

Рабочая программа
утверждена решением
Учёного совета
ВФ НИТУ «МИСИС»
от «15» мая 2025 г.
протокол № 8-25

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Экспериментальные методы исследования

Закреплена за кафедрой
Технологии и оборудования обработки металлов давлением

Направление подготовки
Профиль

15.03.02 Технологические машины и оборудование
Инжиниринг технологического оборудования

Квалификация
Форма обучения
Общая трудоемкость
Часов по учебному плану
в том числе:
аудиторные занятия
самостоятельная работа
часов на контроль

бакалавр
заочная
5 ЗЕТ
180
16
124
36

Формы контроля в семестрах:
экзамен 5

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)			
Неделя	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	6	6	6	6
Практические	10	10	10	10
Контроль самостоятельной работы	4	4	4	4
В том числе в форме практ.подготовки	14	14	14	14
Итого ауд.	16	16	16	16
Контактная работа	20	20	20	20
Сам. работа	124	124	124	124
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

Доц., Fortunatov A.N.

Рабочая программа

Экспериментальные методы исследования машин

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (приказ от 25.11.2021 г. № 465 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

15.03.02 Технологические машины и оборудование, МО-25 ЗО.plx Инжиниринг технологического оборудования, утвержденного Ученым советом ВФ НИТУ «МИСИС» 26.12.2024, протокол № 4-24

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Технологии и оборудования обработки металлов давлением

Протокол от 27.04.2025 г., №8

Зав. кафедрой Горбатюк С.М.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ	
1.1	Ознакомить с теоретическими основами экспериментальных методов исследования металлургических машин и оборудования; научить методике проведения эксперимента и определению оптимальных условий его проведения, применению методов математической статистики для обработки и оценки экспериментальных результатов, построению математических моделей технических объектов по опытным данным и проведению их анализа.
1.2	Подготавливать и проводить экспериментальные исследования металлургических машин и оборудования, оценивать надёжность и значимость экспериментальных результатов; описывать результаты эксперимента функциональными зависимостями; планировать эксперименты, строить по экспериментальным данным модели, проверять адекватность эмпирических моделей, принимать обоснованные решения в выборе модели.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	
Цикл (раздел) ОП:	Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Механика
2.1.2	Теория механизмов и машин
2.1.3	Материаловедение
2.1.4	Физика
2.1.5	Информатика
2.1.6	Информационные технологии
2.1.7	Математика
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Защита интеллектуальной собственности
2.2.2	Научно-исследовательская работа
2.2.3	Высокотехнологичные комплексы обработки материалов
2.2.4	Научно-исследовательская работа
2.2.5	Проектирование металлургических цехов
2.2.6	Производственная практика
2.2.7	Эксплуатационная практика
2.2.8	Инжиниринг оборудования для обработки материалов
2.2.9	Надёжность технологических машин
2.2.10	Оборудование современных металлургических производств
2.2.11	Деформационные модули
2.2.12	Компьютерное моделирование и проектирование машин и агрегатов
2.2.13	Подготовка к процедуре защиты и процедура защиты ВКР
2.2.14	Преддипломная практика
2.2.15	Эксплуатация и ремонт машин и агрегатов

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ	
ПК-1: Способен осуществлять обработку научно-технической информации и результатов исследований	
Знать:	
ПК-1-31 эмпирические и теоретические методы исследования	
ПК-1-31 передовой и международный опыт планирования, проведения и анализа полученных данных при проведении экспериментальных исследований машин	
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач	
Знать:	
УК-1-31 методики поиска и анализа необходимой информации, получаемой при проведении экспериментальных исследований машин	
ПК-1: Способен осуществлять обработку научно-технической информации и результатов исследований	
Уметь:	
ПК-1-У1 применять эмпирические и теоретические методы исследования при проведении эксперимента	

ПК-1-У1 анализировать и обобщать передовой и международный опыт планирования, проведения и анализа полученных данных при проведении экспериментальных исследований машин						
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач						
Уметь:						
УК-1-У1 осуществлять поиск и анализ необходимой информации с использованием методов экспериментальных исследований						
ПК-1: Способен осуществлять обработку научно-технической информации и результатов исследований						
Владеть:						
ПК-1-В1 методами планирования, проведения и обработки информации при проведении экспериментальных исследований						
ПК-1-В1 методиками анализа и обобщения передового и международного опыта планирования, проведения и анализа полученных данных при проведении экспериментальных исследований машин						
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач						
Владеть:						
УК-1-В1 методами поиска и анализа информации при проведении экспериментальных исследований						
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ						
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература и эл. ресурсы	Примечание
	Раздел 1. Цели, задачи и теоретические основы экспериментальных методов исследования металлургических машин и оборудования					
1.1	Цели и задачи исследования металлургических машин и оборудования. Понятие объекта исследования. Основные подходы к исследованию объекта. Классификация методов исследований. /Лек/	5	0,5	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3 Э1	
1.2	Изучение материалов лекционных занятий. Подготовка к экзамену. /Ср/	5	15	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3 Э1	
1.3	Подготовка к экзамену. /Экзамен/	5	8	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3 Э1	
	Раздел 2. Статистические методы при подготовке, проведении и обработке результатов исследований машин					
2.1	Сбор информации об объекте исследования. Априорное ранжирование переменных объекта исследований. Метод ранговой корреляции. Задача дисперсионного анализа. Однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ. Алгоритм дисперсионного анализа. Отбор значимых факторов при исследовании машин с помощью метода случайного баланса. Корреляционный анализ. Статистическая обработка результатов эксперимента. Метод наименьших квадратов.	5	1,5	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3Л2.1	
2.2	Метод экспертных оценок при отборе факторов для исследования металлургических машин. Исследование значимости факторов методом дисперсионного анализа. Исследование наличие связи между фактором и откликом объекта (корреляционный анализ). Метод случайного баланса при отборе факторов на этапе предварительного эксперимента. /Пр/	5	2	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3Л2.1	

2.3	Изучение материалов лекционных и практических занятий. Работа над домашними заданиями. Подготовка к экзамену. /Ср/	5	34	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3Л2.1	
2.4	Подготовка к экзамену. /Экзамен/	5	10	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.3Л2.1	
	Раздел 3. Методы планирования экспериментов по исследованию машин и оборудования, подготовка и проведение эксперимента					
3.1	Задачи планирования активного эксперимента. Кодирование переменных. Полный факторный эксперимент; уровни и интервал варьирования факторов. Построение матрицы планирования и её свойства. Реализации матрицы планирования. Расчёт коэффициентов уравнения регрессии, оценка их значимости. Проверка адекватности регрессионной модели. Оптимизация параметров металлургических машин на основе математических моделей, методы оптимизации, алгоритмы их реализации. /Лек/	5	2	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1	
3.2	Выбор уровней факторов и интервалов варьирования. Составление матрицы плана проведения полного факторного эксперимента, рабочей матрицы. Расчёт коэффициентов уравнения матмодели. Проверка значимости коэффициентов и адекватности уравнения математической модели исследуемого объекта. Определение оптимальных параметров объекта. /Пр/	5	4	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1	
3.3	Изучение материалов лекционных и практических занятий. Работа над домашними заданиями. Подготовка к экзамену. /Ср/	5	35	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1	
3.4	Подготовка к экзамену. /Экзамен/	5	10	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1	
	Раздел 4. Методы исследования напряженного и деформированного состояния элементов конструкций металлургических машин и оборудования. Экспериментальные методы и технические средства исследования напряжений и деформаций.					

4.1	Основные допущения о свойствах материала. Напряженное состояние в точке. Условия равновесия. Главные и экстремальные касательные напряжения. Инварианты напряженного состояния. Классификация напряженных состояний. Плоское напряженное состояние. Начальные и текущие координаты. Перемещения. Линейные и сдвиговые деформации. Главные деформации. Относительное изменение объема. Условия неразрывности деформаций. Обобщенный закон упругости для изотропного тела. Объемный закон Гука. Потенциальная энергия упругой деформации. Назначение теорий предельного состояния. Классические теории прочности и их применение для оценки надежности элементов металлургического оборудования. Струнные тензометры, принцип действия и конструкция. Тензорезисторы сопротивления: схема и принцип действия проволочных, фольговых и полупроводниковых тензорезисторов, метрологические характеристики тензорезисторов. Тарировка тензорезисторов. Температурная компенсация в электротензометрии. Методы определения напряжений и деформаций в деталях металлургического оборудования с помощью тензорезисторов. Применение розеток датчиков для анализа плоского напряженно-деформированного состояния. Классификация, характеристика и область применения оптических методов измерения напряжения и деформаций. Физические основы поляризационно-оптического метода, устройство плоского и кругового полярископа, пьезооптический эффект, закон Вертгейма. Нагруженная модель в поле плоского полярископа, картины изохром и изоклин. Получение картин изохром с помощью кругового полярископа. Метод оптически чувствительных покрытий. Основы метода, работа покрытия и его подкрепляющее действие, погрешность определения порядков полос. Техника эксперимента: материалы покрытий и их нанесение, тарировочные испытания. Разделение напряжений и деформаций. /Лек/	5	2	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.4	
4.2	14 Анализ электрических схем включения тензорезисторов для определения напряжений и деформаций с помощью тензорезисторов в деталях металлургического оборудования, работающих на растяжение (сжатие), изгиб, кручение. Применение розеток датчиков для анализа плоского напряженно-деформированного состояния. /Пр/	5	4	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.4	
4.3	Изучение материалов лекционных и практических занятий. Работа над домашними заданиями. Подготовка к экзамену. /Ср/	5	40	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.4	
4.4	Подготовка к экзамену. /Экзамен/	5	8	УК-1.1 ПК-1.1 ПК-1.2	Л1.4	

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену (зачёту с оценкой)

Список вопросов для самостоятельной подготовки к экзамену, проведения коллоквиума и контрольных работ (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)

1. Цели и задачи исследования металлургических машин и оборудования
2. Эмпирические методы исследования, виды и классификация;
3. Теоретические методы исследования, виды и классификация;
4. Эмпирический метод - наблюдение;
5. Эмпирический метод - измерение;
6. Методы отслеживания объекта;
7. Определение эксперимента, определение активного и пассивного эксперимента;
8. Способы определения величин в механике твёрдого деформированного тела, классификация;
9. Основные понятия теории вероятности и математической статистики (случайная величина, вероятность, математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение);
10. Объект исследования, определение, метод чёрного ящика.
11. Опрос и метод экспертных оценок. Построение матрицы опроса, присвоения рангов в методе экспертных оценок. Анализ и интерпретация результатов ранжирования в методе экспертных оценок.
12. Обработка матрицы опроса (устранение связанных рангов). Проверка на адекватность изменённой таблицы. Критерий Спирмена. Проверка на согласованность мнений экспертов. Критерий Кэндела.
13. Учёт компетентности специалистов в методе экспертных оценок;
14. Однофакторный дисперсионный анализ, цели и задачи, построение матрицы;
15. Двухфакторный дисперсионный анализ, цели и задачи, построение матрицы;
16. Понятие нулевой гипотезы в дисперсионном анализе. Определение значимости через Критерий Фишера.
17. Стохастическая связь, определение. Ковариация двух случайных величин.
18. Коэффициент корреляции и поле распределения случайной величины;
19. Выборочный коэффициент корреляции. Определение связи или её отсутствия через выборочный коэффициент корреляции;
20. Определение регрессии. Регрессионный анализ. Определение значимости регрессионной модели;
21. Определение метода наименьших квадратов. Эмпирическая кривая регрессии.
22. Линейная регрессия от одного параметра; Определение зависимости коэффициентов уравнения регрессии;
23. Параболическая регрессия.
24. Понятие полного факторного эксперимента и построение матрицы планирования;
25. Кодировка факторов при планировании проведения эксперимента, (двухуровневая и многоуровневая кодировка);
26. Построение регрессионной модели из матрицы ПФЭ. Определение коэффициентов модели.
27. Устранение незначительных слагаемых математической модели ПФЭ с помощью критерия Стьюдента.
28. Нахождение оптимального параметра функции отклика.
29. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ) для двухуровневых факторов, основные понятия.
30. Способы принятия решений при выборе и составления реплик ДФЭ.
31. Понятие напряжённого состояния в точке. Условие равновесия элементарного объёма металла.
32. Определение максимальных нормальных и касательных напряжений в точке.
33. Понятие главных напряжений. Инварианты напряжённого состояния.
34. Построение диаграммы мора.
35. Понятие деформированного состояния в точке. Линейные и угловые деформации. Уравнение неразрывности поля деформации.
36. Обобщённый закон упругости.
37. Потенциальная энергия упругой деформации и её определение.
38. Физические основы электротензометрии.
39. Устройство проволочного датчика сопротивления, его характеристики, материал и способ тарировки.
40. Способ установки проволочного датчика на деталь оборудования. Клей применяемый при наклейке датчиков.
41. Температурная компенсация в электротензометрии.
42. Измерение усилий, моментов и перемещений при деформации деталей оборудования с помощью тензорезисторов.
43. Применение розеток электротензометрических датчиков для определения напряжений и деформаций плосконапряжённого состояния.
44. Физические основы поляризационно-оптического метода, определение поляризации света.
45. Устройство и принцип работы плоского полярископа.
46. Устройство и принцип работы круглого полярископа.
47. Пьезооптический эффект, теория Максвелла, закон Вертгейма и их применение для определения напряжений и деформаций при деформировании прозрачных моделей.
48. Нагруженная модель в поле плоского полярископа. Картины изохром и изоклин.
49. Нагруженная модель в поле кругового полярископа. Картины изохром и изоклин.
50. Метод оптически-чувствительных покрытий (ОЧП) при определении напряжённо-деформированного состояния.
51. Метод случайного баланса и его использование при проведении эксперимента.

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.

Домашнее задание 1 раздел 2 (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)
 Домашнее задание 2 раздел 2 (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)
 Домашнее задание 3 раздел 2 (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)
 Домашнее задание 4 раздел 3 (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)
 Коллоквиум разделы 1,2 (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)
 Коллоквиум разделы 3,4 (ПК-1.1, ПК-1.2, УК-1.1)

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По курсу в пятом семестре предусмотрен экзамен.(ПК-1.1, ПК-1.2,УК-1.1)

Билет включает два теоретических вопроса и ответы по решениям задач, разбираемых на практических занятиях и в домашних заданиях.

Билеты хранятся на кафедре.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Промежуточная аттестация по дисциплине предусмотрена в форме экзамена.

Для допуска к экзамену необходимо выполнение следующих условий:

1. Регулярное посещение лекционных и практических занятий

2. Выполнение всех предусмотренных по дисциплине контрольных мероприятий

При сдаче домашнего задания предусмотрена система оценивания по пятибальной системе.

Для успешной сдачи ДЗ необходимо грамотно и верно ответить на 2 теоретических вопроса или 1 теоретический вопрос и решить задачу.

Шкала оценивания знаний обучающихся на экзамене:

Оценка «отлично» - обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

Возможно проставление оценки за экзамен на основе оценок контрольных мероприятий семестра

Результат освоения компетенций (частей компетенций) устанавливается следующим образом:

Оценка «Отлично» - Компетенция сформирована.

Оценка «Хорошо» - Компетенция сформирована.

Оценка «Удовлетворительно» - Компетенция сформирована.

Оценка «Неудовлетворительно» - Компетенция не сформирована

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛП.1	Лопатин В.Ю., Шуменко В.Н.	Организация эксперимента.Симплексное планирование: Учебное пособие	Методические пособия	Москва, 2010
ЛП.2		Организация эксперимента. Планирование эксперимента в процессах ОМД.: Методические указания к выполнению курсовых работ	Методические пособия	Москва, 2003
ЛП.3	Соловьев В.П., Богатов Е.М. Соловьев В.П.,Богатов Е.М.	Организация эксперимента: учебное пособие	Электронный каталог	Старый Оскол ТНТ, 2012
ЛП.4	Чиченев Н.А., Кудрин А.Б., Полухин П.И.	Методы исследования процессов обработки металлов давлением: учебное пособие	Электронный каталог	Москва Металлургия, 1977

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
--	---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы,	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Лопатин В.Ю., Шуменко В.Н.	Организация и планирование экспериментат: Практикум	Методические пособия	Москва, 2010
6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»				
Э1	Рузавин Г.И. Р83 Методология научного познания: Учеб. пособие для вузов / Г. И. Рузавин. — М.: ЮНИТИ- ДАНА, 2012. — 287 с.		https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/uchebnye_posobija_uche bniki/ruzavin_g_i_metodologija_nauchnogo_poznaniya_uchebnoe_ posobie_dlja_vuzov/27-1-0-3679	
6.3 Перечень программного обеспечения				
П.1	- MS Office			
П.2	- LMS Canvas			
П.3	- MS Teams			
П.4	- ОС Windows			
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных				
И.1	Научная электронная библиотека eLIBRARY.ru – URL: https://elibrary.ru/			
И.2	Научная электронная библиотека МИСИС - URL: http://elibrary.misis.ru/login.php			
И.3	Электронная библиотечная система (ЭБС) – «Университетская библиотека онлайн» открытый круглосуточный доступ через интернет с регистрацией в библиотеке и вводом пароля.- URL: http://biblioclub.ru/			
7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ				
Ауд.		Назначение	Оснащение	
2		Экспериментальные исследования машин	компьютер, проектор, экран, интерактивная доска комплект тематических презентаций, доступ к интернету	
6		Организация и планирование эксперимента	Компьютеры, доступ к интернету	
8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ				
1. Посещать все виды занятий. 2. Своевременно зарегистрироваться на рекомендованные электронные ресурсы -LMS Canvas и MS Teams. 3. При возникновении любых вопросов по содержанию курса и организации работы своевременно обращаться к преподавателю (в часы очных консультаций, через MS Teams или LMS Canvas). 4. Активно работать с базами сайтов, находящимся в открытом доступе в сети Интернет. 5. Иметь доступ к компьютеру, подключенному к сети Интернет. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей аттестации на LMS Canvas. Дополнительная литература (с литературой можно работать на кафедре в часы консультации и СР)				