



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВА-
ТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА»**

УТВЕРЖДАЮ



Ректор

Ю.Ю. Михальческий

2024 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Нелинейные модели

Направление подготовки
01.03.04 Прикладная математика

Направленность программы (профиль)
Математическое и программное обеспечение систем управления

Квалификация выпускника
бакалавр

Форма обучения
очная

Санкт-Петербург
2024

1 Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Нелинейные модели» является приобретение обучающимися теоретических основ построения математических моделей нелинейных процессов, а также формирование необходимых знаний, умений, навыков и компетенций для успешной профессиональной деятельности выпускника в области изучения и применения нелинейных моделей и процессов в решении прикладных задач.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование у обучающихся знаний о современных концепциях математических моделей нелинейных процессов;
- приобретение обучающимися умений применять и рассчитывать нелинейные модели для решения поставленной задачи на основании имеющихся теоретических знаний;
- овладение обучающимися навыками применения и программирования нелинейных моделей в профессиональной деятельности.

Дисциплина обеспечивает подготовку обучающегося к решению задач профессиональной деятельности научно-исследовательского типа.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Нелинейные модели» представляет собой дисциплину, относящуюся к Части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина «Нелинейные модели» базируется на результатах обучения, полученных при изучении дисциплин «Математическое моделирование с применением прикладных математических пакетов», «Проектирование и разработка автоматизированных систем управления для гражданской авиации», «Автоматизированные системы управления воздушным движением».

Дисциплина «Нелинейные модели» является обеспечивающей для Подготовки к сдаче и сдаче государственного экзамена.

Дисциплина «Нелинейные модели» изучается в 7 и 8 семестрах.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс освоения дисциплины «Нелинейные модели» направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции/ индикатора	Результат обучения: наименование компетенции, индикатора компетенции
--------------------------------	---

ПК-1	Способен планировать и осуществлять вычислительные эксперименты, анализировать и интерпретировать полученные
Код компетенции/ индикатора	Результат обучения: наименование компетенции, индикатора компетенции
	результаты
ИД1пк1	Владеет навыками планирования и осуществления вычислительных экспериментов в различных сферах профессиональной деятельности

Планируемые результаты изучения дисциплины:

Знать:

- - основные принципы конформных отображений, постановку стационарной, предельной и нестационарной задачи, алгоритмы построения нелинейной модели и способы верификации полученных данных, символы порядка, основные принципы и формулы разложений.

Уметь:

- - моделировать стационарные и нестационарные процессы, применять методы конформных отображений, оценивать погрешность полученных данных, применять разложения по параметру при построении нелинейных моделей;
- - применять численные методы к описанию нелинейных процессов в прикладных задачах, задавать и решать разложения, проводить анализ полученных данных.

Владеть:

- - навыками выбора оптимального метода теории функций комплексного переменного, численных методов и теории возмущений для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности;
- - навыками применения соответствующих методов к решению конкретных задач, возникающих в профессиональной деятельности.

4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 академических часов.

Наименование	Всего часов	Семестр	
		7	8
Общая трудоемкость дисциплины	288	108	180
Контактная работа:	92,8	42,3	50,5
лекции	52	28	24
практические занятия	38	14	24

семинары	-	-	-
лабораторные работы	-	-	-
курсовой проект (работа)	-	-	
Самостоятельная работа студента	153	57	96
Промежуточная аттестация	45	9	36
контактная работа	2,8	0,3	2,5
самостоятельная работа по подготовке к зачёту (7 семестр), экзамену (8 семестр)	42,2	8,7	33,5

5 Содержание дисциплины

5.1 Соотнесения тем (разделов) дисциплины и формируемых компетенций

Темы (разделы) дисциплины	Количество часов	Компетенции			
		ОПК - 1	ПК - 1	Образовательные технологии	Оценочные средства
Тема 1. Введение в моделирование нестационарных процессов	46	+	+	ВК, Л, ПЗ, СРС	УО, ИЗ, СЗ
Тема 2. Стационарные процессы формообразования	53	+	+	Л, ПЗ, СРС	УО, ИЗ, СЗ
Тема 3. Моделирование нестационарных процессов	48	+	+	Л, ПЗ, ЛР, СРС	УО, ИЗ, СЗ
Тема 4. Основы теории возмущений	48	+	+	Л, ПЗ, СРС	УО, ИЗ, СЗ
Тема 5. Методы теории возмущений	48	+	+	Л, ПЗ, ЛР, СРС	УО, ИЗ, СЗ
Всего по дисциплине	243				
Промежуточная аттестация	45				
Итого по дисциплине	288				

Сокращения: Л – лекция, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа, СРС – самостоятельная работа студента, ВК – входной контроль, УО – устный опрос, ИЗ – индивидуальные задания, СЗ – ситуационная задача.

5.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

Наименование темы (раздела) дисциплины	Л	ПЗ	С	ЛР	СРС	КР	Всего часов
7 семестр							

Тема 1. Введение в моделирование нестационарных процессов	14	6			26		46
Тема 2. Стационарные процессы формообразования	14	8			31		53
Всего за семестр 7	28	14			57		99
Промежуточная аттестация							9
Итого за семестр 7							108
8 семестр							
Наименование темы (раздела) дисциплины	Л	ПЗ	С	ЛР	СРС	КР	Всего часов
Тема 3. Моделирование нестационарных процессов	8	8			32		48
Тема 4. Основы теории возмущений	8	8			32		48
Тема 5. Методы теории возмущений	8	8			32		48
Всего за семестр 8	24	24			96		144
Промежуточная аттестация							36
Итого за семестр 8							180
Итого по дисциплине							288

Сокращения: Л– лекция, ПЗ – практическое занятие, С – семинар, СРС – самостоятельная работа студента, КР – курсовая работа, ЛР – лабораторная работа.

5.3 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в моделирование нестационарных процессов

Анализ подходов к построению интерполяционных и экстраполяционных моделей. Экстраполяция при известном порядке аппроксимации. Оценка погрешности интерполяции и экстраполяции. Численная фильтрация результатов. Обзор нестационарных задач, решенных ранее и анализ недостатков известных методов.

Методы теории функций комплексного переменного. Конформные отображения элементарных функций. Способы обхода особенностей с использованием конформных отображений. Ряды Тейлора и Лорана в конформных отображениях. Комплексный потенциал. Условия Коши-Римана. Условие потенциальности. Условие соленоидальности. Линии тока, эквипотенциальность.

Тема 2. Стационарные процессы формообразования как предельный случай нестационарности

Постановка стационарной и предельно-стационарной задач. Условие стационарности. Условие предельного формообразования. Квазистационарная постановка задачи. Стационарная обработка криволинейным ЭИ. Метод годографа. Стационарная ЭХО плоским ЭИ с прямолинейным выступом. Предельная ЭХО плоским ЭИ с прямолинейным выступом. Моделирование процесса стационарной электрохимической обработки плоским ЭИ с полукруглым выступом. Разработка метода и построение приближенных моделей формообразования. Способы оценки и верификации интерполяционной модели.

Тема 3. Моделирование нестационарных процессов

Физическая постановка задачи. Математическая модель. Постановка плоской нестационарной задачи. Описание границы области составной функцией. Разработка численно-аналитического метода решения нестационарной задачи. Восстановление границы области при помощи интеграла Шварца и частных производных. Шаг по времени методом предиктор-корректор. Описание алгоритмов и комплекса программ численного решения.

Тема 4. Основы теории возмущений

Анализ размерностей. Функции сравнения (калибровочные функции). Символы порядка. Разложения по степеням параметра или независимой переменной. Асимптотические ряды. Асимптотические разложения и последовательности. Единственность асимптотических разложений. Сравнение сходящихся и асимптотических рядов. Простейшие действия над асимптотическими разложениями. Неравномерные разложения. Источники неравномерности.

Тема 5. Методы теории возмущений

Бесконечные области. Уравнение Дюффинга. Малый параметр при старшей производной. Прямые разложения типа Пуанкаре. Методика Линдштедта-Пуанкаре. Метод перенормировки. Метод многих масштабов. Метод Прандтля. Внешнее и внутреннее разложения. Высшие приближения и усовершенствованные процедуры сращивания. Метод составных разложений.

5.4 Практические занятия (семинары)

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (часы)
-----------------------	---	---------------------

7 семестр		
1	Практическое занятие 1. Оценка погрешности.	2
	Практическое занятие 2-3. Численная фильтрация результатов	4
	Практическое занятие 4-5. Конформные отображения элементарных функций.	4
	Практическое занятие 6-7. Ряды Тейлора и Лорана в конформных отображениях.	4
2	Практическое занятие 8. Условие стационарного и предельного формообразования.	2
	Практическое занятие 9. Метод годографа.	2
	Практическое занятие 10. Обработка криволинейным ЭИ	2
	Практическое занятие 11. Обработка плоским ЭИ с прямолинейным выступом	2
	Практическое занятие 12. Обработка плоским ЭИ с полукруглым выступом	2
	Практическое занятие 13. Построение приближенных моделей	2
	Практическое занятие 14. Оценка и верификация интерполяционной модели	2
Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (часы)
Всего за семестр 7		28
8 семестр		
3	Практическое занятие 15-18. Восстановление границы области при помощи интеграла Шварца	8
4	Практическое занятие 19-22. Функции сравнения (калибровочные функции).	8
5	Практическое занятие 23-26. Разложения по степеням параметра или независимой переменной.	8
Всего за семестр 8		24
Итого по дисциплине		52

5.5 Лабораторный практикум

Лабораторный практикум по дисциплине не предусмотрен учебным планом.

5.6 Самостоятельная работа

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость (часы)
7 семестр		

1	1. Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Введение в моделирование нестационарных процессов» (конспект лекций и рекомендуемая литература [1, 2, 4, 5]). 2. Выполнение индивидуальных заданий.	26
2	1. Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Стационарные процессы формообразования» (конспект лекций и рекомендуемая литература [1, 2, 4, 5, 6, 7]). 2. Выполнение индивидуальных заданий.	31
Всего за семестр 7		57
8 семестр		
3	1 Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Моделирование нестационарных процессов» (конспект лекций и рекомендуемая литература [1, 2, 4, 5, 10]). 2. Выполнение индивидуальных заданий.	32
4	1. Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Основы теории возмущений» (конспект лекций и рекомендуемая литература [3, 4]). 2. Выполнение индивидуальных заданий.	32
5	1. Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Методы теории возмущений» (конспект лекций и рекомендуемая литература [3, 4, 6, 8, 9]). 2. Выполнение индивидуальных заданий.	32
Всего за семестр 8		96
Итого по дисциплине		153

5.7 Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) учебным планом не предусмотрены.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Муксимова, Р.Р., Житников, В.П. **Моделирование нестационарных процессов (на примере задач Хеле-Шоу)** [Текст] / Р.Р. Муксимова. - СПб.: СПбГУГА, 2015. – 74 с. Количество экземпляров: 54.

2. **Методические указания к решению задач на конформные отображения** [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / составители А. Л. Калашников, В. Н. Филиппов. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. — 56 с. — Режим доступа : <https://e.lanbook.com/book/152798> (дата обращения: 20.01.2021)

3. Лобанов, А. И. **Математическое моделирование нелинейных процессов** [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А. И. Лобанов, И. Б.

Петров. — М. : Издательство Юрайт, 2020. — 255 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8897-0. — Режим доступа :

<https://urait.ru/bcode/452200> (дата обращения: 20.01.2021)

4. Волков, Е.А. **Численные методы** [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Волков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2008. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/54> (дата обращения: 20.01.2021)

б) дополнительная литература:

5. Привалов, И. И. **Введение в теорию функций комплексного переменного** [Электронный ресурс] : учебник для вузов / И. И. Привалов.

— М. : Издательство Юрайт, 2018. — 402 с. — (Серия : Авторский учебник). — ISBN 978-5-534-01450-1. — Режим доступа : www.biblionline.ru/book/BD124E80-E07F-4A32-A790-6A689990382F (дата обращения: 20.01.2021)

в) перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

6 **Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ»** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/> свободный (дата обращения: 20.01.2021)

7 **Единое окно доступа к образовательным ресурсам** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru> свободный (дата обращения: 20.01.2021)

г) программное обеспечение (лицензионное), базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

8 **Российская национальная библиотека** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nlr.ru/> свободный (дата обращения: 20.01.2021)

9 **Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU»** [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://elibrary.ru/> свободный (дата обращения: 20.01.2021)

10 **Электронно-библиотечная система издательства «Лань»** [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://e.lanbook.com> свободный (дата обращения: 20.01.2021)

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерные классы кафедры № 8 с доступом в Интернет, переносной проектор.

Информационно-справочные и материальные ресурсы библиотеки СПбГУ ГА.

Лицензионное программное обеспечение: Microsoft Office, Microsoft Visual Studio Community.

8 Образовательные и информационные технологии

В рамках изучения дисциплины «Нелинейные модели» предполагается использовать следующие образовательные технологии: входной контроль, лекции, практические занятия, лабораторная работа, самостоятельная работа студента.

Входной контроль проводится преподавателем в начале изучения дисциплины с целью коррекции процесса усвоения студентами дидактических единиц. Он осуществляется по вопросам из курсов дисциплин, на которых базируется дисциплина «Нелинейные модели» (п.2).

Лекция как образовательная технология представляет собой устное, систематически последовательное изложение преподавателем учебного материала с целью организации целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению знаниями, умениями и навыками читаемой дисциплины. В лекции делается акцент на реализацию главных идей и направлений в изучении дисциплины, дается установка на последующую самостоятельную работу.

По дисциплине «Нелинейные модели» планируется проведение как информационных, так и проблемных лекций. Информационные лекции направлены на систематизированное изложение накопленных и актуальных научных знаний. Проблемные лекции активизируют интеллектуальный потенциал и мыслительную деятельность студентов, которые приобретают умение вести дискуссию. В ходе проблемной лекции преподаватель включает в процесс изложения материала серию проблемных вопросов. Как правило, это сложные, ключевые для темы вопросы. Студенты приглашаются для размышлений и поиску ответов на них по мере их постановки.

Практическое занятие обеспечивает связь теории и практики, содействует выработке у обучающихся умений и навыков применения знаний, полученных на лекции и в ходе самостоятельной работы. Практические занятия как образовательная технология помогают студентам систематизировать, закрепить и углубить знания теоретического характера.

Самостоятельная работа студента проявляется в систематизации, планировании, контроле и регулировании его учебно-профессиональной деятельности, а также собственные познавательно-мыслительные действия без непосредственной помощи и руководства со стороны преподавателя. Основной целью самостоятельной работы студента является формирование навыка самостоятельного приобретения им знаний по некоторым несложным вопросам теоретического курса, закрепление и углубление полученных

знаний, умений и навыков во время лекций и практических занятий. Самостоятельная работа подразумевает выполнение студентом поиска, анализа информации, проработку на этой основе учебного материала подготовку индивидуальным заданиям.

В рамках изучения дисциплины «Нелинейные модели» предполагается использовать в качестве информационных технологий среду MS Office, интегрированную среду программирования Microsoft Visual Studio Community.

9 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Фонд оценочных средств дисциплины «Нелинейные модели» представляет собой комплекс методических и контрольных измерительных материалов, предназначенных для определения качества результатов обучения и уровня сформированности компетенций обучающихся в ходе освоения данной дисциплины. В свою очередь, задачами использования фонда оценочных средств являются осуществление как текущего контроля успеваемости студентов, так и промежуточной аттестации в форме зачета (7 семестр), экзамена (8 семестр).

Фонд оценочных средств дисциплины «Нелинейные модели» для текущего контроля включает: устные опросы, ситуационные задачи и индивидуальные задания.

Устный опрос проводится на практических занятиях в течение 10 минут с целью контроля усвоения теоретического материала, излагаемого на лекции. Перечень вопросов определяется уровнем подготовки учебной группы, а также индивидуальными особенностями обучающихся.

Индивидуальные задания и ситуационные задачи носят практикоориентированный характер, используются в рамках практической подготовки с целью оценки формирования, закрепления, развития практических навыков и компетенций по профилю образовательной программы.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде зачёта в 7 семестре и экзамена в 8 семестре.

Зачет позволяет определить уровень освоения обучающимся компетенций (п. 9.5) за один семестр (7 семестр) изучения данной дисциплины. Зачет предполагает устный ответ на 1 теоретический вопрос, а также решение ситуационной задачи.

Экзамен позволяет оценить уровень освоения студентом компетенций за весь период изучения дисциплины. Экзамен предполагает устные ответы на 2

теоретических вопроса из перечня вопросов, вынесенных на промежуточную аттестацию, а также решение ситуационной задачи.

9.1 Балльно-рейтинговая система оценки текущего контроля успеваемости и знаний и промежуточной аттестации студентов Не применяется.

9.2 Методические рекомендации по проведению процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций Устный опрос оценивается следующим образом:

«зачтено»: обучающийся дает ответ на поставленный вопрос по существу и правильно отвечает на уточняющие вопросы;

«не зачтено»: обучающийся отказывается отвечать на поставленный вопрос, либо отвечает на него неверно и при формулировании дополнительных (вспомогательных) вопросов.

Решение ситуационных задач оценивается:

«зачтено»: обучающийся самостоятельно правильно решает задачу, дает обоснованную оценку по итогу решения;

«не зачтено»: обучающийся отказывается от выполнения задачи или не способен ее решить самостоятельно, а также с помощью преподавателя.

Индивидуальное задание:

«зачтено»: работа зачитывается в том случае, если задание выполнено полностью, в соответствии с поставленными требованиями и сделаны необходимые выводы;

«не зачтено»: работа не зачитывается в том случае, если обучающийся не выполнил задания, или результат выполнения задания не соответствует поставленным требованиям, а в заданиях и (или) ответах имеются существенные ошибки.

9.3 Темы курсовых работ (проектов) по дисциплине

Написание курсовых работ (проектов) учебным планом не предусмотрено.

9.4 Контрольные вопросы для проведения входного контроля остаточных знаний по обеспечивающим дисциплинам

1. Арифметические операции с комплексными числами. Вычислить сумму, произведение и частное комплексных чисел.
2. Вычисление $f(z) = z^n$.
3. Вычисление корня n -й степени из комплексного числа.

4. Разложить функцию $f(z) = \frac{1}{z^2} = z^{-2}$ в ряд

Лорана по степеням z .

5. Разложить функцию $f(z) = z^3 \cdot e^{1/z}$ в окрестности точки $z_0 = 0$.

6. Найти общее решение уравнений

$$\frac{\partial^2 u(x; y)}{\partial x^2} = 0$$

7. ,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} = 2 \frac{\partial u}{\partial x}.$$

8.

9. Решить линейное неоднородное уравнение в частных

производных первого порядка

$$y \frac{\partial z}{\partial x} + x \frac{\partial z}{\partial y} = x - y.$$

10.

11. Решить краевую задачу

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad u|_{\partial D} = x^2 - y^2 + \frac{1}{4}y,$$

12.

13. Где D - круг

$$x^2 + y^2 \leq 4, \quad 14. ,$$

15. ∂D - его граница.

16. Вычислить двойной интеграл от функции $f(x, y) = 1 + x + y$ по области D , ограниченной линиями: $y = -x$, $x = y$, $y = 2$.

17. Изменить порядок интегрирования в интеграле $\int_{-2}^2 dx \int_{x^2}^4 f(x, y) dy$.

18. Перейдя в полярную систему координат, вычислить двойной интеграл $\iint_D \frac{dx dy}{\sqrt{x^2 + y^2}}$, где D круговое кольцо, заключенное между окружностями $x^2 + y^2 = 1$ и $x^2 + y^2 = 4$.

9.5 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
1 этап		

		<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - называет основные принципы конформных отображений, принцип симметрии, формулу разложения по координате, символы порядка, неравномерные разложения, метод растянутых параметров - перечисляет методики выбора математического аппарата, формализации данных; <i>Уметь:</i> - моделирует стационарные и нестационарные процессы методами конформных отображений, оценивать погрешность полученных данных, оценивать модель с помощью символов порядка, применять разложения по параметру при построении нелинейных моделей, - демонстрирует навыки применения численных методов к
Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
		<p>описанию нелинейных процессов в прикладных задачах;</p> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирает наиболее удобный метод теории функций комплексного переменного, численных методов и теории возмущений для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности; - перечисляет основные понятия, связанные с функциями комплексного переменного, необходимые для решения задач теории возмущений и численных методов
2 этап		

		<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - формулирует постановку стационарной, предельной и нестационарной задачи, способы задания краевых условий, плоскость комплексного потенциала, основные принципы разложения по малому параметру, асимптотические разложения, способы обхода неравномерностей, составные разложения, процедуры сращивания - анализирует алгоритмы построения нелинейной модели и способы верификации полученных данных; <i>Уметь:</i> - применяет метод годографа, ряды Лорана, методы построения приближенных моделей, численную фильтрацию данных для уменьшения погрешности, обнаруживать неравномерности и применять методы их устранения, задавать и решать составные разложения - оценивает адекватность модели и проводит анализ полученных данных, принимает решение на основе полученных результатов; <i>Владеть:</i> - применяет соответствующие методы к решению конкретных задач, возникающих в профессиональной деятельности - применяет оптимальные методы функций комплексного переменного для решения задач теории возмущений и численных методов
--	--	---

Шкала оценивания при проведении промежуточной аттестации

«Отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания по рассматриваемой компетенции и умение уверенно применять их на практике при решении задач, свободное и правильное обоснование принятых решений. Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами. Обучающийся самостоятельно правильно решает ситуационную задачу, дает обоснованную оценку итогам решения.

«Хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задачи некоторые неточности, хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи, но не всегда делает это самостоятельно без помощи преподавателя. Обучающийся решает ситуационную задачу верно, но при помощи преподавателя.

«Удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы в рамках заданной компетенции,

необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации. Отвечает только на конкретный вопрос, соединяет знания из разных разделов курса только при наводящих вопросах преподавателя. Ситуационная задача решена не полностью, или содержатся незначительные ошибки в расчетах.

«Неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины в рамках компетенций, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач. Не раскрыты глубина и полнота при ответах. Ситуационная задача не решена даже при помощи преподавателя.

9.6 Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Типовые задания для индивидуальных заданий (7 семестр)

Примеры заданий к индивидуальному заданию №1

- 1) Провести отображение верхнего полукруга единичной окружности при помощи функции Жуковского.
- 2) Провести отображение сектора кольца при помощи функции $\ln z$.
- 3) Отобразить треугольник на полуплоскость при помощи интеграла Шварца-Кристоффеля.

Примеры заданий к индивидуальному заданию №2

- 1) Построить плоскость годографа для стационарной электрохимической обработка плоским ЭИ с прямолинейным выступом.

Примеры заданий к индивидуальному заданию №3

- 1) Реализовать метод численной фильтрации для результатов численного интегрирования, полученных на разном количестве точек.
- 2) Реализовать восстановление границы области при помощи интеграла Шварца и частных производных.
- 3) Реализовать оценку погрешности интерполяционной модели по полной и разреженной базе.

Типовые задания для индивидуальных заданий (8 семестр)

Примеры заданий к индивидуальному заданию №1

- 1) Определить порядок выражений при $\varepsilon \rightarrow 0$
 $\sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon)}, 4\pi^2\varepsilon, \ln \left[1 + \frac{\ln(1+2\varepsilon)}{\varepsilon(1-2\varepsilon)} \right]$.
- 2) Определить порядок выражений при $\varepsilon \rightarrow 0$
 $1000\varepsilon^{1/2}, \ln(1+\varepsilon), \frac{\varepsilon^{3/2}}{1+\sin\varepsilon}$.
- 3) Расположить калибровочные функции по возрастанию порядка
 $\varepsilon^2, \varepsilon^{1/2}, \ln(\ln \varepsilon^{-1}), 1, \varepsilon^{1/2} \ln \varepsilon^{-1}, \varepsilon \ln \varepsilon^{-1}$.
- 4) Расположить калибровочные функции по убыванию порядка
 $e^{-1/\varepsilon}, \ln \varepsilon^{-1}, \varepsilon^{3/2}, \varepsilon, \varepsilon^2 \ln \varepsilon^{-1}$.

Примеры заданий к индивидуальному заданию №2

- 1) Разложить в 3-членное разложение $x = 1 + \varepsilon x^2, \varepsilon \ll 1$. Сверить с точным решением при $\varepsilon = 0,1$.
- 2) Разложить в 3-членное разложение $\sqrt{1 - \frac{1}{2}\varepsilon^2 t - \frac{1}{8}\varepsilon^4 t}, \varepsilon \ll 1$.
- 3) Разложить в 3-членное разложение $(1 + \varepsilon\omega_1 + \varepsilon^2\omega_2)^{-2}, \varepsilon \ll 1$.

Примеры заданий к индивидуальному заданию №3

- 1) Разложить в 3-членное разложение $y' + y = \varepsilon y^2, y(0) = 1, \varepsilon \ll 1$.
- 2) Разложить в 3-членное разложение $(x-1)(x-\tau) + \varepsilon = 0, \varepsilon \ll 1$.

Перечень типовых вопросов к зачету для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (7 семестр)

1. Экстраполяция при известном порядке аппроксимации
2. Оценка погрешности интерполяции многочленом большей степени. Изменение погрешности результатов с увеличением степени интерполяционного многочлена.
3. Математическая модель погрешности при численной фильтрации результатов.
4. Аналитическое и численное решение нестационарных задач. Квазистационарное приближение.
5. Свойства конформных отображений. Принцип симметрии.
6. Отображения функциями $z^n, \ln z, e^z$.

7. Дробно-линейное отображение. Его свойства.
8. Функция Жуковского. Верхний и нижний полукруг. Верхняя и нижняя полуплоскость.
9. Отображение с помощью интеграла Шварца-Кристоффеля.
10. Плоскость комплексного потенциала. Условия Коши-Римана. Форма области в виде вертикальной полосы на плоскости комплексного потенциала.
11. Постановка стационарной задачи. Косинусное приближение, условие стационарности.
12. Постановка предельно-стационарной задачи. Модель «цилиндрического конденсатора». Условие предельного формообразования.
13. Стационарная обработка криволинейным электрод-инструментом. Физическая плоскость, годограф напряженности. Плоскость комплексного потенциала.
14. Стационарная обработка криволинейным электроинструментом. Параметрические плоскости, конформные отображения.
15. Стационарная обработка криволинейным электроинструментом. Ряды Лорана.
16. Стационарная электрохимическая обработка плоским ЭИ с прямолинейным выступом. Физическая плоскость, годограф напряженности. Плоскость комплексного потенциала.
17. Стационарная электрохимическая обработка плоским ЭИ с прямолинейным выступом. Параметрические плоскости, конформные отображения.
18. Стационарная электрохимическая обработка плоским ЭИ с прямолинейным выступом.
19. Предельная ЭХО плоским ЭИ с прямолинейным выступом
20. Моделирование процесса стационарной электрохимической обработки плоским ЭИ с полукруглым выступом.
21. Построение приближенной модели стационарного формообразования плоским ЭИ с выступом для разных радиусов кривизны.
22. Построение приближенной модели предельного формообразования плоским ЭИ с выступом для разных радиусов кривизны.
23. Методы оценки погрешности приближенных моделей формообразования.

24. Задача Хеле-Шоу. Допущения при построении модели нестационарного процесса ЭХО. Краевые условия.

25. Начальные условия плоской задачи нестационарного формообразования. Физическая постановка задачи. Зависимость выхода по току от плотности тока.

26. Закон Фарадея, описывающий процесс электрохимического растворения в дифференциальной форме. Переход к безразмерным величинам.

27. Математическая модель нестационарного формообразования. Функция $z(\chi, \tau)$.

28. Численно-аналитический метод решения нестационарной задачи. Плоскости χ и ξ .

29. Метод решения нестационарной задачи. Функции z_a и z_c . Интеграл Шварца.

30. Шаг по времени по методу предиктор-корректор. Передача данных внутри трехуровневой структуры комплекса программ.

Перечень типовых вопросов к экзамену для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (8 семестр)

1. Возмущения по параметру. Основная формула разложения, применимость.

2. Возмущения по параметру на примере уравнения $u = 1 + \varepsilon u^3$.

3. Возмущения по параметру на примере уравнения $\frac{d^2 u}{dt^2} + u = \varepsilon(1 - u^2) \frac{du}{dt}$.

4. Возмущения по координате для уравнения Бесселя $x \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{dy}{dx} + xy = 0$.

5. Возмущения по координате для уравнения $\frac{dy}{dx} + y = \frac{1}{x}$.

6. Символ порядка O большое, калибровочные функции, примеры.

7. Символ порядка o малое, калибровочные функции, примеры.

8. Асимптотические ряды.

9. Асимптотические разложения и последовательности.

10. Сходящийся и асимптотический ряды на примере уравнения Бесселя $x \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{dy}{dx} + xy = 0$.

11. Неравномерные разложения, источники неравномерности.
12. Бесконечные области на примере уравнения Дюффинга $\ddot{u} + u + \varepsilon u^3 = 0$, $u(0) = a$, $\ddot{u}(0) = 0$.
13. Малый параметр при старшей производной. Пример уравнения второго порядка $\varepsilon y'' + y' + y = 0$, $0 \leq x \leq 1$, $y(0) = a$, $y(1) = b$.
14. Метод растянутых координат. Метод Линдштедта. Метод Лайтхилла.
15. Метод растянутых параметров. Метод Линдштедта-Пуанкаре.
16. Метод составных разложений, виды процедур сращивания, применимость.
17. Сращивание асимптотических разложений. Метод Прандтля. Внешнее и внутреннее решения. Пример уравнения второго порядка $\varepsilon y'' + y' + y = 0$, $0 \leq x \leq 1$, $y(0) = a$, $y(1) = b$.
18. Усовершенствованная процедура сращивания, условие Ван Дайка. Пример уравнения второго порядка $\varepsilon y'' + y' + y = 0$, $0 \leq x \leq 1$, $y(0) = a$, $y(1) = b$.
19. Усовершенствованная процедура сращивания. Соответствие краевых условий внешнему и внутреннему решениям для уравнения $\varepsilon y'' + y' + y = 0$, $0 \leq x \leq 1$, $y(0) = a$, $y(1) = b$.
20. Усовершенствованная процедура сращивания. Соответствие краевых условий внешнему и внутреннему решениям для уравнения с переменными коэффициентами $\varepsilon y'' + a(x)y' + b(x)y = 0$, $y(0) = \alpha$, $y(1) = \beta$.

Типовая ситуационная задача к зачету для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (7 семестр)

Представьте, что вам нужно выполнить приведенное ниже задание. Проанализируйте задание, для решения данной задачи из методов, изученных в рамках данного курса, выберите оптимальный, обоснуйте выбор, выполните задание, объясните полученное решение.

Задание: Построить отображение области в форме полукольца с параметрической плоскости на полосу на плоскости комплексного потенциала.

Типовая ситуационная задача к экзамену для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (8 семестр)

Представьте, что вам нужно выполнить приведенное ниже задание. Проанализируйте задание, для решения данной задачи из методов, изученных в рамках данного курса, выберите оптимальный, обоснуйте выбор, выполните задание, объясните полученное решение.

Задание: Разложить в 3-членное разложение $\epsilon y' + xy = -1, \quad y(0) = 1, \quad \epsilon \ll 1$.

10 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Приступая к изучению дисциплины «Нелинейные модели», обучающемуся необходимо ознакомиться с тематическим планом занятий и списком рекомендованной литературы. Также ему следует уяснить, что уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях и практических занятиях. Также в этом процессе важное значение имеет самостоятельная работа, направленная на вовлечение обучающегося в самостоятельную познавательную деятельность.

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции, лабораторные работы и практические занятия. На первом занятии преподаватель осуществляет входной контроль по вопросам дисциплин, являющимися предшествующими для дисциплины «Нелинейные модели» (п. 2).

В ходе лекции преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия, а также соответствующие теоретические и практические проблемы, дает задания и рекомендации для практических занятий и лабораторных работ, а также указания по выполнению обучающимися самостоятельной работы.

Задачами лекций являются:

- ознакомление обучающихся с целями, задачами и структурой дисциплины «Нелинейные модели», ее местом в системе технических и математических наук, связями с другими дисциплинами;
- краткое, но по существу, изложение комплекса основных научных понятий, подходов, методов, принципов данной дисциплины;
- краткое изложение наиболее существенных положений, раскрытие особенно сложных, актуальных вопросов;
- определение перспективных направлений дальнейшего развития научного знания в области прикладной математики.

Темы лекций и рассматриваемые в ходе их вопросы приведены в п. 5.3.

Значимым фактором полноценной и плодотворной работы обучающегося на лекции является культура ведения конспекта. Принципиально неверным, но получившим в наше время достаточно широкое распространение, является отношение к лекции как к «диктанту», который обучающийся может аккуратно и дословно записать. Слушая лекцию, необходимо научиться выделять и фиксировать ее ключевые моменты, записывая их более четко и выделяя каким-либо способом из общего текста.

Полезно применять какую-либо удобную систему сокращений и условных обозначений. Применение такой системы поможет значительно ускорить процесс записи лекции. Рекомендуется в конспекте лекций оставлять свободные места, или поля, например, для того, чтобы была возможность записи необходимой информации при работе над материалами лекций.

При ведении конспекта лекции необходимо четко фиксировать рубрификацию материала – разграничение разделов, тем, вопросов, параграфов и т. п. Обязательно следует делать специальные пометки, например, в случаях, когда какое-либо определение, положение, вывод остались неясными, сомнительными. Иногда обучающийся не успевает записать важную информацию в конспект. Тогда необходимо сделать соответствующие пометки в тексте, чтобы не забыть, восполнить эту информацию в дальнейшем.

Качественно сделанный конспект лекций поможет обучающемуся в процессе самостоятельной работы и при подготовке к сдаче зачета (экзамена).

Практические занятия и лабораторные работы по дисциплине «Нелинейные модели» проводятся в соответствии с п. 5.4 и п. 5.5. Цели практических занятий: закрепить теоретические знания, полученные студентом на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы; приобрести начальные практические умения и навыки.

Темы практических занятий (лабораторных работ) заранее сообщаются обучающимся для того, чтобы они имели возможность подготовиться и проработать соответствующие теоретические вопросы дисциплины. В начале каждого практического занятия преподаватель кратко доводит до обучающихся цели и задачи занятия, обращая их внимание на наиболее сложные вопросы по изучаемой теме. Назначение практических занятий – закрепление, углубление и комплексное применение на практике теоретических знаний, выработка умений и навыков обучающихся в решении практических задач. Вместе с тем, на этих занятиях, осуществляется активное формирование и развитие навыков и качеств, необходимых для последующей профессиональной деятельности. Практические занятия проводятся по

наиболее сложным вопросам дисциплины и имеют целью углубленно изучить ее содержание, привить обучающимся навыки самостоятельного поиска и анализа информации, умение делать обоснованные выводы, аргументировано излагать и отстаивать свое мнение. Каждое практическое занятие заканчивается, как правило, кратким подведением итогов, указаниями преподавателя о последующей самостоятельной работе.

В современных условиях перед студентом стоит важная задача – научиться работать с массивами информации. Обучающимся необходимо развивать в себе способность и потребность использовать доступные информационные возможности и ресурсы для поиска нового знания и его распространения. Для достижения этой цели, в вузе организуется самостоятельная работа обучающихся. Кроме того, современное обучение предполагает, что существенную часть времени в освоении учебной дисциплины обучающийся проводит самостоятельно.

Завершающим этапом самостоятельной работы является подготовка к сдаче зачёта (7 семестр) и экзамена (8 семестр) по дисциплине, предполагающая интеграцию и систематизацию всех полученных при изучении учебной дисциплины знаний.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.03.04 «Прикладная математика».

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры №8 «Прикладной математики и информатики»

« 5 » апреля 2024 года, протокол № 6.

Разработчики:

Д.Т.Н., профессор

 В.А.Полянский

(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчиков)

И.о.заведующего кафедрой № 8 «Прикладной математики и информатики»

К.Т.Н., доцент

 Ю.В.Земсков

(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)

Программа согласована:

Руководитель ОПОП

Д.Т.Н., доцент

 Г.А.Костин

(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы руководителя ОПОП)

Программа рассмотрена и согласована на заседании Учебно-методического совета Университета « 17 » 04 2024 года, протокол № 7.