленное программное обеспечение Freeware.

Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде.

-Языки анализа и визуализации данных GDL (freeware), Python (freeware).

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по дисциплине Б1.В.12 «Методы обработки сигналов».
- Журнал "Цифровая обработка сигналов" <http://www.dsps.ru/>
- • ЭЧЗ «Библиотек» <https://isu.bibliotech.ru/>
- • ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- • ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- • ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Применять полученные знания на практике студенты могут в специальном дисплейном классе с современной вычислительной техникой и соответствующим программным обеспечением. В классе имеет 14 стационарных компьютеров (Intel Atom CPU D2500) с мониторами (Samsung S19A10 18.5"), WiFi-роутер 54M Wireless Router TL-WR542G, маршрутизатор DES-1005D. Компьютеры имеют доступ к локальной сети университета и выход в Интернет. Студенты могут самостоятельно закреплять полученный материал в этих классах. На занятиях могут использоваться мультимедийные средства: переносной проектор (CASIO XJ-A241), стационарный настенный экран (Classic Solution, 244x244), ноутбук Lenovo B590. Кроме того, на факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы.

10. Образовательные технологии

В программе определена четкая последовательность изучения учебного материала.

Реализуются следующие формы учебной деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;

- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется в основном на практических занятиях при дискуссии о результатах выполненных практических работ.

11. Оценочные средства (ОС)

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

11.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не осуществляется.

11.2. Оценочные средства текущего контроля

Задания и вопросы для компьютерного практикума

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 к практикуму:

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 к практикуму:

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.

4. Реконструкция сигналов. Алгоритмы адаптивной фильтрации сигналов

Радиосигнал от наблюдаемого объекта удовлетворяет уравнению вида:

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

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.

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

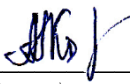
№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при защите отчета	Все темы	ОПК-2, ПК-2
2.	Опрос	Все разделы	ОПК-2
3.	Подготовка к зачету	Все разделы	ОПК-2

Для допуска к зачёту студент должен выполнить все практические задания.

Примерный список вопросов к зачёту:

- Классификация сигналов
- Основные статистические характеристики сигнала
- Ряд Фурье. Преобразование Фурье. Корреляционная функция
- Теорема Парсеваля
- 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.

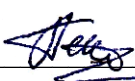
Разработчики:


(подпись)

доцент ИГУ, к.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

А.А., Кочанов
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
« 27 » марта 2020 г.

Протокол № 7, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.