

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института-заместитель
директора ФАКТ**

М.А. Кудров

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Математические методы планирования и интерпретации эксперимента
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: Н.В. Григорьев, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 04.03.2025

Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые понятия и методы планирования и интерпретации эксперимента в рамках линейных и нелинейных регрессионных моделей. Задача интерпретации эксперимента формализуется как задача построения математической модели изучаемого явления на основе неточных экспериментальных данных (задача пассивной идентификации). Обосновываются достоинства и недостатки метода наименьших квадратов как одного из базовых средств решения этой задачи, а также задач оптимального цифрового дифференцирования и сглаживания измерительной информации – типовых в практике обработки экспериментальных данных. Помимо изложения основных результатов классического регрессионного анализа обсуждаются вопросы их обобщения, а также вопросы: обусловленности задачи регрессионного анализа, методов ее решения в случае плохой обусловленности; вопросы перебора и недобора факторов в регрессии, робастности оценок. Планирование эксперимента рассматривается как задача выбора числа и условий проведения измерений, необходимых и достаточных для оценки регрессионной модели изучаемого явления с требуемой точностью. В этой части курса, прежде всего, вводятся основные критерии планирования в их связи с критериями обусловленности информационных матриц и точностью оценок МНК. Рассматриваются теоремы эквивалентности, определяющие необходимые и достаточные условия оптимальности планов, типовые алгоритмы численных методов построения оптимального плана, в том числе, методы построения точных оптимальных планов.

Курс содержит в себе обсуждение базовых вопросов статистики, регрессионного анализа, математической теории планирования эксперимента, разбор задач, демонстрацию данных летных и численных экспериментов. Для успешного освоения курса слушателю необходимо знать курс линейной алгебры, владеть основами теории вероятности, математической статистики, математического анализа, численных методов решения задач оптимизации

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области анализа регрессионных экспериментов и планирования оптимальных регрессионных экспериментов, а также их приложений к задачам, возникающим при подготовке и обработке летного эксперимента.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области анализа и планирования оптимальных регрессионных экспериментов;
- обучение студентов методам и приемам построения оптимальных статистических оценок параметров методом наименьших квадратов (МНК) и его обобщениями на случай наличия ошибок в независимых переменных, плохой обусловленности системы нормальных уравнений, аномальных измерений, а также способам и численным методам построения оптимальных планов для регрессионных экспериментов;
- оказание помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль данной дисциплины в научных исследованиях;
- фундаментальные понятия, законы теории вероятности, математической статистики, математической теории планирования эксперимента;
- теоретические основы регрессионного анализа, достоинства и недостатки оценки МНК как статистики;
- знать необходимые и достаточные условия оптимальности планов.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты данной дисциплины;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- проводить регрессионный анализ эксперимента;
- опознавать проблемные случаи применения классического регрессионного анализа;
- планировать оптимальное проведение регрессионного эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- численными методами регрессионного анализа эксперимента;
- приемами построения модифицированных статистик в проблемных случаях применения классического регрессионного анализа;
- способами проверки планов на оптимальность;
- численными методами построения оптимальных непрерывных планов, точных планов, округления планов.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Модель классической линейной регрессии.	5			10
2	Оптимальность оценки МНК.	5			10
3	Модель нормальной линейной регрессии, построение доверительных областей и проверка гипотез.	5			10
4	Перебор и недобор факторов в регрессии. Обобщения МНК на случай аномальных измерений, плохой обусловленности матрицы плана, смещенные оценки.	5			10
5	Приложения МНК в обработке данных летного эксперимента: оптимальная аппроксимация эмпирических зависимостей; оптимальное сглаживание, дифференцирование временных рядов; идентификация аэродинамических характеристик.	5			10
6	Нелинейная регрессия.	5			10
7	Планирование эксперимента для линейных регрессионных моделей.	5			5
8	Свойства информационных матриц.	5			5
9	Теоремы эквивалентности.	5			5
10	Численные методы построения оптимальных непрерывных и точных планов.	5			5
11	Планы первого порядка.	5			5
12	Планирование эксперимента для нелинейных регрессионных моделей.	5			5
Итого часов		60			90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Модель классической линейной регрессии.

Задача интерпретации эксперимента. Проблемы построения модели эксперимента. Примеры из практики летных исследований. Модель регрессии. Модель классической линейной регрессии. Постановка задачи регрессионного анализа. Пример регрессионной задачи (исходные данные, решение, графики). Анализ остатков, оценка дисперсии помех измерений.

2. Оптимальность оценки МНК.

Оценка МНК линейных комбинаций параметров регрессии, ее свойства. Теорема Гаусса-Маркова. Классическое условие сильной регулярности и его избыточность для обоснования состоятельности оценки МНК. Условия состоятельности и асимптотической нормальности оценки МНК.

3. Модель нормальной линейной регрессии, построение доверительных областей и проверка гипотез.

Модель нормальной линейной регрессии. Связь оценок МНК и ММП. Эффективность оценок МНК в классе несмещенных оценок. Основная теорема теории нормальной линейной регрессии и ее следствия. Построение доверительных интервалов для параметров линейной регрессии, оценки регрессии в точке, дисперсии помех измерений, доверительных областей для линейных комбинаций параметров регрессии, аппроксимация доверительных областей. Линейная гипотеза нормальной регрессии. Ее применение при выборе модели эксперимента. Развитие примера регрессионной задачи по каждому из вышеуказанных подразделов (решения, графики).

4. Перебор и недобор факторов в регрессии. Обобщения МНК на случай аномальных измерений, плохой обусловленности матрицы плана, смещенные оценки.

Обобщенный МНК. Свойства оценки обобщенного МНК- сведение к классическому случаю. Понятие о робастном оценивании. Робастные оценки. Алгоритм построения оценки Хубера. Пример построения оценки Хубера (решения, графики). Плохая обусловленность СЛУ и ее следствия. Примеры появления плохой обусловленности задачи идентификации АДХ в летных испытаниях. Меры обусловленности, связь с длиной оценки. Ридж-оценка и ее свойства. Алгоритм построения ридж-оценок (модель движения ЛА, модель регрессии, ридж-оценка параметров, ее преимущества перед оценкой МНК, графики) Перебор факторов, последствия. Оценка потери точности. Недобор факторов. Последствия, потеря точности. Роль оценки дисперсии помех измерений при подборе значимых факторов.

5. Приложения МНК в обработке данных летного эксперимента: оптимальная аппроксимация эмпирических зависимостей; оптимальное сглаживание, дифференцирование временных рядов; идентификация аэродинамических характеристик.

Понятие о скользящем интервале. Классические принципы построения оптимальных оценок сигнала и его производной в центральной точке скользящего интервала и их связь с оценкой МНК. Оптимальный выбор параметров алгоритмов цифрового сглаживания и дифференцирования. Приложения регрессионного анализа к задаче идентификации аэродинамических характеристик продольного канала ЛА.

6. Нелинейная регрессия.

Модель нелинейной регрессии. Основные отличия от линейного случая. Существование и свойства оценки МНК. Метод Ньютона-Гаусса.

Семестр: 2 (Весенний)

7. Планирование эксперимента для линейных регрессионных моделей.

Постановка задачи планирования эксперимента по оцениванию параметров линейной регрессионной модели. Примеры из области подготовки летных экспериментов. Дискретные и непрерывные планы. Информационная и дисперсионная матрица плана. Линейная комбинация планов.

8. Свойства информационных матриц.

Свойства информационных матриц. Теорема Каратеодори и лемма о минимальном количестве точек в оптимальном плане. Критерии оптимальности и их общие свойства. Свойства критериев D , G , L , критерия для экстраполяции в точку.

9. Теоремы эквивалентности.

Исходные данные из линейной алгебры, функционального анализа, матричного дифференцирования, выпуклого анализа. Теорема о необходимых и достаточных условиях - оптимальности плана. Теорема Кифера-Вольфовица. Процедура построения D-оптимального плана. Пример (модель, итерации процедуры, графики). Теорема о необходимых и достаточных условиях Ф- оптимальности плана. Необходимые и достаточные условия L (A) – оптимальности, оптимальности для экстраполяции в точку. Примеры оптимальных планов.

10. Численные методы построения оптимальных непрерывных и точных планов.

Алгоритм Федорова-Уинна и его обобщения. Лемма о критерии прекращения итераций. Процедуры округления непрерывных планов. Оценка точности. Алгоритм построения точного D-оптимального плана.

11. Планы первого порядка.

A-оптимальность плана первого порядка. D- оптимальные планы первого порядка на кубе. Полные и насыщенные планы. Теорема о расположении точек D- оптимального плана первого порядка.

12. Планирование эксперимента для нелинейных регрессионных моделей.

Постановка задачи. Три подхода к построению планов (минимаксный, Байесовский, последовательный). Численные методы последовательного построения квазиоптимального плана.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Математическая статистика [Текст] : учеб. пособие для вузов ; рек. Комитетом по высш.школе М-ва науки / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев .— 2-е изд., доп. — М. : Высшая школа, 1992 .— 304 с.
2. Прикладной анализ случайных данных [Текст] = Analysis and measurement procedures, монография/Дж. Бендат, А. Пирсол , -М., Мир, 1989
3. Математическая теория оптимального эксперимента [Текст] / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский ; с предисл. Г. И. Марчука - М.Наука,1987

Дополнительная литература

1. Задачи с решениями по математической статистике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев, А. В. Чистяков .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Дрофа, 2007 .— 318, [2] с. : ил. — (Высшее образование). - Библиогр.: с. 317. - 5000 экз. - ISBN 978-5-358-00772-7 (в пер.) .
2. Математическая обработка результатов измерений [Текст]/К. П. Яковлев, -М. ; Л., Гостехиздат, 1950

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

на лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс «Математические методы планирования и интерпретации эксперимента», должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать фундаментальные понятия и результаты теории классического регрессионного анализа, а также его обобщения, классический подход к планированию оптимальных регрессионных экспериментов, необходимые численные методы регрессионного анализа и планирования регрессионных экспериментов, область применимости, достоинства и недостатки регрессионного анализа.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к дифференцированному зачету и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: Н.В. Григорьев, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математические методы планирования и интерпретации эксперимента» обучающийся должен:

знать:

- место и роль данной дисциплины в научных исследованиях;
- фундаментальные понятия, законы теории вероятности, математической статистики, математической теории планирования эксперимента;
- теоретические основы регрессионного анализа, достоинства и недостатки оценки МНК как статистики;
- знать необходимые и достаточные условия оптимальности планов.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты данной дисциплины;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- проводить регрессионный анализ эксперимента;
- опознавать проблемные случаи применения классического регрессионного анализа;
- планировать оптимальное проведение регрессионного эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- численными методами регрессионного анализа эксперимента;
- приемами построения модифицированных статистик в проблемных случаях применения классического регрессионного анализа;
- способами проверки планов на оптимальность;
- численными методами построения оптимальных непрерывных планов, точных планов, округления планов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

- 1) Свойства оценки МНК при ошибках в факторах. Алгоритм метода ортогональной регрессии. Свойства оценки. Алгоритм ММП. Свойства оценки.
- 2) Модель нелинейной регрессии. Основные отличия регрессионного анализа нелинейной модели от линейного случая. Алгоритм Ньютона-Гаусса.
- 3) Дискретный план. Непрерывный план. Линейная комбинация планов. Информационная и дисперсионная матрицы плана.
- 4) D, G, L, A – критерии оптимального планирования, критерий для экстраполяции в точку, дисперсия оценки поверхности отклика. Их статистический смысл и свойства.
- 5) Постановка задачи оптимального планирования эксперимента.
- 6) Свойства информационных матриц. Оценка минимального числа точек в непрерывном плане.
- 7) Формулировка теоремы о необходимом и достаточном условии -оптимальности плана.
- 8) Формулировка теоремы о необходимом и достаточном условии Φ -оптимальности плана.
- 9) Теорема Кифера-Вольфовица.
- 10) Необходимые и достаточные условия L, A -оптимальности плана, оптимальности плана для экстраполяции в точку.
- 11) D -оптимальные планы для полиномиальной и тригонометрической регрессий.
- 12) Алгоритм Федорова-Уинна построения оптимального плана. Его недостатки и модификации.
- 13) Планы первого порядка на компакте и на многомерном кубе. Полный факторный эксперимент, насыщенные планы. Теорема о расположении точек насыщенного плана в многомерном кубе. Матрица Адамара.
- 14) Алгоритм округления непрерывного плана. Оценки потерь при округлении. Условия приемлемости округления для построения точного плана.
- 15) Алгоритм построения D -оптимального точного плана.
- 16) Три подхода к построению квази оптимальных планов для нелинейной регрессии. Алгоритм последовательного планирования.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

- 1) Статистика, средний квадрат ошибки, его составляющие. Состоятельность, не-смещенность, оптимальность (эффективность) как свойства статистики. Математическое ожидание, дисперсия, квантили, их статистический смысл. Основные понятия теории вероятности.
- 2) Основные предположения модели классической линейной регрессии. Оценка метода наименьших квадратов (МНК), ее свойства (теорема Гаусса-Маркова). Оценка дисперсии помех измерений.
- 3) Предположения модели нормальной регрессии. Связь оценки МНК с оценкой метода максимального правдоподобия (ММП). Свойства оценки МНК в случае нормальной регрессии.
- 4) Распределения случайных величин: нормальное, Стюдента, Фишера, их свойства.
- 5) Основная теорема нормальной регрессии. Центральные статистики, используемые при анализе нормальной регрессии.

- 6) Алгоритмы построения доверительных интервалов: для параметров нормальной регрессии при известной и неизвестной дисперсии помех наблюдений, для дисперсии помех наблюдений, для оценки регрессии в точке.
- 7) Алгоритмы построения доверительных областей: для линейных комбинаций параметров нормальной регрессии и аппроксимации этих областей.
- 8) В чем состоит линейная гипотеза нормальной регрессии, и алгоритм проверки.
- 9) Условия асимптотической состоятельности и асимптотической нормальности оценки МНК.
- 10) Обобщенная модель линейной регрессии. Оценка обобщенного МНК и ее свойства.
- 11) Свойства оценок МНК при переборе и недоборе факторов в регрессии.
- 12) Свойства оценки МНК при плохой обусловленности матрицы Фишера. Меры обусловленности.
- 13) Ридж-оценка и ее свойства. Алгоритм построения ридж-оценки.
- 14) Понятие о робастном оценивании. Алгоритм построения оценки Хубера.
- 15) Алгоритмы оптимального цифрового сглаживания и оптимального дифференцирования измеренного сигнала на скользящем интервале. В чем состоит оптимальность этих алгоритмов.
- 16) Свойства оценки МНК при ошибках в факторах. Алгоритм метода ортогональной регрессии. Свойства оценки. Алгоритм ММП. Свойства оценки.
- 17) Модель нелинейной регрессии. Основные отличия регрессионного анализа нелинейной модели от линейного случая. Алгоритм Ньютона-Гаусса.
- 18) Дискретный план. Непрерывный план. Линейная комбинация планов. Информационная и дисперсионная матрицы плана.
- 19) D, G, L, A – критерии оптимального планирования, критерий для экстраполяции в точку, дисперсия оценки поверхности отклика. Их статистический смысл и свойства.
- 20) Постановка задачи оптимального планирования эксперимента.
- 21) Свойства информационных матриц. Оценка минимального числа точек в непрерывном плане.
- 22) Формулировка теоремы о необходимом и достаточном условии -оптимальности плана.
- 23) Формулировка теоремы о необходимом и достаточном условии Ф-оптимальности плана.
- 24) Теорема Кифера-Вольфовица.
- 25) Необходимые и достаточные условия L, A-оптимальности плана, оптимальности плана для экстраполяции в точку.
- 26) D-оптимальные планы для полиномиальной и тригонометрической регрессий.
- 27) Алгоритм Федорова-Уинна построения оптимального плана. Его недостатки и модификации.

Билет 1

- 1) Планы первого порядка на компакте и на многомерном кубе. Полный факторный эксперимент, насыщенные планы. Теорема о расположении точек насыщенного плана в многомерном кубе. Матрица Адамара.
- 2) Алгоритм округления непрерывного плана. Оценки потерь при округлении. Условия приемлемости округления для построения точного плана.

Билет 2

- 1) Алгоритм построения D-оптимального точного плана.
- 2) Три подхода к построению квазиоптимальных планов для нелинейной регрессии. Алгоритм последовательного планирования.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета и экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.