

**Санкт-Петербургский государственный университет**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Введение в задачи исследования и проектирования цифровых систем  
Introduction to Problems of Digital System Investigation and Design

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 003820=001121

**Раздел 1.      Характеристики учебных занятий**

### 1.1. Цели и задачи учебных занятий

Цель дисциплины – получение базовых знаний об основах теории моделирования, анализа и синтеза информационно-управляющих систем, построенных на базе современных цифровых устройств.

Задачами дисциплины являются изучение представления математических моделей цифровых систем в пространстве состояний и в частотной области, современных подходов к оценке устойчивости и качества процессов в дискретном времени, оптимизационных методов синтеза алгоритмов функционирования и приёмов компьютерного моделирования в интегрированных инструментальных средах. Специфической задачей курса является сочетание его фундаментальной направленности с практической ориентацией рассматриваемых подходов и методов.

### 1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

### 1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

Дисциплина способствует формированию следующих компетенций:

ПКА-1 Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы фундаментальной и прикладной информатики и информационных технологий.  
ПКП-6 Способен формулировать содержательные задачи в области анализа и синтеза цифровых систем, ставить соответствующие им математические задачи и разрабатывать новые методы их решения для систем цифрового управления и обработки сигналов.  
ПКП-8 Способен эффективно привлекать современные математические методы для решения задач моделирования, анализа и синтеза алгоритмов обработки информации и управления в цифровой реализации.

В результате изучения дисциплины студент должен: знать теоретические основы математического и компьютерного моделирования, анализа и синтеза цифровых систем управления и обработки сигналов; уметь ставить задачи анализа и синтеза алгоритмов цифровой обработки информации на базе оптимизационных подходов, формировать математические модели цифровых сигналов и систем в пространстве состояний, в изображениях по Лорану и в частотной области, анализировать устойчивость и качество процессов управления и обработки сигналов, синтезировать алгоритмы обработки информации с обеспечением устойчивости и достижением наилучшего качества процессов. владеть навыками применения математических методов моделирования, анализа и синтеза цифровых систем для решения практических задач в сфере управления динамическими объектами и обработки цифровых сигналов, построения компьютерных моделей цифровых систем и проведения имитационного моделирования протекающих в них процессов в инструментальной среде MATLAB-Simulink.

### 1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий

## Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

### 2.1.1

## курс

Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации						
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Формы текущего контроля успеваемости		Виды промежуточной аттестации		Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)	
	Формы	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ						
Форма обучения: очная						

Семестр 1			экзамен, устно, традиционн ая форма	по графику промеж уточной аттестаци и		
-----------	--	--	--	--	--	--

## 2.2. Структура и содержание учебных занятий

Период обучения (модуль): **Семестр 1**

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
1.	М0. Введение	лекции	2
		практические занятия	–
		по методическим материалам	4
2.	М1. Математические модели линейных цифровых систем	лекции	4
		практические занятия	4
		по методическим материалам	12
3.	М2. Вопросы анализа дискретных процессов и цифровых систем	лекции	4
		практические занятия	4
		по методическим материалам	12
4.	М3. Методы синтеза линейных цифровых систем	лекции	4
		практические занятия	4
		по методическим материалам	12
5.	М4. Компьютерное моделирование цифровых систем	лекции	2
		практические занятия	4
		по методическим материалам	8

## Содержание учебных занятий

## **М0. Введение**

Сфера применения цифровых систем сбора, хранения, передачи и обработки информации. Структура, особенности и классификация информационных систем, включающих цифровые устройства. Информационные технологии в автоматизации научных исследований. Цифровые системы автоматического управления. Общие принципы исследования и проектирования. Современные инструментальные интегрированные среды моделирования и разработки. Примеры. История и перспективы развития цифровых автоматизированных систем.

## **М1. Математические модели линейных цифровых систем**

Преобразование дискретных сигналов линейными системами. Понятие дискретной LTI системы. Математические модели в виде свертки, импульсная характеристика. Математические модели DLTИ систем в виде разностных уравнений. Системы разностных уравнений и методы их решения. Линейные разностные уравнения. Z-преобразование (преобразование Лорана). Математические модели DLTИ систем в изображениях по Лорану. Модели в пространстве состояний. Понятие передаточной функции. Взаимные переходы между различными формами математических моделей DLTИ систем. Примеры и упражнения на базе среды MATLAB.

## **М2. Вопросы анализа дискретных процессов и цифровых систем**

Ряды и преобразование Фурье для числовых последовательностей. Дискретное по времени преобразование Фурье (ДВПФ). Понятие комплексного, амплитудного и фазового частотного спектра дискретного сигнала. Дискретное преобразование Фурье и его практическое применение. Частотные характеристики DLTИ систем и их особенности. Понятия устойчивости и асимптотической устойчивости дискретных систем по Ляпунову, BIBO устойчивость. Устойчивость DLTИ систем. Анализ качества функционирования цифровых систем, функционалы качества. Классические характеристики качества функционирования. Точность и энергетические затраты на корректировку динамики цифровых систем. Формализованное представление качества с помощью норм сигналов и передаточных матриц DLTИ систем. Нормы элементов пространств Харди  $H_2$  и  $H_{\infty}$ . Примеры и упражнения на базе среды MATLAB.

## **М3. Методы синтеза линейных цифровых систем**

Основы оптимизационного подхода к синтезу цифровых информационно-управляющих систем. Метод параметрической оптимизации с заданием допустимого динамического «коридора». Модальный синтез при полной и неполной информации о состоянии объекта. Модальный синтез на базе асимптотических наблюдателей. Дискретная задача LQR-оптимизации. Практические подходы к выбору весовых множителей в квадратичном функционале. Вопросы оптимизации по нормам пространств  $H_2$  и  $H_{\infty}$ . Синтез алгоритмов функционирования с использованием прогнозирующих моделей. Примеры и упражнения на базе среды MATLAB.

## **М4. Компьютерное моделирование цифровых систем**

Современные подходы к моделированию цифровых систем и дискретных процессов, инструментальные системы компьютерного моделирования. Общий состав и назначение математической среды MATLAB и ее применение для работы с цифровыми системами. Моделирование DLTИ систем в среде MATLAB. Основы объектно-ориентированного подхода к моделированию, различные формы компьютерного представления цифровых систем с помощью LTI-объектов. Основные операции над LTI-объектами, вопросы преобразования структурных схем DLTИ систем. Реализация компонентного подхода к моделированию цифровых систем в подсистеме Simulink среды MATLAB. Основные библиотечные блоки. Последовательность построения и отладки Simulink-моделей.

Имитационное моделирование цифровых систем и протекающих в них процессов. Средства анализа результатов моделирования. Примеры и упражнения на базе среды MATLAB.

### **Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

#### **3.1. Методическое обеспечение**

##### **3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Самостоятельная работа студентов включает в себя решение задач, изучение лекционного материала, учебников, учебных пособий и иных материалов. Время и место самостоятельной работы выбираются студентами по своему усмотрению с учетом рекомендаций преподавателя.

Самостоятельную работу над дисциплиной следует начинать с изучения учебно-методического комплекса, который содержит основные требования к знаниям, умениям, навыкам. Необходимо также вспомнить рекомендации преподавателя, данные в ходе лекционных занятий или консультаций, затем приступить к изучению отдельных разделов и тем.

Подготовка к лекции заключается в следующем:

- внимательно изучить материал предыдущей лекции;
- целесообразно составить краткий конспект или схему, отображающую смысл и связи основных понятий данного раздела, включенных в него тем, а затем полезно изучить выдержки из литературы;
- узнать тему предстоящей лекции (по тематическому плану, по материалам, размещенным в системе дистанционного обучения Blackboard);
- ознакомиться с учебным материалом по учебнику и учебным пособиям;
- записать возможные вопросы, которые вы зададите лектору на лекции.

Подготовка к практическим занятиям:

- выполнить практические задания домашней работы;
- внимательно изучить материал лекций, относящихся к данному семинарскому занятию, ознакомиться с учебным материалом по учебнику и учебным пособиям;
- выписать основные термины;
- уяснить, какие учебные элементы остались для неясными и сформулировать вопросы, которые необходимо задать преподавателю на занятии или консультации;
- готовиться можно индивидуально, парами или в составе малой группы, последние являются эффективными формами работы.

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. При непосредственной подготовке к экзамену рекомендуется тщательно изучить формулировку каждого вопроса, понять его сущность. В соответствии со смыслом составить план ответа. План ответа желательно развернуть, приложив к нему ссылки на конкретные источники. Отметить пробелы в знаниях, которые следует ликвидировать в ходе консультации.

##### **3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Комплект слайдов презентаций материалов по отдельным модулям в PowerPoint. Конспекты лекций по темам, предусматривающим самостоятельную работу. Комплект заданий с указаниями для самостоятельного выполнения студентами в среде MATLAB.

### 3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Для прохождения промежуточной аттестации необходимо выполнить все практические задания, представить результаты проведенных вычислений и сдать экзамен по курсу.

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Список экзаменационных вопросов предоставляется обучающимся не позднее, чем за две недели до экзамена. Билет содержит один теоретический вопрос. По окончании подготовки к ответу обучающийся устно излагает содержание экзаменационных вопросов экзаменатору и отвечает на вопросы экзаменатора. После устного ответа по вопросам экзаменационного билета экзаменатор вправе задать обучающемуся любые вопросы из списка экзаменационных вопросов (дополнительные вопросы).

Индивидуальные задания оцениваются в соответствии со следующими критериями:

Задача решена полностью, разработанная программа проходит все тестовые наборы.	9 баллов
Программа проходит не все тесты, но более половины тестов.	4 балла
В остальных случаях	0 баллов

Ответы на вопросы билетов оцениваются в соответствии со следующими критериями:

Дан полный ответ на вопрос.	30 баллов
Допущены неточности в ответе, непринципиальные ошибки.	15 баллов
Допущены существенные и даже грубые ошибки, но затем исправлены самостоятельно. Знание учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности.	5 баллов
В остальных случаях	0 баллов

Показателями, характеризующими текущую учебную работу слушателей, являются:

1. посещаемость занятий и активность работы на занятиях;
2. оценка выполнения индивидуальных заданий.

Критерии оценивания формируются исходя из данных показателей работы обучающихся и методов измерения знаний, которые используются при контроле освоения учебного материала дисциплины с учётом весовых коэффициентов важности показателей. Для дисциплины «Введение в задачи исследования и проектирования цифровых систем» выбрана комбинация следующих критериев:

1. результаты текущей работы (посещаемость занятий, активность работы на семинарах) – 16 баллов;
2. оценка выполнения индивидуальных заданий – 54 балла (6 заданий по 9 баллов максимум);
3. оценка ответа на экзаменационные вопросы – 30 баллов.

Максимальное количество баллов, которое может получить студент за изученный курс, составляет 100 баллов. Приведённые выше баллы указывают максимальные баллы, которые может получить слушатель по тому или иному показателю работы, из принятых по данной дисциплине.

Для определения итоговой оценки рекомендуется использовать следующую взаимосвязь шкал оценивания:

1. оценке «отлично» соответствует от 85 до 100 баллов;
2. оценке «хорошо» соответствует от 70 до 85 баллов;
3. оценке «удовлетворительно» соответствует от 50 до 70 баллов.

### **3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

Примерные вопросы к экзамену по дисциплине:

1. Цифровые системы: основные понятия. Обобщенная схема системы управления. Схема цифровой обработки аналоговых сигналов.
2. Преобразование дискретных сигналов линейными системами. DLTИ-системы, импульсные характеристики, дискретная свёртка.
3. Математические модели DLTИ систем в виде разностных уравнений. Уравнения цифровых фильтров. Разностные уравнения в пространстве состояний.
4. Z-преобразование (преобразование Лорана). Определение, изображения по Лорану типовых сигналов, основные свойства.
5. Z-преобразование (преобразование Лорана). Одностороннее и обратное преобразование, применение для решения разностных уравнений.
6. Математические модели DLTИ-систем в изображениях по Лорану.
7. Ряды и преобразование Фурье для числовых последовательностей. Периодические и произвольные последовательности, понятие ДВПФ.
8. Дискретное преобразование Фурье. Два подхода к построению ДПФ. Частотный спектр, обратное преобразование.
9. Частотные характеристики DLTИ-систем. Реакция системы на входную комплексную экспоненту. Амплитудная и фазовая частотная характеристика.
10. Анализ устойчивости DLTИ-систем. Понятие устойчивости и асимптотической устойчивости по Ляпунову решений систем разностных уравнений.
11. Анализ устойчивости DLTИ-систем. Критерии устойчивости линейных стационарных цифровых систем. Примеры.
12. Качество функционирования цифровых систем. Настраиваемые элементы. Классические функционалы качества.
13. Качество функционирования цифровых систем. Функционалы в виде норм выходных сигналов и передаточных матриц.
14. Основы оптимизационного подхода к синтезу цифровых систем. Роль необходимых условий экстремума.



15. Метод параметрического синтеза с заданием допустимого динамического коридора.
16. Модальный параметрический синтез цифровых систем с обратной связью.
17. Метод квадратичной оптимизации DLTИ-систем с обратной связью.

Примерные индивидуальные заданий, которые следует выполнить с использованием среды MATLAB.

**Задание №1.** Сгенерировать сигнал дискретного времени по заданной формуле для построения отсчетов и построить графическое отображение соответствующей конечной последовательности. Сформировать сдвинутый единичный скачок на произвольном отрезке дискретного времени задавая его в программе. Построить график полученной последовательности.

**Задание №2.** Сформировать конечную импульсную характеристику DLTИ системы в виде заданной последовательности. Для применения формулы свертки построить две вспомогательные последовательности: отраженную и сдвинутую. Графически отобразить этих последовательности, используя функцию subplot.

**Задание №3.** Найти реакцию DLTИ системы на входной сигнал, заданный на определенном отрезке дискретного времени с отсчетами, вычисляемыми по заданной формуле. Для построения искомой реакции воспользоваться функцией conv, позволяющей формировать свертку двух конечных последовательностей. В качестве импульсной характеристики системы принять последовательность, заданную для определенных моментов дискретного времени.

**Задание №4.** Найти реакцию DLTИ системы, используя входной сигнал и импульсную характеристику из предшествующего примера, с помощью стандартной функции lsim из пакета прикладных программ CST системы MATLAB. Выполнить аналогичное построение с помощью функции filter из пакета DSP-tools.

**Задание №5.** Сформировать компьютерные модели в среде MATLAB в виде ss, tf и zpk объектов для DLTИ систем, заданных системами разностных уравнений в рекурсивной форме. Преобразовать ss-объект к tf форме, tf-объект к ss форме и zpk-объект к ss форме. Для последнего ss-объекта найти собственные значения и сравнить их с полюсами исходного zpk-объекта. Сгенерировать случайную ss SISO-модель устойчивого объекта в дискретном времени и найти ее передаточную функцию.

**Задание №6.** Сформировать в среде MATLAB ss-объект в соответствии с заданными уравнениями. Найти передаточную функцию объекта. Выполнить линейное преобразование вектора состояния с помощью невырожденной матрицы и создать преобразованный ss-объект. Найти его передаточную функцию и сравнить с передаточной функцией первого объекта. Построить графики импульсных характеристик для обоих объектов с помощью функций impulse (CST) и impz (DSPT).

### **3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса используется анкета-отзыв, установленная локальными актами СПбГУ.

### **3.2. Кадровое обеспечение**

### **3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К преподаванию привлекаются преподаватели, имеющие ученую степень, а также главные и ведущие специалисты в этой области. Допускается проведение занятий обучающимися в аспирантуре (под руководством научного руководителя) для прохождения педагогической практики.

### **3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Не требуется.

## **3.3. Материально-техническое обеспечение**

### **3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Компьютерный класс с количеством рабочих мест, соответствующим количеству обучающихся с учетом рабочего места преподавателя, мультимедийный проектор, доска.

### **3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Универсальные компьютеры, объединенные в локальную сеть, мультимедийное оборудование (проектор, экран). Системное программное обеспечение общего назначения (MS Windows любой современной версии).

### **3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Отсутствуют.

### **3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Математическая интегрированная среда MATLAB версии не ниже 7.0.

### **3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Не требуются.

## **3.4. Информационное обеспечение**

### **3.4.1 Список обязательной литературы**

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов: учебник / ред. А. Б. Сергиенко; пер. с англ. С. А. Кулешов. – 2-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2009. – 856 с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
3. Абрамов Е. С., В. М. Гришкин. Математические методы цифровой обработки сигналов: учебное пособие. – СПб.: СОЛО, 2007. – 123 с.
4. Веремей Е. И. Линейные системы с обратной связью: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 448 с.

### **3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде Matlab: Учеб. курс. – СПб.: Питер, 2000. – 432 с.
2. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
3. Медведев В.С., Потёмкин В.Г. Control System Toolbox. MATLAB 5 для студентов. – М., "Диалог-МИФИ", 1997. – 287 с.
4. MATLAB Primer. – The MathWorks, Inc. – 2018. – 200 p. URL: [https://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/getstart.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/getstart.pdf)
5. Simulink User's Guide. – The MathWorks, Inc. –2018. – 4212 p. URL:

[https://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/simulink/sl\\_using.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simulink/sl_using.pdf)

### **3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1. Электронное учебное пособие: Веремей Е. И., Еремеев В. В., Сотникова М. В. Пособие Model Predictive Control Toolbox.

URL: <http://matlab.exponenta.ru/modelpredict/book1/index.php>

## **Раздел 4. Разработчики программы**

Веремей Евгений Игоревич Кафедра компьютерных технологий и систем  
профессор e.veremey@spbu.ru