

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра высшей математики и физики

Фонд оценочных средств

**Планирование эксперимента и обработка  
экспериментальных данных**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования по направлению подготовки  
(сетевая форма реализации)

**03.04.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль):

**«Физические исследования инновационных материалов»**

Уровень  
**Магистратура**

Форма обучения  
**Очная**

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры  
08.09.2022 г., протокол № 2  
Зав. кафедрой  Зайцева И.В.

Авторы-разработчики:  
д.т.н, Дьяченко Н.В.,  
к.ф.-м.н., Бобровский А. П.

Санкт-Петербург 2022

**1. Паспорт Фонда оценочных средств по дисциплине**  
**Планирование эксперимента и обработка экспериментальных данных**

**Таблица 1. Перечень оценочных средств текущего контроля**

№ п/п	Раздел / тема дисциплины	Формируемые компетенции	Наименование средств текущего контроля
1	Предварительная обработка экспериментальных данных.	УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; УК-2.4; УК-2.5; ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-3.1; ПК-3.2	Устная защита выполнения практических работ №1,2
2	Анализ результатов эксперимента. Эмпирические зависимости.	УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; УК-2.4; УК-2.5; ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-3.1; ПК-3.2	Устная защита выполнения практических работ №3,4,5
Текущий контроль успеваемости (ТКУ)			Тест в Moodle
3	Оценка погрешностей результатов наблюдений.	УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; УК-2.4; УК-2.5; ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-3.1; ПК-3.2	Устная защита выполнения практических работ №6,7
4	Методы планирования экспериментов.	УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; УК-2.4; УК-2.5; ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-3.1; ПК-3.2	Устная защита выполнения практических работ №8,9,10
Форма промежуточной аттестации: Экзамен			

**2. Перечень компетенций, с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины**

**Таблица 2. Перечень компетенций, формируемых в процессе освоения дисциплины**

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла  УК-2.1. Формулирует на основе поставленной проблемы проектную задачу и способ ее решения через реализацию проектного управления.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– способы организации исследований в области планирования эксперимента</li> <li>– об основных проблемах и задачах, возникающих в ходе планирования и организации эксперимента;</li> <li>- о возможных рисках при проведении эксперимента и возможностях их устранения;</li> <li>- основные понятия и методы проведения физического эксперимента</li> <li>– методы анализа и обработки результатов научных экспериментов</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– планировать цели и устанавливать приоритеты при выборе способов принятия решений;</li> </ul>	Задания репродуктивного уровня: Устный опрос

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
<p>УК-2.2. Разрабатывает концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы: формулирует цель, задачи, обосновывает актуальность, значимость, ожидаемые результаты и возможные сферы их применения.</p> <p>УК-2.3. Разрабатывает план реализации проекта с учетом с учетом возможных рисков реализации и возможностей их устранения, планирует необходимые ресурсы.</p> <p>УК-2.4. Осуществляет мониторинг хода реализации проекта, корректирует отклонения, вносит дополнительные изменения в план реализации проекта, уточняет зоны ответственности участников проекта.</p> <p>УК-2.5. Предлагает процедуры и механизмы оценки качества проекта, инфраструктурные условия для внедрения результатов проекта</p>	<p>– формулировать цель, задачи, обосновывать актуальность, значимость, ожидаемые результаты эксперимента;</p> <p>– выбирать оптимальные планы эксперимента в зависимости от целей исследования;</p> <p>– применять современные математические программные пакеты для автоматической обработки результатов эксперимента;</p> <p>– интерпретировать и представлять результаты научных исследований;</p> <p>Владеть:</p> <p>– навыками в области разработки концепции и организации экспериментальных исследований</p> <p>– навыками в области планирования и реализации экспериментальных исследований;</p> <p>– навыками организации физического эксперимента</p> <p>– навыками анализа и обработки результатов эксперимента;</p>	<p>Задания практико-ориентированного / исследовательского / творческого уровня: Контрольное задание</p>

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
ПК-2. Способен осваивать классические и современные методы исследования веществ	Знать: о методах и средствах планирования и организации эксперимента с применением современных технических средств; - методы анализа и обработки информации;	Задания репродуктивного уровня: Устный опрос
ПК-2.1. Выбирает оптимальные методы и технические средства, готовит оборудование, работает на экспериментальных физических установках	Уметь: – организовывать работу по проведению экспериментальных исследований; – применять современные математические программные пакеты для автоматической обработки результатов эксперимента	Задания реконструктивного уровня: Тестирование, доклад
ПК-2.2. Проводит систематизацию и организацию результатов экспериментов и наблюдений на основе их анализа и синтеза	Владеть: – навыками работы на экспериментальных физических установках; – навыками проведения физического эксперимента и обработки данных;	Задания практико-ориентированного / исследовательского / творческого уровня: Контрольное задание
ПК-3. Способен к анализу проблемы, постановке цели научного исследования, выбору средств ее достижения	Знать: – методы ведения библиографической работы с привлечением современных информационных технологий; – основные понятия и методы проведения физического эксперимента;	Задания репродуктивного уровня: Устный опрос
ПК-3.1. Критически анализирует современные проблемы в избранной области исследований	Уметь: – обрабатывать и критически анализировать результаты экспериментальных данных, – организовывать работу по проведению экспериментальных исследований	Задания реконструктивного уровня: Тестирование, доклад
ПК-3.2. Формулирует	Владеть: - методами оценки результатов экспериментов - навыками в области планирования и реализации экспериментальных исследований;	Задания практико-ориентированного / исследовательского / творческого уровня: Контрольное задание

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
цель научного исследования и выбирает средства ее достижения		

### 3. Балльно-рейтинговая система оценивания

**Таблица 3. Распределение баллов по видам учебной работ**

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Текущий контроль успеваемости	0-100
Промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

**Таблица 3.1. Распределение баллов по видам учебной работы**

2 семестр			
№	Вид работ	Min	Max
1. Обязательная часть			
1.1.	Текущий контроль успеваемости по проверке сформированности остаточных знаний		
	Текущий контроль успеваемости. Тест:	0	10
1.2	Выполнение практических работ:		
1.2.1	Практическая работа №1. Экспериментальный анализ случайной величины. Проверка статистических гипотез.	2	3
1.2.2	Практическая работа №2. Метод ранговой корреляции	2	3
1.2.3	Практическая работа №3. Построение регрессионных моделей Обработка результатов эксперимента	2	3
1.2.4	Практическая работа №4. Двухфакторный и трехфакторный дисперсионный анализ.	2	3
1.2.5	Практическая работа №5. Построение двухфакторного эксперимента с использованием квадратичной модели	2	3
1.2.6	Практическая работа №6. Автоматизация обработки результатов активного эксперимента	2	3
1.2.7	Практическая работа №7. Центральный композиционный ротатабельный план	2	3
1.2.8	Практическая работа №8. Построение двухфакторного эксперимента с использованием ротатабельного центрально-композиционного плана	2	3
1.2.9	Практическая работа №9. Планирование и обработка результатов пассивного эксперимента	2	3
1.2.10	Практическая работа №10. Метод регрессионного анализа. Планирование экспериментов	2	3
Итого баллов по обязательной части			40
2. Вариативная часть			

2.1	Реферат по дисциплине «Планирование эксперимента и обработка экспериментальных данных»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
	Итого баллов по вариативной части	40	60
	Итого баллов по дисциплине		100

**Таблица 3.2. Конвертация баллов в итоговую оценку**

Оценка	Баллы
Отлично	85-100
Хорошо	64-84
Удовлетворительно	40-63
Неудовлетворительно	0-39

#### **4. Содержание оценочных средств текущего контроля. Критерии оценивания**

Перечень учебно-методического и информационного обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в рабочих программах и методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины.

##### **Практические работы**

###### **Практическая работа 1**

Цель работы: освоить методы статистической обработки экспериментальных данных: построение вариационного ряда и статистического ряда, проверку гипотезы о законе распределения с помощью критерия согласия, установление наличия и тесноты связи между двумя случайными величинами с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

##### **Основные понятия и определения**

Любое измерение или эксперимент сопровождаются случайными погрешностями, что делает их результаты случайными величинами (СВ). Для анализа СВ применяются методы математической статистики. Вариационный ряд — это последовательность опытных данных, расположенных в порядке возрастания. Статистический ряд — группировка данных по интервалам с подсчетом частот. Статистическая гипотеза — предположение о свойстве генеральной совокупности, которое можно проверить по выборке. Критерий согласия — правило, позволяющее принять или отвергнуть гипотезу о законе распределения СВ. Для анализа связи между двумя СВ используется корреляционный анализ. Если вид связи неизвестен или данные не удовлетворяют требованиям параметрических методов, применяется непараметрический метод ранговой корреляции Спирмена, который оценивает

монотонную связь между величинами.

#### Методика проведения анализа

Методика основана на последовательной статистической обработке одной или двух выборок экспериментальных данных. Первый этап — первичная обработка и визуализация распределения одной СВ. Второй этап — проверка гипотезы о нормальном распределении с использованием критерия согласия Пирсона ( $\chi^2$ ) или Колмогорова-Смирнова. Третий этап — анализ взаимосвязи между двумя СВ путем расчета рангового коэффициента корреляции Спирмена и проверки его значимости.

#### Характеристика анализируемых данных

- Одномерная выборка: Результаты повторных измерений одной и той же физической величины (например, диаметра детали, прочности материала, концентрации раствора).
- Двумерная выборка: Парные измерения двух различных величин, предположительно связанных между собой (например, температура и электропроводность, скорость вращения и выход продукта, твердость и предел прочности).

#### Ход работы

##### Первичная статистическая обработка одномерной выборки

Получив выборку экспериментальных данных, проводят её первичную обработку. Сначала данные упорядочивают, формируя вариационный ряд. Определяют размах выборки, затем разбивают его на 6-10 интервалов и строят статистический ряд, подсчитывая частоту попадания данных в каждый интервал. На основе статистического ряда строят гистограмму и полигон распределения. Рассчитывают основные выборочные числовые характеристики: выборочное среднее, выборочную дисперсию и среднее квадратическое отклонение.

#### Проверка гипотезы о нормальном распределении

Выдвигают основную гипотезу  $H_0$ : «Генеральная совокупность распределена по нормальному закону». Альтернативная гипотеза  $H_1$ : «Распределение не является нормальным». Для проверки гипотезы используют критерий согласия  $\chi^2$ -Пирсона.

Теоретические частоты для каждого интервала рассчитывают, исходя из предположения о нормальном законе с параметрами, равными выборочным оценкам. Вычисляют наблюдаемое значение критерия  $\chi^2_{\text{набл}}$  как сумму отношений квадратов разностей между эмпирическими и теоретическими частотами к теоретическим частотам. По таблице критических точек распределения  $\chi^2$  находят  $\chi^2_{\text{крит}}$  для выбранного уровня значимости  $\alpha$  (обычно 0.05) и числа степеней свободы. Если  $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{крит}}$ , то гипотеза  $H_0$  не отвергается, в противном случае — отвергается.

Оценка связи между двумя случайными величинами методом ранговой корреляции Имея две выборки одинакового объема ( $X$  и  $Y$ ), проверяют гипотезу о наличии статистической связи между ними. Для этого обе выборки ранжируют отдельно: наименьшему значению присваивают ранг 1, следующему — 2 и т.д. Если встречаются одинаковые значения (совпадающие ранги), присваивают средний ранг. Для каждой пары наблюдений вычисляют разность рангов  $d_i$ . Затем рассчитывают коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для проверки значимости коэффициента вычисляют  $t$ -статистику. По таблице критических точек распределения Стьюдента находят  $t_{\text{крит}}$  для уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $v = n - 2$ . Если  $|t_{\text{набл}}| > t_{\text{крит}}$ , то коэффициент корреляции значимо отличается от нуля, и между величинами существует статистически значимая связь. Дают качественную интерпретацию силе связи на основе абсолютного значения коэффициента Спирмена.

#### Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать следующие разделы:

1. Титульный лист (название работы, ФИО студента, группа, дата).
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть: Краткое изложение теоретических основ статистического анализа: вариационный и статистический ряды, гистограмма, проверка статистических гипотез с использованием критерия согласия, сущность рангового корреляционного анализа.

4. Экспериментальная часть: Описание исходных данных (одной или двух выборок).
5. Результаты и расчеты:
  - Для одномерной выборки: Вариационный ряд, таблица статистического ряда, гистограмма и полигон распределения, расчет выборочных характеристик, таблица для расчета  $\chi^2$ -критерия, вывод о законе распределения.
  - Для двумерной выборки: Исходная таблица данных, таблица с рангами и разностями рангов, расчет коэффициента корреляции Спирмена, проверка его значимости, вывод о наличии и силе связи.
6. Выводы: формулируются обобщенные выводы по всем этапам работы: о виде распределения исследуемой случайной величины и о наличии (или отсутствии) статистически значимой связи между двумя величинами, а также о её характере и тесноте.

## Практическая работа 2

Цель работы: освоить методику построения линейной регрессионной модели по экспериментальным данным, оценить её адекватность и точность, а также провести прогнозирование с использованием полученной модели.

### Основные понятия и определения

Регрессионный анализ — это статистический метод исследования взаимосвязи между зависимой переменной (откликом)  $Y$  и одной или несколькими независимыми переменными (факторами)  $X$ . Регрессионная модель представляет собой уравнение, описывающее эту зависимость. В случае одной независимой переменной модель называется простолинейной регрессией и имеет вид:  $Y = a + bX + \varepsilon$ , где  $a$  — свободный член (константа),  $b$  — коэффициент регрессии (наклон),  $\varepsilon$  — случайная ошибка.

Построение модели осуществляется методом наименьших квадратов (МНК), который находит такие значения параметров  $a$  и  $b$ , при которых минимизируется сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от модели. Качество построенной модели оценивается с помощью коэффициента детерминации  $R^2$ , который показывает, какая доля дисперсии зависимой переменной объясняется моделью. Проверка статистической значимости коэффициентов регрессии и модели в целом проводится с использованием  $t$ -критерия Стьюдента и  $F$ -критерия Фишера соответственно.

### Методика проведения анализа

Методика включает последовательное выполнение следующих этапов: предварительный графический анализ данных для проверки возможности аппроксимации линейной моделью; расчет параметров модели ( $a$ ,  $b$ ) по МНК; оценка тесноты связи с помощью коэффициента корреляции; проверка статистической значимости модели и её параметров; вычисление доверительных интервалов для параметров и прогнозных значений; анализ остатков для проверки адекватности модели.

### Характеристика анализируемых данных

- Двумерная выборка: Парные наблюдения ( $X_i$ ,  $Y_i$ ), где  $X$  — контролируемый или измеряемый фактор (например, время, температура, концентрация),  $Y$  — наблюдаемый отклик (выход продукта, скорость реакции, физическое свойство).

### Ход работы

#### Предварительный анализ данных и постановка задачи

Получают выборку экспериментальных данных, содержащую  $n$  пар значений ( $X_i$ ,  $Y_i$ ). Строят корреляционное поле — график, отображающий экспериментальные точки в координатах  $X$ - $Y$ . Визуально анализируют характер расположения точек. Если точки группируются вокруг некоторой прямой линии, выдвигают предположение о возможности описания зависимости линейной регрессионной моделью. Формулируют цель моделирования: установить аналитическую зависимость  $Y$  от  $X$  и использовать её для прогнозирования.

#### Расчет параметров линейной регрессионной модели

Для нахождения параметров модели  $Y = a + bX$  проводят серию вычислений по методу

наименьших квадратов. Рассчитывают средние значения  $X$  и  $Y$  по выборке. Затем вычисляют суммы квадратов отклонений и сумму произведений отклонений. По расчетным формулам находят коэффициенты регрессии. Записывают полученное уравнение регрессии.

#### Оценка качества и статистической значимости модели

Рассчитывают теоретические (расчетные) значения  $Y$  для каждого  $X_i$  по полученному уравнению. Определяют коэффициент детерминации  $R^2$ , который интерпретируют как меру адекватности модели. Для проверки статистической значимости коэффициента регрессии в вычисляют его стандартную ошибку и рассчитывают наблюдаемое значение  $t$ -критерия. Это значение сравнивают с критическим значением  $t$ -критерия для выбранного уровня значимости  $\alpha$  (обычно 0.05) и числа степеней свободы  $n-2$ . Если  $t_{набл} > t_{крит}$ , коэффициент  $b$  считается статистически значимым, и фактор  $X$  оказывает существенное влияние на  $Y$ . Аналогично можно проверить значимость коэффициента  $a$ . Проводят дисперсионный анализ для проверки значимости модели в целом с использованием  $F$ -критерия.

#### Прогнозирование и анализ остатков

С использованием полученного уравнения регрессии проводят прогнозирование: вычисляют точечный прогноз значения  $Y$  для нового, не входившего в выборку значения  $X^*$ . Ставят доверительный интервал для прогноза, который характеризует точность предсказания. Для проверки адекватности модели анализируют остатки — разности между экспериментальными и теоретическими значениями  $Y$ . Ставят график остатков. Если остатки носят случайный характер и не содержат систематических тенденций, модель считается адекватной.

#### Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать следующие разделы:

1. Титульный лист (название работы, ФИО студента, группа, дата).
2. Цель работы.
3. Теоретическая часть: Краткое изложение теоретических основ регрессионного анализа: сущность метода наименьших квадратов, смысл параметров модели, критерии оценки её качества и значимости.
4. Экспериментальная часть: Описание исходных данных (выборки парных значений).
5. Результаты и расчеты:
  - График корреляционного поля с нанесенными экспериментальными точками.
  - Таблица с промежуточными расчетами для МНК.
  - Полученное уравнение регрессии.
  - Расчет коэффициента детерминации  $R^2$ .
  - Расчет стандартных ошибок коэффициентов и проверка их значимости.
  - Результаты прогнозирования для заданного значения  $X^*$ .
  - График остатков.
6. Выводы: формулируются обобщенные выводы: о виде и тесноте связи между переменными, о статистической значимости и адекватности построенной модели, о возможности её использования для прогнозирования. Указываются конкретные численные характеристики модели (уравнение,  $R^2$ , значимость коэффициентов).

## Практическая работа 3

Цель работы: освоить методику планирования и проведения многофакторного дисперсионного анализа для оценки влияния двух и трех качественных факторов на количественную переменную, включая проверку значимости основных эффектов и эффектов взаимодействия.

#### Основные понятия и определения

Дисперсионный анализ (ANOVA) — статистический метод, предназначенный для

выявления влияния одного или нескольких качественных факторов на количественную зависимую переменную. В отличие от регрессионного анализа, где факторы обычно количественные, в дисперсионном анализе факторы представляют собой категории (уровни).

- Двухфакторный ANOVA позволяет оценить:
  1. Основной эффект фактора А — влияние первого фактора на зависимую переменную.
  2. Основной эффект фактора В — влияние второго фактора.
  3. Эффект взаимодействия  $A \times B$  — совместное влияние факторов, когда эффект одного фактора зависит от уровня другого.
- Трехфакторный ANOVA дополнительно оценивает:
  4. Эффект взаимодействия  $A \times B \times C$  — совместное влияние трех факторов.

#### Методика проведения анализа

Методика включает следующие этапы: формулировка статистических гипотез; проверка предположений дисперсионного анализа (нормальность распределения, гомогенность дисперсий, независимость наблюдений); заполнение таблицы дисперсионного анализа; расчет F-статистик для всех эффектов; принятие решений о значимости эффектов; интерпретация результатов.

#### Характеристика анализируемых данных

- Двухфакторный анализ: Зависимая переменная + два качественных фактора (например: прочность материала (Y) в зависимости от типа материала (A) и температуры обработки (B)).
- Трехфакторный анализ: Зависимая переменная + три качественных фактора (например: выход продукта (Y) в зависимости от катализатора (A), давления (B) и температуры (C)).

#### Ход работы

Постановка задачи и формулировка гипотез

Получают экспериментальные данные, сгруппированные по уровням двух или трех факторов. Формулируют нулевые гипотезы:

- Для двухфакторного анализа:
  - $H_01$ : нет основного эффекта фактора А
  - $H_02$ : нет основного эффекта фактора В
  - $H_03$ : нет эффекта взаимодействия  $A \times B$
- Для трехфакторного анализа добавляются:
  - $H_04$ : нет эффекта взаимодействия  $A \times B \times C$

Проверка предположений дисперсионного анализа

Проводят проверку основных предположений:

1. Нормальность распределения — с помощью критерия Шапиро-Уилка или построения QQ-plot
2. Гомогенность дисперсий — с помощью критерия Левена или Бартлетта
3. Случайность и независимость наблюдений — на основе плана эксперимента

Расчет параметров дисперсионного анализа

Заполняют таблицу дисперсионного анализа, вычисляя:

- Суммы квадратов для каждого эффекта
- Степени свободы
- Средние квадраты
- F-статистики для всех эффектов

Проверка статистической значимости и интерпретация

Для каждого эффекта сравнивают расчетное значение F-статистики с критическим значением F-распределения для выбранного уровня значимости  $\alpha = 0.05$ . Если  $F_{расч} > F_{крит}$ , нулевая гипотеза отвергается, и эффект признается статистически значимым.

#### Пост-хок анализ

При обнаружении значимых основных эффектов проводят пост-хок анализ (например,

Тьюки, Фишера) для определения того, какие именно уровни факторов значимо отличаются друг от друга.

Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать следующие разделы:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть: Основы дисперсионного анализа, понятия факторов, уровней, эффектов взаимодействия
4. Экспериментальная часть: Описание экспериментальных данных и факторов
5. Результаты и расчеты:
  - Результаты проверки предположений ANOVA
  - Таблицы дисперсионного анализа с F-статистиками и p-values
  - Графики взаимодействия для визуализации значимых эффектов
  - Результаты пост-хок анализа (при необходимости)
6. Выводы: Формулируются выводы о значимости основных эффектов и эффектов взаимодействия, дается практическая интерпретация результатов, указываются рекомендации по оптимизации процесса на основе полученных данных.

## Практическая работа 4

Цель работы: освоить методику планирования и проведения двухфакторного эксперимента с квадратичной моделью, построить математическую модель второго порядка и определить оптимальные условия процесса.

Теоретические и методические основания

Основные понятия и определения

Полный факторный эксперимент для исследования квадратичных эффектов требует применения центрального композиционного плана (ЦКП). Для двух факторов ЦКП включает:

- Ядро плана ( $2^2 = 4$  опыта)
- Звездные точки ( $2 \times 2 = 4$  опыта)
- Центр плана ( $n \geq 1$  опытов)

Квадратичная модель для двух факторов имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + \varepsilon$$

Особенности планирования:

- Ортогональность и ротатабельность плана
- Оценка адекватности модели через проверку остатков
- Определение стационарной области

Методика проведения анализа

Методика включает: выбор интервалов варьирования факторов; составление матрицы планирования; рандомизацию опытов; проведение эксперимента; расчет коэффициентов регрессии; проверку значимости коэффициентов; оценку адекватности модели; поиск стационарной области.

Характеристика анализируемых данных

- Факторы:  $X_1, X_2$  — количественные переменные
- Отклик:  $Y$  — количественная характеристика процесса
- Уровни факторов: основные ( $-1, +1$ ), звездные ( $-a, +a$ ), нулевые (0)

Ход работы

Этап 1. Подготовка эксперимента

- 1.1. Выбирают факторы и интервалы варьирования
- 1.2. Составляют матрицу ЦКП для двух факторов
- 1.3. Определяют необходимое число опытов в центре плана (рекомендуется  $n = 3-5$ )
- 1.4. Составляют план-график проведения эксперимента с рандомизацией

Этап 2. Проведение эксперимента

- 2.1. Проводят опыты в соответствии с планом-графиком
- 2.2. Регистрируют значения отклика для каждого опыта
- 2.3. Контролируют постоянство условий проведения эксперимента

Этап 3. Обработка результатов

- 3.1. Рассчитывают коэффициенты регрессии методом наименьших квадратов
- 3.2. Проводят проверку значимости коэффициентов с помощью  $t$ -критерия Стьюдента
- 3.3. Составляют уравнение регрессии с только значимыми коэффициентами

Этап 4. Анализ адекватности модели

- 4.1. Проводят расчет дисперсии адекватности
- 4.2. Оценивают адекватность модели с помощью  $F$ -критерия Фишера
- 4.3. Анализируют распределение остатков

Этап 5. Поиск оптимальных условий

- 5.1. Ставят линии равного уровня отклика (контурные графики)
- 5.2. Определяют координаты стационарной точки
- 5.3. Проводят анализ поверхности отклика

Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть: Основы планирования эксперимента, ЦКП, квадратичные модели
4. Экспериментальная часть:
  - Описание объекта исследования
  - Выбор факторов и уровней варьирования
  - Матрица планирования эксперимента
5. Результаты и расчеты:
  - Исходные экспериментальные данные
  - Расчет коэффициентов регрессии
  - Проверка значимости коэффициентов
  - Оценка адекватности модели
  - Графическое представление результатов
6. Выводы:
  - Анализ полученной модели
  - Определение оптимальных условий процесса
  - Рекомендации по практическому использованию результатов

## Практическая работа 5

Цель работы: освоить методику построения и применения центрального композиционного ротатабельного плана (ЦКРП) для исследования процессов с квадратичными эффектами, научиться рассчитывать параметры плана и анализировать полученные математические модели.

Основные понятия и определения

Центральный композиционный ротатабельный план (ЦКРП) — это планы второго порядка, обеспечивающие постоянную дисперсию предсказания на равном расстоянии от центра плана. Основные характеристики:

1. Структура плана:
  - Ядро плана: полный факторный эксперимент  $2^k$
  - Звездные плечи:  $2k$  точек
  - Центральные точки:  $n \geq 1$
2. Свойства ротатабельности:
  - Дисперсия предсказания зависит только от расстояния от центра плана
  - Обеспечивает одинаковую точность по всем направлениям

3. Математическая модель второго порядка:  
$$Y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ii} X_i^2 + \sum \sum b_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Расчет параметров плана

Для обеспечения рототабельности звездное плечо  $\alpha$  вычисляется по формуле:

$$\alpha = [2^k]^{\{1/4\}}$$

Количество опытов в ЦКРП:

$$N = 2^k + 2k + n_0$$

Методика проведения анализа

Методика включает: выбор факторов и интервалов варьирования; расчет параметров плана; составление матрицы планирования; проведение эксперимента; расчет коэффициентов регрессии; проверку адекватности модели; анализ поверхности отклика.

Ход работы

Этап 1. Подготовка эксперимента

1.1. Выбирают к факторов и интервалы варьирования

1.2. Рассчитывают параметры плана:

- Звездное плечо  $\alpha$
- Общее число опытов  $N$
- Рекомендуемое число центральных точек  $n_0$

1.3. Составляют матрицу планирования ЦКРП

1.4. Разрабатывают план-график эксперимента с рандомизацией

Этап 2. Проведение эксперимента

2.1. Проводят опыты в случайному порядке

2.2. Регистрируют значения отклика для каждого опыта

2.3. Контролируют стабильность условий эксперимента

Этап 3. Обработка результатов

3.1. Рассчитывают коэффициенты регрессии:

- Линейные коэффициенты  $b_i$
- Квадратичные коэффициенты  $b_{ii}$
- Коэффициенты взаимодействия  $b_{ij}$

3.2. Проводят проверку значимости коэффициентов с использованием  $t$ -критерия Стьюдента

3.3. Составляют уравнение регрессии с только значимыми коэффициентами

Этап 4. Анализ адекватности модели

4.1. Рассчитывают дисперсию адекватности

4.2. Проводят проверку адекватности с помощью  $F$ -критерия Фишера

4.3. Анализируют распределение остатков

Этап 5. Интерпретация результатов

5.1. Странят двумерные сечения поверхности отклика

5.2. Странят трехмерные поверхности отклика

5.3. Определяют координаты стационарной точки

5.4. Проводят канонический анализ уравнения регрессии

Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть: Основы ЦКРП, свойства рототабельности, математическая модель второго порядка
4. Экспериментальная часть:
  - Описание объекта исследования
  - Выбор факторов и уровней варьирования
  - Расчет параметров плана

- Матрица планирования

5. Результаты и расчеты:

- Экспериментальные данные
- Расчет коэффициентов регрессии
- Проверка значимости коэффициентов
- Оценка адекватности модели
- Графическое представление поверхности отклика

6. Выводы:

- Анализ адекватности полученной модели
- Определение оптимальных условий процесса
- Практические рекомендации

**Таблица 4. Критерии оценивания практических заданий**

Критерий оценивания	Результат
Задания выполнены в полном объеме. Представлен письменный ответ Выявлены знания компетентности в рамках задания.	3
Задания выполнены частично. Представлен письменный ответ Выявлены частичные знания компетентности в рамках задания.	2
Задания не выполнены. Не представлен письменный ответ Знания компетентности в рамках задания не выявлены.	0

Перечень вопросов для устного опроса, расчетно-графических работ, тестирование и критерии оценивания по темам дисциплины:

**1. Вопросы для устного опроса**

№ п/п	Тематика практических занятий	Вопросы
1	Экспериментальный анализ случайной величины. Проверка статистических гипотез. Метод ранговой корреляции	1. Случайные величины. Понятие случайной величины, вероятности события. 2. Системы случайных величин. 4. Случайные процессы. Понятия случайной функции, случайного процесса. 5. Понятие о стационарном случайном процессе. Условие стационарности в терминах вероятностных характеристик. Спектральная плотность стационарного случайного процесса. Эргодическое свойство стационарных случайных процессов. 6. Условия, которым должны удовлетворять оценки параметров статистических характеристик. Доверительный интервал, доверительная вероятность.

2	Построение регрессионных моделей. Обработка результатов эксперимента	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятие регрессии. Уравнение регрессии.</li> <li>2. Точечные и интервальные оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратичного отклонения случайной величины.</li> <li>3. Точечная и интервальная оценки коэффициента корреляции.</li> <li>4. Оценивание линейной регрессии.</li> <li>5. Оценивание спектральной плотности случайного процесса.</li> <li>6. Оценивание характеристик случайных процессов, в том числе и эргодических.</li> <li>7. Сглаживание измеряемых сигналов.</li> </ol>
3	Двухфакторный и трехфакторный дисперсионный анализ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реализация эксперимента. Расчет ошибки, опыта (дисперсии воспроизводимости). Расчет коэффициентов линейного уравнения регрессии: идея МНК, методика составления системы нормальных уравнений по матрице планирования и таблице наблюдений.</li> <li>2. Метод наименьших квадратов в матричной форме.</li> <li>3. Формулы для вычисления коэффициентов линейного уравнения регрессии по планам ПФЭ типа 2n. Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии.</li> <li>4. Проверка адекватности линейного уравнения регрессии. Особенности ПФЭ при разном числе параллельных опытов.</li> </ol>
4	Построение двухфакторного эксперимента с использованием квадратичной модели	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Учет коэффициентов взаимодействий факторов по планам ПФЭ. Проверка адекватности линейного уравнения регрессии.</li> <li>2. Дробный факторный эксперимент.</li> <li>3. Планы второго порядка. Композиционные ротатабельные планы второго порядка.</li> <li>4. Планы второго порядка. Композиционные ортогональные планы второго порядка.</li> <li>5. Задачи и методы статической оптимизации технологических процессов.</li> <li>6. Статистические оценки качества работы систем автоматического управления.</li> </ol>
5	Центральный композиционный ротатабельный план Планирование экспериментов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Статистические методы построения динамических моделей промышленных объектов.</li> <li>2. Параметры оптимизации и их классификация. Факторы, требования, предъявляемые к ним. Модель объекта.</li> <li>4. Построение матрицы планирования ПФЭ типа 2n. Свойства матрицы планирования ПФЭ типа 2n. Достоинства ПФЭ.</li> <li>5. Планы второго порядка. Композиционные ротатабельные планы второго порядка.</li> </ol>

Таблица 4.1. Критерии оценивания устного опроса

Критерий	Балл
обучающийся не смог дать ответ на вопросы преподавателя	0

обучающийся неполно ответил на вопрос преподавателя, допустил значительные ошибки при ответе и при выполнении заданий; обучающийся	1
обучающийся ответил на поставленный вопрос преподавателя, допустив незначительные ошибки в ответах или выполнил задание в целом правильно, допустив неточности и незначительные ошибки	2
обучающийся без ошибок полно и правильно ответил на поставленный вопрос преподавателя	3

**Таблица 4.2. Критерии оценивания заданий из вариативной части**

1. Вариативная часть				
2.1	Реферат по дисциплине «Планирование эксперимента и обработка экспериментальных данных»	1	5	
2.2	Участие в НИРС	10	25	
2.3	Участник клуба Миф	1	10	
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10	
2.4.1	участие	5	5	
2.4.2	призер	10	10	
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10	
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40	
2.6.1	участие	20	20	
2.6.2	грант	40	40	
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30	
Итого баллов по вариативной части		40	60	
Итого баллов по дисциплине			100	

### **Образцы тестовых заданий текущего контроля**

УК-2, ПК-2, ПК-3

1. В чем состоит процедура приведения уравнения выхода второй степени при ПФЭ к каноническому виду?

- 1) в перемещении и повороте координатных осей факторного пространства,
- 2) в оценке значимости коэффициентов уравнения регрессии,
- 3) в переходе от кодовых переменных к натуральным,
- 4) в использовании статистических критериев.

2. В плане ДФЭ  $2^{k-p}$  р – это:

- 1) показатель дробности плана ПФЭ,
- 2) количество возможных генерирующих отношений ,
- 3) число проведенных параллельных опытов,
- 4) коэффициент, показывающий, во сколько раз уменьшится количество экспериментов по сравнению с ПФЭ  $2^k$ .

3. Сколько можно получить различных генерирующих соотношений для ДФЭ  $2^{4-1}$  ?

- 1) 4,
- 2) 3,
- 3) 2,

4) 1.

4. Основополагающей идеей метода ДФЭ является:

- 1) формальное приравнивание суммы нескольких факторов фактору, не входящему в эту сумму,
- 2) формальное приравнивание произведения нескольких факторов одному из факторов, входящему в это произведение,
- 3) формальное приравнивание произведения нескольких факторов фактору, не входящему в это произведение,
- 4) формальное приравнивание произведения всех факторов фактору, входящему в это произведение.

5. Какой критерий служит для оценки статистической однородности дисперсии выхода?

- 1) критерий Колмогорова,
- 2) критерий Кохрена,
- 3) критерий Пирсона,
- 4) критерий Стьюдента.

6. Что необходимо выполнить для построения эмпирической модели при экспериментальном исследовании:

- 1) выполнить физическое моделирование исследуемого процесса;
- 2) провести эксперименты или наблюдения для сбора статистических данных, выбор одной определенной модели из множества возможных, вычисление коэффициентов этой модели и оценку полученных результатов;
- 3) провести эксперименты или наблюдения для сбора статистических данных и рассчитать погрешность измерения.

7. Как называется величина, показывающая с каким из эффектов смешан основной эффект фактора при ДФЭ?

- 1) целевой функцией,
- 2) репликой,
- 3) генерирующее соотношение,
- 4) определяющий контраст.

8. При помощи какого критерия осуществляется значимость коэффициентов уравнения регрессии?

- 1) критерий Смирнова,
- 2) Бартлера,
- 3) Стьюдента,
- 4) Ирвина.

9. Число опытов в плане ДФЭ  $2^{6-1}$  равно:

- а) 8,
- б) 16,
- в) 32,
- г) 64.

10. Для какого количества независимых переменных регрессионный анализ целесообразно проводить с использованием стандартных пакетов прикладных программ для ЭВМ:

- 1) для трех и более переменных;
- 2) для 10 и более переменных;
- 3) от 10 до 15 переменных.

11. Число опытов в плане ДФЭ  $2^{6-2}$  равно:

- 1) 8,
- 2) 16,
- 3) 32,
- 4) 64.

12. Число опытов в плане ДФЭ  $2^{5-1}$  равно:

- 1) 8,

2) 16,  
 3) 32,  
 4) 64.

13. Что называют аппроксимацией:  
 а) замену точных аналитических выражений приближенными, более простыми;  
 б) расчет суммы квадратов отклонений между эмпирическими и предсказанными по регрессионному уравнению значениями;  
 в) определение погрешности измерений.

14. Что оценивается при помощи критерия Кохрена?  
 1) значимость коэффициентов уравнения регрессии,  
 2) статистическая однородность дисперсии выхода,  
 3) адекватность регрессионной модели,  
 4) значимость фактора при проведении дисперсионного анализа.

15. Что оценивается при помощи критерия Стьюдента?  
 1) значимость коэффициентов уравнения регрессии,  
 2) статистическая однородность дисперсии выхода,  
 3) адекватность регрессионной модели,  
 4) значимость фактора при проведении дисперсионного анализа.

16. Что оценивается при помощи критерия Фишера?  
 1) значимость коэффициентов уравнения регрессии,  
 2) статистическая однородность дисперсии выхода,  
 3) адекватность регрессионной модели,  
 4) значимость фактора при проведении дисперсионного анализа.

**Таблица 4.3. Критерии оценивания тестирования**

Критерий	Баллы
Зачтено, более 40 % или равно 40% ответов правильных	10
Не зачтено, менее 40 % ответов правильных	0
Итого	0-10

**Примерная тематика рефератов**

1. Случайные величины. Закон распределения случайной величины.
2. Законы распределения системы случайных величин.
3. Характеристики случайных процессов.
4. Генеральная совокупность, выборка, параметр, оценка параметра.
5. Критерий Кохрена
6. Критерий Фишера
7. Критерий Смирнова
8. Критерий Пирсона
9. Критерий Диксона.
11. Расчет коэффициентов линейного уравнения регрессии
12. Статистические методы планирования экспериментов. Основные термины и понятия.
13. Статистические оценки качества работы систем автоматического управления.
14. Обратная задача теории экспериментальных погрешностей.
15. Регрессионный анализ.
16. Нелинейная регрессия.

**Таблица 4.4. Критерии оценивания реферата**

Критерий оценивания	Результат
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания и техническими требованиями оформления реферата; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические нарушения в представлении материала; корректно оформлены и в полном объёме представлены список использованной литературы и ссылки на использованную литературу в тексте реферата; реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен качественный анализ найденного материала, отсутствуют факты plagiarismа.	5 баллов
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания реферата, но есть погрешности в техническом оформлении; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлены список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен качественный анализ найденного материала, отсутствуют факты plagiarismа.	4 балла
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; в целом реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания реферата, но есть погрешности в техническом оформлении; в целом реферат имеет чёткую композицию и структуру, но в тексте реферата есть логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлен список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; некорректно оформлены или не в полном объёме представлены ссылки на использованную литературу в тексте реферата; в целом реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен анализ найденного материала, отсутствуют факты plagiarismа.	3 балла
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; в реферате отмечены нарушения общих требований написания реферата; есть погрешности в техническом оформлении; в целом реферат имеет чёткую композицию и структуру, но в тексте реферата есть логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлен список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; некорректно оформлены или не в полном объёме представлены ссылки на использованную литературу в тексте реферата; в целом реферат представляет собой достаточно самостоятельное исследование, представлен анализ найденного материала, присутствуют единичные случаи фактов plagiarismа.	2 балла

## Контрольные задания по дисциплине

### Вопросы к контрольной работе №1

1. Как проводят проверку гипотезы о равенстве двух выборочных средних значений случайной величины, имеющей Гауссовский закон распределения?
2. Как проводят проверку гипотезы о равенстве двух дисперсий одной и той же случайной величины, имеющей Гауссовский закон распределения?

3. Как проводят проверку и однородности дисперсии полученных экспериментальных значений ?
4. Как оценивается соответствие экспериментального распределения случайной величины предполагаемому теоретическому закону распределения?
5. В чем заключается однофакторный дисперсионный анализ
6. В чем заключается двухфакторный дисперсионный анализ
7. В чем заключается трехфакторный дисперсионный анализ
8. Когда делается вывод о том, что результаты эксперимента не противоречат гипотезе об отсутствии эффекта уровней исследуемого фактора
9. Если  $F_{\text{расч}} < F_{\text{кр.}}$  то делается вывод о том, что:
10. Когда делается вывод о том, что исследуемый фактор вносит существенный эффект в разброс выходной величины  $Y$ .
- 11 В чем заключается метод ранговой корреляции?
12. Методы насыщенных и сверх насыщенных планов.
13. Коэффициент конкордации.
14. Какой метод используют для первоначального построения «грубой модели» исследуемого процесса, отбросив на первом этапе факторы, оказывающие незначительное влияние.
15. Напишите формулы для определения: математического ожидания, дисперсии, среднего квадратического отклонения
16. Что такое статистическая гипотеза и на основании чего ее можно принять или отвергнуть?
17. Каковы условия применения метода случайного баланса и почему они не мешают широкому использованию этого метода при исследовании технологических процессов?
18. Какова общая стратегия исследования при определении факторов, влияющих на процесс?
19. Что означает понятие «число степеней свободы»?

### **Вопросы к контрольной работе №2**

1. Что такое активный эксперимент?
2. Что называется полным дробным экспериментом?
3. Как выбираются факторы планирования, их основные (базовые) уровни и интервалы варьирования?
4. Указать порядок проведения эксперимента методом ПФЭ.
5. Как составляется матрица планирования ПФЭ?
6. Как выбрать центр плана эксперимента?
7. Чем определяется величина интервала варьирования фактора?
8. Почему необходимо проведение параллельных опытов и их рандомизация?
9. Как зависит число уровней варьируемых факторов от порядка имитационной модели, представленной в виде полинома?
10. В чем заключается смысл разработки математической модели по принципу «от простого - к сложному»?
11. Каков порядок статистической обработки и анализа результатов эксперимента?
12. При каких условиях не соблюдается требование воспроизводимости эксперимента и как следует поступить в этом случае?
13. Как проверить значимость оценок коэффициентов регрессии?
14. Поясните различие применения критерия Стьюдента для оценки выборочных средних значений случайной величины и оценки значимости коэффициента полинома.
15. При каких условиях оценки коэффициентов регрессии незначимы и как эти условия устраниТЬ?

### **Вопросы к контрольной работе №3**

16. Как проверить адекватность математической модели?
17. При каких условиях не соблюдается требование адекватности математической модели и как следует поступить в этом случае?
18. Что называется дробным факторным экспериментом?
19. В каких случаях возможно планирование ДФЭ?
20. Как можно оценить разрешающую способность матрицы ДФЭ?
21. Что такое генерирующее соотношение и как оно выбирается?
22. Что такое определяющий контраст и как с его помощью составляется система совместных оценок?
23. Указать преимущества факторного планирования эксперимента перед другими способами проведения активного эксперимента и пассивным экспериментом?
24. Когда и для чего используется ЦКП и в чем его отличие от планирования ПФЭ и ДФЭ?
25. Что является критерием оптимальности плана при ЦКОП и ЦКРП?
26. Как достигается ортогональность матрицы планирования при ЦКОП?
27. Почему при ротатабельном планировании можно не проводить параллельных опытов?
28. В чем преимущество ротатабельного планирования перед ортогональным и как оно достигается?
29. Каков порядок обработки результатов ЦКОП?
30. Каков порядок обработки результатов ЦКРП?

### **Контрольная работа № 4 «Пассивный эксперимент»**

1. Назовите основные отличия активного и пассивного экспериментов, их преимущества и недостатки.
2. Назначение и порядок проведения регрессионного анализа.
3. Назначение и порядок проведения факторного анализа.
4. Назначение и порядок проведения метода главных компонентов.
5. Какой метод ориентирован на корреляционную связь исследуемых параметров процесса?
6. Какой метод ориентирован на дисперсию?
7. Каков порядок проведения пассивного эксперимента в производственных условиях?
8. Виды производственных погрешностей.
9. Причины возникновения погрешностей при производстве ЭС
10. Как определяется систематическая погрешность?
11. Как определить случайную составляющую погрешности?

**Таблица 4.5. Критерии оценивания письменного/творческого задания**

Критерий	Балл
обучающийся не смог объяснить цель, задачи, проблемную ситуацию и т.д., представленная работа является заимствованием более чем на 70% текста, без указания источника заимствования	0
обучающийся не смог полно объяснить цель, задачи, проблемную ситуацию и т.д., допустил значительные ошибки при выполнении задания, представленная работа является заимствованием более чем на 50% текста, без указания источника заимствования	1

обучающийся смог полностью объяснить цель, задачи, проблемную ситуацию и т.д., допустил незначительные ошибки при выполнении задания, не влияющие на правильность решения задания, заимствования не более 50% текста, без указания источника заимствования	2
--	---

## 5. Содержание оценочных средств промежуточной аттестации. Критерии оценивания

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

Форма проведения экзамена: устно по билетам

Перечень вопросов для подготовки к экзамену:

УПК-2, ПК-2, ПК-3

1. Понятие эксперимента и обработки экспериментальных данных, их таковых в области обеспечения пожарной безопасности.

2. Предварительная обработка экспериментальных данных. Вычисление параметров эмпирических распределений. Точечное оценивание.

3. Оценивание с помощью доверительного интервала.

4. Построение доверительного интервала для математического ожидания.

5. Построение доверительного интервала для дисперсии.

6. Определение необходимого количества опытов при построении интервальной оценки для математического ожидания. 13

7. Статистические гипотезы.

8. Отсев грубых погрешностей. Критерий Н.В. Смирнова. Критерий Диксона.

9. Сравнение двух рядов наблюдений.

10. Сравнение двух дисперсий.

11. Проверка однородности нескольких дисперсий.

12. Проверка гипотез о числовых значениях математических ожиданий.

13. Критерии согласия.

14. Проверка гипотез о виде функции распределения.

15. Преобразование распределений к нормальному.

16. Характеристика видов связей между рядами наблюдений.

17. Определение коэффициентов уравнения регрессии.

18. Определение тесноты связи между случайными величинами. Линейная регрессия от одного фактора.

19. Регрессионный анализ.

20. Проверка адекватности модели.

21. Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии.

22. Линейная множественная регрессия.

23. Нелинейная регрессия.

24. Оценка погрешностей определения величин функций

25. Обратная задача теории экспериментальных погрешностей.

26. Определение оптимальных условий эксперимента.

27. Планирование первого порядка. Выбор основных факторов и их уровней.

28. Планирование эксперимента. Определение коэффициентов уравнения

регрессии. Статистический анализ результатов эксперимента. Дробный факторный эксперимент.

29. Планы второго порядка. Ортогональные планы второго порядка. Ротатабельные планы второго порядка.

30. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий.

**Таблица 5. Критерии оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена**

Критерий оценивания	Баллы
Обучающийся ответил на два вопроса в билете. Продемонстрировал знания по формируемым компетенциям в полном объеме (приводились доводы и объяснения). Знания освоения компетенции выявлены.	30 баллов
Обучающийся ответил частично на два вопроса в билете. Продемонстрировал знания по формируемым компетенциям частично. Постиг смысл изучаемого материала (может высказать вербально, четко и ясно, или конструировать новый смысл, новую позицию). Знания освоения компетенций выявлены частично.	15 баллов
Обучающийся не ответил на вопросы в билете. Не может согласовать свою позицию или действия относительно обсуждаемой тематики. Знания компетенции не выявлены.	0 баллов