

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
по дисциплине**

**«ПЛАНИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА  
РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ»**

**Факультет:** горно-технологический

**Группа научной специальности:** 2.5 «Машиностроение»

**Научная специальность:** 2.5.21 «Машины, агрегаты и технологические процессы»

**Уровень образования:** аспирантура

**Кафедра** металлургии, машин и оборудования  
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

К.Т.Н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Е.В. Лаговская

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры, протокол № 2 от 07.05 2025 г.

И.о. зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Л.В. Крупнов

Фонд оценочных средств по дисциплине «Планирование и обработка результатов экспериментальных исследований» для промежуточной аттестации разработан в соответствии с федеральными государственными требованиями по научной специальности 2.5.21 «Машины, агрегаты и технологические процессы» на основе Рабочей программы дисциплины «Планирование и обработка результатов экспериментальных исследований», Положения о формировании Фонда оценочных средств по дисциплине (ФОС).

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Таблица 1. Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения
--------------------------------	-----------------------

Таблица 2. Паспорт фонда оценочных средств

№п/п	Контролируемые разделы(темы) дисциплины	Код результата обучения по дисциплине/ модулю	Оценочные средства текущей аттестации	
			Наименование	Форма
<b>3 курс, 4 курс</b>				

## 2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы.

### 2.1. Задания для текущего контроля успеваемости

1. Что такое планирование эксперимента и какова его основная цель?
2. Перечислите основные этапы планирования и проведения экспериментального исследования.
3. Дайте определение: параметр оптимизации (отклик), фактор, уровень фактора, интервал варьирования.
4. Какие требования предъявляются к параметру оптимизации?
5. В чём состоит принцип кодирования и нормирования факторов?
6. Назовите основные виды эксперимента: поисковый, оптимизационный, подтверждающий.
7. Какие задачи решает предварительное априорное ранжирование факторов с помощью экспертных методов?
8. Что такое репликация опытов и какова её цель?
9. В чём сущность рандомизации опытов при планировании эксперимента?
10. Что такое выборочное среднее и как оно рассчитывается?
11. Что такое выборочная дисперсия и стандартное отклонение?
12. В чём состоит метод наименьших квадратов (МНК)? Какие задачи он решает?
13. Какие допущения лежат в основе классического регрессионного анализа?
14. Как оценивается значимость коэффициентов регрессии? Что такое t-критерий Стьюдента?
15. Что такое коэффициент детерминации и о чём он говорит?
16. Какие критерии используются для проверки адекватности регрессионной модели? (F-критерий Фишера)
17. В чём сущность однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA)?
18. Что такое полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2<sup>n</sup>? Приведите пример матрицы планирования.

19. Какими свойствами обладает матрица ПФЭ (ортогональность, симметричность, нормировка)?
20. Что такое дробный факторный эксперимент (ДФЭ) и когда его применяют?
21. Что такое смешанные эффекты (confounding) в ДФЭ?
22. Как строятся центральные композиционные планы второго порядка?
23. В чём заключается метод крутого восхождения (Box–Wilson) при оптимизации по поверхности отклика?
24. Как определить значимость влияния отдельного фактора на параметр оптимизации?
25. Приведите примеры применения методов планирования эксперимента в металлургии и машиностроении.

## **2.2. Темы письменных работ (эссе, рефераты, курсовые работы и др.)**

1. Определение экспериментальной науки. Виды эксперимента: лабораторный, производственный, поисковый, оптимизационный. Основные этапы: постановка задачи, планирование, проведение, обработка результатов, интерпретация и внедрение выводов. Содержательное и формальное планирование. Понятие о теории планирования эксперимента как науки о составлении экономных экспериментальных планов. Применение в технических и технологических исследованиях.
2. Параметр оптимизации (отклик) – реакции (отклика) на воздействие факторов, определяющие поведение системы. Требования к параметру оптимизации. Выбор и классификация факторов (количественные, качественные, управляемые, неуправляемые). Область определения фактора. Выбор основного (нулевого) уровня фактора. Интервал варьирования. Кодирование и нормирование факторов. Рандомизация опытов, репликация, блочная организация эксперимента.
3. Основные понятия теории вероятностей. Виды распределений случайных величин. Оценки параметров распределения (среднее, дисперсия, стандартное отклонение). Точечные и интервальные оценки. Проверка статистических гипотез. Виды ошибок (первого и второго рода). Критерии согласия:  $\chi^2$  Пирсона, критерий Колмогорова–Смирнова, критерий Шапиро–Уилка. Применение критериев для проверки нормальности распределения экспериментальных данных.
4. Корреляционный анализ: парная и множественная корреляция. Коэффициент корреляции Пирсона. Коэффициент детерминации. Регрессионный анализ: постановка задачи регрессии. Линейная регрессионная модель. Метод наименьших квадратов для однократных и повторных наблюдений. Оценка точности коэффициентов регрессии. Доверительные интервалы коэффициентов. Нелинейная регрессия: линеаризация и нелинейный МНК.
5. Однофакторный эксперимент: дисперсионный анализ, критерий Фишера. Многофакторный эксперимент. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа  $2^n$  (план с полным перебором комбинаций факторов). Матрица планирования, свойства ПФЭ: ортогональность, симметричность, нормировка. Определение независимых оценок коэффициентов регрессии. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ). Реплики, генерирующие соотношения и смешанные эффекты (разрешающая способность плана). Центральные композиционные планы второго порядка.
6. Формирование математической модели в виде полинома (обычно первой или второй степени). Оценка значимости коэффициентов регрессии (t-критерий Стьюдента). Проверка адекватности модели (F-критерий Фишера). Исключение незначимых коэффициентов. Интерпретация математической модели: анализ влияния факторов. Кодированные и натуральные значения. Физический смысл коэффициентов при парных взаимодействиях. Оптимизация технологических процессов. Движение по поверхности отклика: метод крутого восхождения по градиенту, симплекс-планирование.

## **2.3. Фонд оценочных средств**

### 1. Задания закрытого типа на установление соответствия (4 шт.)

**Задание 1.1.** Установите соответствие между названием метода/критерия и его определением.

Метод / Критерий	Определение
1. Полный факторный эксперимент (ПФЭ)	А. Позволяет сократить число опытов за счёт использования реплик
2. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ)	Б. Устанавливает соответствие математической модели экспериментальным данным
3. Критерий Фишера (F-критерий)	В. Эксперимент, в котором реализуются все возможные комбинации факторов
4. Рандомизация	Г. Случайный порядок проведения опытов для устранения систематических ошибок

**Задание 1.2.** Установите соответствие между названием критерия проверки гипотез и его назначением.

Критерий	Назначение
1. Критерий Стьюдента (t-критерий)	А. Проверка адекватности (соответствия) математической модели экспериментальным данным
2. Критерий Фишера (F-критерий)	Б. Проверка наличия линейной связи между двумя переменными
3. Критерий $\chi^2$ Пирсона	В. Проверка гипотезы о равенстве средних двух выборок (оценка значимости коэффициента регрессии)
4. Коэффициент корреляции Пирсона	Г. Проверка гипотезы о законе распределения случайной величины (согласия)

**Задание 1.3.** Установите соответствие между понятием и его сущностью.

Понятие	Сущность
1. Фактор	А. Переменная величина, которая может принимать определённые значения в эксперименте
2. Уровень фактора	Б. Числовая характеристика положения центра распределения
3. Среднее арифметическое ( $\bar{X}$ )	В. Фиксированное значение фактора в опыте
4. Интервал варьирования	Г. Расстояние между нижним и верхним уровнями фактора

**Задание 1.4.** Установите соответствие между видом анализа и его целью.

Вид анализа	Цель
1. Дисперсионный анализ (ANOVA)	А. Выявление статистической взаимосвязи между факторами
2. Корреляционный анализ	Б. Определение влияния отдельных факторов и их взаимодействий на параметр отклика
3. Регрессионный анализ	В. Определение уравнения связи между переменными
4. Ковариационный анализ	Г. Учёт влияния дополнительных (сопутствующих) переменных при сравнении групп

**Задание 1.5.** Установите соответствие между свойством матрицы ПФЭ и его описанием.

Свойство	Описание
1. Ортогональность	А. Алгебраическая сумма элементов вектор-столбца каждого фактора равна нулю
2. Симметричность	Б. Сумма квадратов элементов каждого столбца равна числу опытов N

3. Нормировка	В. Для любого фактора «-1» и «+1» встречаются одинаковое число раз
4. Ротатабельность	Г. Дисперсия предсказанных значений одинакова во всех точках на одинаковом расстоянии от центра

## 2. Задания закрытого типа на установление последовательности – 5 шт.

*Уровень сложности: низкий–средний*

**Задание 2.1.** Укажите последовательность этапов планирования и проведения экспериментального исследования (начиная с постановки задачи).

1. Построение математической модели и её интерпретация
2. Проведение опытов и сбор экспериментальных данных
3. Постановка цели и задач эксперимента
4. Выбор факторов и определение области их варьирования
5. Статистический анализ результатов и проверка гипотез

**Задание 2.2.** Установите последовательность построения регрессионной модели по результатам ПФЭ.

1. Запись уравнения регрессии в кодированных переменных
2. Проверка значимости коэффициентов по t-критерию Стьюдента
3. Расчёт коэффициентов регрессии по формуле МНК
4. Проверка адекватности модели по F-критерию Фишера
5. Переход от кодированных переменных к натуральным

**Задание 2.3.** Укажите последовательность обработки многократных измерений по ГОСТ Р 8.736-2011.

1. Расчёт выборочного среднего ( $\bar{X}$ )
2. Исключение известных систематических погрешностей
3. Проверка наличия грубых ошибок (промахов)
4. Расчёт выборочного среднеквадратического отклонения (S)
5. Построение доверительного интервала для измеряемой величины

**Задание 2.4.** Установите последовательность процедуры проверки статистической гипотезы.

1. Задание уровня значимости  $\alpha$
2. Формулировка нулевой ( $H_0$ ) и альтернативной ( $H_1$ ) гипотез
3. Принятие или отклонение нулевой гипотезы
4. Расчёт статистики критерия (t-критерия, F-критерия)
5. Сравнение расчётного значения статистики критерия с критическим (табличным)

**Задание 2.5.** Укажите последовательность выполнения метода крутого восхождения по поверхности отклика (метод Бокса–Уилсона).

1. Проведение серии экспериментов в соответствии с планом (обычно ПФЭ)
2. Выбор направления движения по градиенту функции отклика
3. Построение линейного уравнения регрессии в кодированных переменных
4. Реализация «мысленного» шага в направлении градиента
5. Постановка реального эксперимента в найденной точке

## 3. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырёх и обоснованием – 5 шт.

*Уровень сложности: средний–высокий*

**Задание 3.1.** С какой целью проводится рандомизация (рандомизация опытов) в эксперименте?

- А) Для увеличения числа опытов
- Б) Для устранения или минимизации влияния неконтролируемых переменных

(систематических погрешностей)

В) Для облегчения расчёта коэффициентов регрессии

Г) Для обеспечения ортогональности матрицы планирования

**Задание 3.2.** Какой показатель используется для проверки адекватности регрессионной модели (соответствия модели экспериментальным данным)?

А) Коэффициент корреляции ( $r$ )

Б) Критерий Стьюдента ( $t$ -критерий)

В) Критерий Фишера ( $F$ -критерий)

Г) Коэффициент детерминации ( $R^2$ )

**Задание 3.3.** При построении плана полного факторного эксперимента типа  $2^3$  (три фактора на двух уровнях) общее количество опытов составит:

А) 6 опытов

Б) 8 опытов

В) 9 опытов

Г) 12 опытов

**Задание 3.4.** Если коэффициент регрессии  $b_j$  (при кодированных переменных) оказался незначимым по  $t$ -критерию Стьюдента, что следует сделать при построении модели?

А) Оставить коэффициент в модели, он может быть значим для других условий

Б) Исключить коэффициент из уравнения регрессии и пересчитать модель для оставшихся значимых коэффициентов

В) Провести дополнительную серию опытов специально для этого фактора

Г) Уменьшить интервал варьирования фактора

**Задание 3.5.** При проверке нормальности распределения экспериментальных данных аспирант получил расчётное значение критерия Шапиро–Уилка  $p = 0,032$ . Что это означает при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ?

А) Распределение является нормальным с вероятностью 95%

Б) Распределение не является нормальным (нулевая гипотеза о нормальности отвергается)

В) Необходимо увеличить объём выборки

Г) Данные имеют грубые ошибки

**4. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа и развёрнутым обоснованием – 5 шт.**

**Уровень сложности: высокий**

**Задание 4.1.** Какие из перечисленных методов относятся к математическим методам планирования эксперимента? Выберите **все верные**.

1. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа  $2^n$

2. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ)

3. Метод «мозгового штурма»

4. Ротатабельные центральные композиционные планы (ЦКРП)

5. Метод крутого восхождения (Box–Wilson)

**Задание 4.2.** Какие из перечисленных требований предъявляются к факторам, включаемым в эксперимент? Выберите **все правильные**.

1. Фактор должен быть управляемым

2. Фактор должен быть некоррелированным с другими факторами

3. Фактор должен иметь точность измерений выше точности измерения параметра оптимизации

4. Фактор должен иметь не менее трёх уровней варьирования

5. Фактор должен быть совместимым с другими факторами

**Задание 4.3.** Выберите критерии, которые **могут** использоваться для проверки адекватности (соответствия) построенной математической модели экспериментальным данным.

Отметьте **все применимые**.

1. Коэффициент детерминации ( $R^2$ )
2. Критерий Фишера (F-критерий)
3. Критерий Стьюдента (t-критерий)
4. Средняя относительная погрешность аппроксимации (E)
5. Критерий Дарбина–Уотсона (для проверки автокорреляции остатков)

**Задание 4.4.** Какие преимущества даёт применение методов планирования эксперимента по сравнению с классическим методом «один фактор за один раз»? Выберите **все верные**.

1. Существенное сокращение общего числа необходимых опытов
2. Возможность выявления и количественной оценки эффектов взаимодействия факторов
3. Возможность построения математической модели процесса («чёрного ящика»)
4. Исключение необходимости предварительного теоретического анализа объекта
5. Упрощение расчёта средних значений отклика

**Задание 4.5.** Какие из перечисленных видов экспериментальных планов относятся к **оптимизационным** (направленным на поиск оптимальных условий процесса) в отличие от поисковых или скрининговых? Выберите **все верные**.

1. План крутого восхождения по поверхности отклика (Box–Wilson)
2. Симплекс-планирование
3. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ)  $\frac{1}{2}$  реплики
4. Центральные композиционные планы (ЦКРП) второго порядка
5. Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA)

**5. Задание открытого типа с развёрнутым ответом – 5 шт.**

**Уровень сложности: высокий (анализ, синтез, оценка)**

**Задание 5.1.** Сравните **полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа  $2^n$**  и **дробный факторный эксперимент (ДФЭ)**. Укажите достоинства и недостатки каждого. В каких случаях применение ДФЭ оправдано?

**Задание 5.2.** Опишите **методику проверки нормальности распределения экспериментальных данных**. Какие критерии проверки нормальности вы знаете? Какую роль играет проверка на нормальность при применении статистических методов?

**Задание 5.3.** По результатам полного факторного эксперимента  $2^3$  получена следующая регрессионная модель в кодированных переменных:  $y = 45,2 + 2,3 \cdot x_1 - 1,5 \cdot x_2 + 0,8 \cdot x_3 + 0,6 \cdot x_1 x_2$ , где  $y$  – прочность образца (МПа). Все коэффициенты значимы по t-критерию. Факторы  $x_1$  (температура спекания, °С) и  $x_2$  (время выдержки, час) варьировались в следующих натуральных границах:  $x_1$ : 200 °С (–1) / 400 °С (+1),  $x_2$ : 2 час (–1) / 6 час (+1). Проведите содержательный анализ модели. Какой фактор оказывает наибольшее влияние на прочность? Что показывают знаки коэффициентов? Как интерпретировать коэффициент при взаимодействии  $x_1 x_2$ ? Рассчитайте прочность при температуре 300 °С и времени выдержки 4 часа ( $x_1$  и  $x_2$  на нулевых уровнях).

**Задание 5.4.** Разработайте **план-матрицу полного факторного эксперимента  $2^2$**  для изучения влияния двух факторов на параметр оптимизации. Какие проверки необходимо выполнить после эксперимента? Как перейти от кодированных переменных к натуральным?

**Задание 5.5.** При проверке адекватности регрессионной модели по F-критерию Фишера аспирант получил следующие значения: дисперсия неадекватности  $S^2_{ад} = 4,8$ , дисперсия

воспроизводимости  $S^2_y = 2,1$ , число степеней свободы числителя  $f_1 = 3$ , знаменателя  $f_2 = 8$ . Критическое значение F-критерия для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  составляет  $F_{\text{крит}} = 4,07$ . Следует ли признать модель адекватной? Ответ обоснуйте расчётом. Что следует предпринять, если модель окажется неадекватной?