

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Физико-технический факультет
Кафедра физики неравновесных процессов метрологии и экологии
им. И.Л. Повха

УТВЕРЖДАЮ
проректор

_____ П. А. Машаров
«17» апреля 2025 г.
МП

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Укрупненная группа направлений подготовки	03.00.00 Физика и астрономия
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	03.03.02 Физика
Направленность (профиль) образовательной программы	Техническая физика беспилотных систем
Специализация	
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа может быть адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2025

Рабочая программа дисциплины **«Цифровые методы обработки случайных сигналов»** для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика (Профиль: Техническая физика беспилотных систем), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 № 891 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2025 года.

Разработчик:

доцент кафедры физики неравновесных процессов
метрологии и экологии им. И.Л. Повха,
канд. техн. наук

Е.Д. Пометун

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры неравновесных процессов
метрологии и экологии им. И.Л. Повха
Протокол от 03.04.2025 г. № 16.

Заведующий кафедрой

П.В. Асланов

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета
16.04.2025 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета
Протокол от 16.04.2025 г. № 4.
Председатель

В.Н. Котенко

Руководитель основной образовательной программы,
доц., канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр.
03.04.2025 г.

П. В. Асланов

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

- 1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной дисциплины: Методы и средства измерений, Информационные технологии и программирование, Основы теории автоматического управления.
- 1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Системы связи беспилотных аппаратов, Системы стабилизации и управление полетом БПЛА.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	03.03.02 Физика (профиль: Техническая физика беспилотных систем)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ДВ.1.2 Цифровые методы обработки случайных сигналов
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор обучающегося
Количество зачетных единиц / всего часов	3 / 108

В случае предъявления от обучающегося или его родителя (законного представителя) заявления на обучение по адаптированной образовательной программе высшего образования, подкрепленного заключением психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК) или медико-социальной экспертизы (МСЭ) с рекомендациями создания индивидуальной программы реабилитации и абилитации (ИПРА), данная рабочая программа может быть адаптирована с учетом индивидуальных особенностей здоровья обучающегося.

2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	3	1	17	0	34	57	108	зачет
Заочная								

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Сформировать компетенции обучающихся в области цифровых методов обработки случайных сигналов.

4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

4.1. Компетенции

ПК-5. Способен выполнять эксперименты по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств.

Индикаторы компетенций

ПК-5.1. Применяет современные методы цифровой обработки случайных сигналов для проведения экспериментов.

ПК-5.1.1. Знает основные методы анализа случайных сигналов (корреляционный, спектральный, временной анализ) и современные алгоритмы цифровой обработки сигналов (фильтрация, сглаживание, выделение полезного сигнала из шума).

ПК-5.1.2. Умеет планировать и проводить эксперименты по исследованию случайных сигналов и применять методы статистического анализа для оценки характеристик случайных процессов.

ПК-5.1.3. Владеет методами автоматизированной обработки экспериментальных данных.

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-5. Способен выполнять эксперименты по заданным методикам и обрабатывать результаты применением современных информационных технологий и технических средств.	ПК-5.1. Применяет современные методы цифровой обработки случайных сигналов для проведения экспериментов.	ПК-5.1.1. Знает основные методы анализа случайных сигналов (корреляционный, спектральный, временной анализ) и современные алгоритмы цифровой обработки сигналов (фильтрация, сглаживание, выделение полезного сигнала из шума). ПК-5.1.2. Умеет планировать и проводить эксперименты по исследованию случайных сигналов и применять методы статистического анализа для оценки характеристик случайных процессов. ПК-5.1.3. Владеет методами автоматизированной обработки экспериментальных данных.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Общая функциональная схема и состав цифровых систем регулирования	Типовые структурные и функциональные схемы цифровых систем автоматики. Объекты цифровых систем управления. Характеристики объектов, их математическое описание. Элементы цифровых систем: устройство связи с объектом, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, устройство выборки и хранения, мультиплексор и демультиплексор.
Раздел 2. Математическое описание процессов квантования и фильтрации в цифровых системах	Преобразование и обработка сигналов в цифровых системах управления. Математическое описание процесса квантования. Понятие идеального квантователя. Реальный квантователь. Восстановление сигнала по дискретным выборкам. Импульсная теорема. Устройства восстановления (фильтрации) сигнала. Восстановитель Шеннона. Экстраполяторы.
Раздел 3. Метод z-преобразования. Метод пространства состояний	Основы метода. Понятие z-преобразования. Импульсная (дискретная) передаточная функция. Структурный анализ цифровых систем. Исследование процессов между моментами квантования: метод дробного квантования и модифицированное z-преобразование. Особенности метода пространства состояний в применении к цифровым системам. Уравнения состояния. Прямое и обратное время в уравнениях состояния. Решение дискретных уравнений состояния. Переходная (фундаментальная)

	матрица. Связь уравнений состояния с передаточной функцией. Понятие диаграммы состояния. Методы декомпозиции передаточной функции. Связь между управляемостью, наблюдаемостью и передаточными функциями
Раздел 4. Моделирование систем управления с применением цифровых методов. Анализ цифровых систем управления	Применения устройств выборки и хранения. Методы численного интегрирования. Метод z-форм. Метод пространства состояний с применением УВХ Устойчивость, необходимое и достаточное условие устойчивости. Дискретные аналоги критериев устойчивости: алгебраические критерии, критерий устойчивости Михайлова и Найквиста. Переходные процессы, ошибки в типовых режимах.
Раздел 5. Синтез цифровых систем	Общие схемы синтеза. Синтез последовательного аналогового регулятора. Синтез аналогового регулятора в цепи обратной связи. Последовательный цифровой регулятор. Варианты исполнения цифрового регулятора. Импульсные фильтры. Реализация цифровых регуляторов на ЦВМ. Синтез цифрового регулятора с применением билинейного преобразования. Цифровой ПИД-регулятор. Синтез цифровых систем управления с конечным временем переходного процесса. Основы метода. Физическая реализуемость регулятора. Синтез цифрового регулятора.
Раздел 6. Введение в цифровую обработку сигналов	Предмет цифровой обработки сигналов. Основные типы сигналов. Аналоговые и цифровые фильтры, их особенности, преимущества и недостатки. Нормирование времени. Обобщенная схема цифровой обработки сигналов. Типовые дискретные сигналы. Нормирование частоты. Основная полоса частот. Аппаратные и программные средства цифровой обработки сигналов.

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 4, семестр – 1

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Общая функциональная схема и состав цифровых систем регулирования	2		4	10	
Раздел 2. Математическое описание процессов квантования и фильтрации в цифровых системах	2		4	10	
Раздел 3. Метод z-преобразования. Метод пространства состояний	2		4	7	
Раздел 4. Моделирование систем управления с применением цифровых методов. Анализ цифровых систем управления	3		6	10	
Раздел 5. Синтез цифровых систем	3		6	10	
Раздел 6. Введение в цифровую обработку сигналов	5		10	10	
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР / ЗА КУРС / ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	17	–	34	57	108

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1.

1. Основные элементы цифровой системы управления и их функции.
2. Принцип работы АЦП и ЦАП в контуре управления.
3. Сравнение аналоговых и цифровых систем регулирования.
4. Роль микропроцессоров и программируемых логических контроллеров (ПЛК) в цифровых системах.

5. Влияние частоты дискретизации на качество управления.

6. Примеры структурных схем цифровых систем управления (САУ, робототехника, телекоммуникации).

7. Проблемы задержек в цифровых системах и методы их компенсации.

Раздел 2.

1. Математические модели квантования сигналов по уровню и времени.
2. Погрешности квантования и их влияние на систему.
3. Антиалиасинговые фильтры: принцип работы и расчёт параметров.
4. Реконструкция сигнала: теорема Котельникова и её практическое применение.
5. Дискретные фильтры (FIR, IIR): сравнительный анализ.
6. Методы проектирования цифровых фильтров (оконный метод, билинейное преобразование).

7. Эффект наложения спектров (алиасинг) и способы его устранения.

Раздел 3.

1. Основные свойства z-преобразования и его связь с преобразованием Лапласа.
2. Передаточная функция дискретной системы в z-области.
3. Устойчивость цифровых систем: критерий устойчивости по z-плоскости.
4. Метод пространства состояний для дискретных систем.
5. Переход от непрерывной модели к дискретной (методы Эйлера, билинейного преобразования).

6. Управляемость и наблюдаемость дискретных систем.

7. Примеры решения задач с использованием z-преобразования и пространства состояний.

Раздел 4.

1. Программные средства моделирования цифровых систем (MATLAB/Simulink, LabVIEW, Python).

2. Методы анализа устойчивости цифровых систем (корневой годограф, частотные критерии).

3. Оценка качества переходных процессов в цифровых системах.

4. Влияние дискретизации на динамические характеристики системы.

5. Идентификация параметров цифровых систем управления.

6. Примеры моделирования цифровых регуляторов (ПИД, адаптивные системы).

7. Анализ ошибок моделирования и способы их минимизации.

Раздел 5.

1. Методы синтеза цифровых регуляторов (аналитический, частотный, модальный).
2. Синтез ПИД-регулятора для дискретных систем.
3. Оптимальное управление в цифровых системах (линейно-квадратичный регулятор).
4. Адаптивные и робастные системы управления.
5. Синтез наблюдателей состояния для цифровых систем.
6. Критерии выбора периода дискретизации при проектировании.
7. Практические примеры синтеза цифровых систем (управление двигателем, температурой, роботом).

Раздел 6.

1. Основные задачи цифровой обработки сигналов (фильтрация, спектральный анализ, сжатие).

2. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и быстрое преобразование Фурье (БПФ).
3. Вейвлет-преобразование и его применение в обработке сигналов.
4. Методы сжатия данных (JPEG, MPEG, алгоритмы с потерями и без потерь).
5. Применение цифровой обработки сигналов в телекоммуникациях, аудио- и видеосистемах.
6. Адаптивная фильтрация и шумоподавление.
7. Современные тенденции в цифровой обработке сигналов (нейросетевые методы, машинное обучение).

7.2. Темы докладов (рефератов)

1. Сравнительный анализ аналоговых и цифровых систем управления: преимущества и недостатки
2. Принципы работы и применение АЦП/ЦАП в современных системах автоматизации
3. Влияние частоты дискретизации на качество управления в цифровых системах
4. Микропроцессорные системы управления: архитектура и практическое применение
5. Проблемы временных задержек в цифровых системах регулирования и методы их компенсации
6. Математические модели процессов квантования сигналов и анализ погрешностей
7. Антиалиасинговые фильтры: принципы работы и методы расчета
8. Теорема Котельникова и её практическое применение в цифровой обработке сигналов
9. Сравнительный анализ FIR и IIR фильтров: критерии выбора и области применения
10. Современные методы проектирования цифровых фильтров
11. Применение z-преобразования для анализа дискретных систем управления
12. Критерии устойчивости цифровых систем в z-плоскости
13. Метод пространства состояний для анализа и синтеза цифровых систем
14. Методы перехода от непрерывных моделей к дискретным: сравнительный анализ
15. Практическое применение z-преобразования в задачах управления
16. MATLAB/Simulink как инструмент моделирования цифровых систем управления
17. Методы анализа устойчивости цифровых систем регулирования
18. Оценка качества переходных процессов в цифровых системах управления
19. Современные подходы к идентификации параметров цифровых систем
20. Синтез цифровых ПИД-регуляторов: методы и практическая реализация
21. Оптимальное управление в цифровых системах: линейно-квадратичный регулятор
22. Адаптивные системы управления: принципы построения и применения
23. Применение дискретного преобразования Фурье в системах управления
24. Цифровая обработка сигналов в телекоммуникационных системах
25. Современные тенденции в развитии цифровых систем управления и обработки информации

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже.

Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

Самостоятельная работа оценивается на основе предоставленных на проверку выполненных домашних, индивидуальных заданий с учетом своевременности их предоставления и соответствия требованиям к их выполнению.

Количество баллов за контрольную работу вычисляется как сумма баллов за все входящие в её состав задания. Каждое задание оценивается исходя из максимально возможного количества баллов с учетом правильности выполнения задания, полноты приводимых обоснований.

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кто претендует на более высокий балл, проходят промежуточную аттестацию. Максимальное количество баллов на промежуточной аттестации – 100. Общее количество баллов за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на промежуточной аттестации и выставляется согласно принятому порядку.

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1-7	Организационно-учебная работа в аудитории	10
	Самостоятельная работа	10
	Практические работы	40
	Модульный контроль	10
ИТОГО		50
Зачет		30
Общий итог за семестр		100

Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4 корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения лабораторных занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете Главного корпуса (ауд.405).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. / А. Б. Сергиенко. – СПб.Изд-во: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с. (Учебник для вузов).
2. Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. Изд. 2-е испр. и перераб.– СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 768 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Макаров, Р. И. Методы анализа данных : учеб. пособие / Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021 – 216 с.

11. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.
2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. –Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов.