

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО

Директор института магистратуры

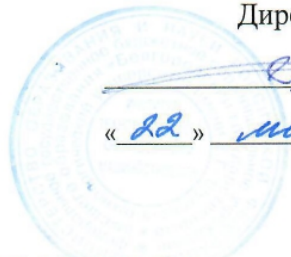


И.В. Космачева

2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор института



С.С. Латышев

« 22 » _____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)

Теория планирования многофакторных экспериментов

направление подготовки:

15.04.06 Мехатроника и робототехника

профиль:

Робототехника и искусственный интеллект

Квалификация:

Магистр

Форма обучения

Очная

Институт: Технологического оборудования и машиностроения

Кафедра: Технологии машиностроения

Белгород 2023

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 15.04.06 – Мехатроника и робототехника, утвержденного приказа Минобрнауки России от 14 августа 2020 г. № 1023
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2023 году.

Составитель (составители): д.т.н., доц.  (Дююн Т. А.)

_____ асс.  (Чуев К. В.)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 15 » 05 2023 г., протокол № 11

Заведующий кафедрой: д.т.н., доц.  (Т.А. Дююн)

(ученая степень и звание, подпись)

(инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 22 » 05 2023 г., протокол № 6

Председатель _____  (И.В. Кирилов)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-3 Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного уровня	ОПК-3.1 Планирует профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений	<p>Знать: Общие вопросы теории и практики планирования и организации эксперимента; Проблемы и задачи организации научного и промышленного эксперимента;</p> <p>Уметь: Выбирать план эксперимента; Организовывать, планировать и проводить экспериментальные работы; Применять современные математические программные пакеты MathCad, Maple, Matlab;</p> <p>Владеть: Практическими навыками решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа, рассмотренных в течении курса</p>

<p>Общепрофессиональные компетенции</p>	<p>ОПК-7 Способен разрабатывать современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых энергетических ресурсов в машиностроении</p>	<p>ОПК-7.1 Разрабатывает современные методы рационального использования сырьевых энергетических ресурсов при проектировании робототехнических систем</p>	<p>Знать: Общие вопросы теории и практики планирования и организации эксперимента; Проблемы и задачи организации научного и промышленного эксперимента; Уметь: Выбирать план эксперимента; Организовывать, планировать и проводить экспериментальные работы; Применять современные математические программные пакеты MathCad, Mapple, Mathlab; Владеть: Практическими навыками решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа, рассмотренных в течении курса</p>
<p>Общепрофессиональные компетенции</p>	<p>ОПК-8 Способен оптимизировать затраты на обеспечение деятельности производственных подразделений</p>	<p>ОПК-8.2 Оптимизирует технологические процессы в производственном подразделении с целью оптимизации затрат на обеспечение их деятельности</p>	<p>Знать: Общие вопросы теории и практики планирования и организации эксперимента; Проблемы и задачи организации научного и промышленного эксперимента; Уметь: Выбирать план эксперимента; Организовывать, планировать и проводить экспериментальные работы; Применять современные математические программные пакеты MathCad, Mapple, Mathlab; Владеть: Практическими навыками решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа, рассмотренных в течении курса</p>

<p>Общепрофессиональные компетенции</p>	<p>ОПК-9 Способен разрабатывать и осваивать новое технологическое оборудование</p>	<p>ОПК-9.2 Производит разработку и тестирование нового технологического оборудования</p>	<p>Знать: методы научно-исследовательской деятельности; основные концепции тестирования технологического оборудования. Уметь: использовать методы научно-исследовательской деятельности; проводить общую разработку и тестирование нового технологического оборудования. Владеть: навыками анализа основных методов научно-исследовательской деятельности; практическими навыками тестирования нового технологического оборудования.</p>
<p>Общепрофессиональные компетенции</p>	<p>ОПК-10 Способен разрабатывать методики контроля и обеспечения производственной и экологической безопасности на рабочих местах</p>	<p>ОПК-10.2 Планирует профессиональную деятельность на рабочем месте с соблюдением требований пожарной безопасности, электробезопасности, экологической безопасности</p>	<p>Знать: методологию планирования исследований в профессиональной деятельности с соблюдением требований пожарной безопасности, электробезопасности, экологической безопасности. Уметь: использовать на практике методологию планирования исследований в профессиональной деятельности с соблюдением требований пожарной безопасности, электробезопасности, экологической безопасности. Владеть: практическими навыками применения методологию планирования исследований в профессиональной деятельности с соблюдением требований пожарной безопасности, электробезопасности, экологической безопасности.</p>

<p>Общепрофессиональные компетенции</p>	<p>ОПК-12 Способен организовывать монтаж, наладку, настройку и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей</p>	<p>ОПК-12.1 Организовывает монтаж, наладку, настройку и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей</p>	<p>Знать: теоретические аспекты экспериментальных исследований и основные принципы организации монтажа, наладки, настройки и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей. Уметь: проводить предварительную подготовку к исследованию и теоретические аспекты экспериментальных исследований и основные принципы организации монтажа, наладки, настройки и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей. Владеть: проведением всех этапов активного (планового) эксперимента.</p>
-----------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ОПК-3. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного уровня.

2. Компетенция ОПК-7. Способен разрабатывать современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении.

3. Компетенция ОПК-8. Способен оптимизировать затраты на обеспечение деятельности производственных подразделений.

4. Компетенция ОПК-9. Способен разрабатывать и осваивать новое технологическое оборудование.

5. Компетенция ОПК-10. Способен разрабатывать методики контроля и обеспечения производственной и экологической безопасности на рабочих местах.

6. Компетенция ОПК-12. Способен организовывать монтаж, наладку, настройку и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины ¹
1	Системы поддержки принятия решений
2	Защита интеллектуальной собственности
3	Основы программирования Python

¹ В таблице должны быть представлены все дисциплины и(или) практики, которые формируют компетенцию в соответствии с компетентностным планом. Дисциплины и(или) практики указывать в порядке их изучения по учебному плану.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зач. единиц, 108 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки²:

Форма промежуточной аттестации зачет

(экзамен, дифференцированный зачет, зачет)

Вид учебной работы ³	Всего часов	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины, час	108	144
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	54	54
лекции	34	34
лабораторные	–	–
практические	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации ⁴	3	3
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	54	54
Курсовой проект	–	–
Курсовая работа	–	–
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание	–	–
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	36	36
Экзамен, зачет	зачет	зачет

² если дисциплина не реализуется в рамках практической подготовки – предложение убрать

³ в соответствии с ЛНА предусматривать

- не менее 0,5 академического часа самостоятельной работы на 1 час лекций,
- не менее 1 академического часа самостоятельной работы на 1 час лабораторных и практических занятий,
- 36 академических часов самостоятельной работы на 1 экзамен
- 54 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовой проект, включая подготовку проекта, индивидуальные консультации и защиту
- 36 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовую работу, включая подготовку работы, индивидуальные консультации и защиту
- 18 академических часов самостоятельной работы на 1 расчетно-графическую работу, включая подготовку работы, индивидуальные консультации и защиту
- 9 академических часов самостоятельной работы на 1 индивидуальное домашнее задание, включая подготовку задания, индивидуальные консультации и защиту
- не менее 2 академических часов самостоятельной работы на консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации

⁴ включают предэкзаменационные консультации (при наличии), а также текущие консультации из расчета 10% от лекционных часов (приводятся к целому числу)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям ⁵
1. Полный факторный эксперимент					
	Выбор локальной области эксперимента: выбор основного уровня и интервалов варьирования факторов. Формулы кодирования факторов. Понятие о планах первого порядка и полном факторном эксперименте. Порядок построения матрицы планирования эксперимента	2	1		2
2. Дробный факторный эксперимент.					
	Правила построения матрицы дробного многофакторного эксперимента. Понятие о дробной реплике, эффекте взаимодействия. Условные обозначения и характеристика дробных реплик.	2	1		2
3. Проведение эксперимента.					
	Методики отсеивания несущественных факторов. метод парной корреляции. Методы уменьшения влияния систематических погрешностей: рандомизация. разбиение матрицы плана на блоки. Порядок проведения и обработки параллельных опытов. Методика сравнения	4	2		4
4. Обработка результатов факторного эксперимента					
	Положения о регрессивном анализе. Назначение метода наименьших квадратов. Три варианта дублирования опытов в точках факторного пространства и обработки результатов эксперимента. Два метода раскодирования уравнений регрессии.	4	2		4
5. Отыскание оптимума в экстремальных экспериментах методом крутого восхождения по поверхности отклика.					
	Схема движения к оптимуму. Принципы движения к оптимуму: движение по градиенту функции и отклика, шаговый принцип движения. Расчёт координат точек движения к оптимуму.	4	2		4
6. Центральные композиционные планы (ЦКП) второго порядка для экстремальных экспериментов					
	Общий вид уравнения регрессии ЦКП. Схемы факторных пространств и матриц ЦКП для двух- и	6	3		7

⁵ Указать объем часов самостоятельной работы для подготовки к лекционным, практическим, лабораторным занятиям

	трехфакторных экспериментов. Особенности ортогональных и рототабельных ЦКП: область применения, построение матриц планирования эксперимента, обработка результатов эксперимента.				
7. Поиск и исследование области оптимума.					
	Сущность методов поиска условного оптимума при исследовании многофакторных процессов. Особенности графоаналитического метода поиска оптимума квадратной функции: каноническое преобразование функции отклика, геометрическая интерпретация функции для двухфакторного эксперимента, анализ поверхности отклика с помощью метода двумерных сечений	6	3		7
8. Оптимизация многофакторного процесса с несколькими выходными параметрами					
	Сущность оптимизации графоаналитическим методом с помощью совмещенных двумерных сечений нескольких поверхностей отклика. Пример оптимизации двухфакторного технологического процесса путем решения компромиссной задачи: нахождение условного оптимума для одного выходного параметра при ограничении по второму параметру.	4	2		4
9. Планирование промышленных экспериментов.					
	Особенности планирования и реализации экспериментальных исследований в промышленных условиях. Сущность методов эволюционного планирования (ЭВОП) эксперимента и последовательного симплекс планирования. Схемы движения к оптимуму в двухфакторном пространстве. Построение матриц планирования эксперимента. Особенности обработки результатов эксперимента.	2	1		2
	ВСЕГО	34	17	–	36

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям ⁶
семестр № 2				
1	Полный факторный эксперимент	Для двух-, трёх-, четырех- и пятифакторных экспериментов построение матриц планирования эксперимента и исходных уравнений регрессии первого порядка. Анализ четырёх свойств матрицы планирования.	1	2
2	Дробный факторный эксперимент	Построение матриц дробного эксперимента типа: полуреплика, 1/4 реплика, 1/8 реплика и т.д. Правила смешивания линейных эффектов для получения дробных реплик	1	2
3	Проведение эксперимента	Проведение и статистическая обработка параллельных (повторных) опытов. Новый метод определения необходимого количества параллельных опытов.	2	4
4	Обработка результатов факторного эксперимента	Обработка результатов многофакторного эксперимента при равномерном, неравномерном дублировании опытов и без дублирования опытов. Раскодирование уравнений регрессии с исходной моделью в виде полинома m в виде степенной функции.	2	4
5	Отыскание оптимума в экстремальных экспериментах методом крутого восхождения по поверхности отклика	Принцип крутого восхождения – движение в направлении градиента функции отклика, практическое решение задачи отыскания оптимума функции стойкости инструмента.	2	4
6	Центральные композиционные планы второго плана для экстремальных экспериментов	Для двух- и трёхфакторных экспериментов построение матриц ортогональных и рототабельных ЦКП второго порядка и исходных квадратных уравнений регрессии. Порядок обработки результатов ЦКП.	3	7
7	Поиск и исследование области оптимума	Графоаналитический метод поиска и исследование области оптимума, представленной полиномом второй степени на примере двухфакторного технологического процесса и использование метода двумерных сечений.	3	7
8	Оптимизация	Решение задачи оптимизации	2	4

⁶ Количество часов самостоятельной работы для подготовки к практическим занятиям

	многофакторного процесса с несколькими параметрами	технологического процесса с несколькими выходными параметрами при взаимных ограничениях параметров на конкретном примере двухфакторного процесса электроэрозионной прошивки отверстий		
9	Планирование промышленных экспериментов	Решение задачи отыскания оптимума методом ЭВОП - эволюционного планирования эксперимента последовательного симплекс-планирования на примере двухфакторного процесса	1	2
ИТОГО:			17	36
ВСЕГО:			17	36

4.3. Содержание лабораторных занятий

Не предусмотрено учебным планом

4.4. Содержание курсового проекта/работы⁷

Не предусмотрено учебным планом

4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий⁸

Учебным планом предусмотрено РГЗ с объемом самостоятельной работы студента (СРС) – 18 часов.

Тема РГЗ– «Рототабельное планирование второго порядка с разработкой математических моделей и оптимизацией двухфакторного процесса с двумя выходными параметрами».

Варианты в количестве 21 представлены в пособии [2]. Возможно кратное увеличение количества вариантов путём изменения в исходных условиях всех вариантов доверительной вероятности расчётов в пределах 90-99% и ограничительного параметра по износу электрода-инструмента.

РГЗ включает в себя:

1. Введение.

1.1. Описание эксперимента.

1.2. Исходные данные и результаты измерений в эксперименте.

1.3. Задачи эксперимента и работы.

2. Обработка результатов эксперимента первого порядка.

3. Обработка результатов опытов центрального композиционного рототабельного униформ-планирования второго порядка.

3.1. Вычисления для выходного параметра оптимизации - производительность процесса.

3.2. Вычисления для ограничительного выходного параметра - относительного линейного износа электрода-инструмента.

⁷ Если выполнение курсового проекта/курсовой работы нет в учебном плане, то в данном разделе необходимо указать «Не предусмотрено учебным планом»

⁸ Если выполнение расчетно-графического задания/индивидуального домашнего задания нет в учебном плане, то в данном разделе необходимо указать «Не предусмотрено учебным планом»

4. Поиск и исследование области оптимума с помощью графоаналитического метода двумерных совмещенных сечений поверхности отклика.

5. Построение и анализ графиков.

Список литературы.

РГЗ включает семь рисунков:

Рис. 1 Двумерное факторное пространство.

Рис.2 Трёхмерный график функции производительности:

а - объёмный график;

б - график с видом по оси энергии;

в – график с видом по оси частоты;

Рис. 3 Трёхмерный график функции износа электрода-инструмента:

а – объёмный график;

б - график с видом по оси энергии;

в – график с видом по оси частоты;

Объем РГЗ 25-30 стр.

В процессе выполнения расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитории и/или посредством электронной информационно-образовательной среды университета.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1 Компетенция ОПК-3. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного уровня.⁹

(код и формулировка компетенции)

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Применяет современные методы исследования, исследует, оценивает и представляет результаты выполненной работы.	Зачет, защита РГЗ, собеседование

2. Компетенция ОПК-7. Способен разрабатывать современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Применяет современные методы исследования, исследует, оценивает и представляет результаты выполненной работы.	Зачет, защита РГЗ, собеседование

3. Компетенция ОПК-8. Способен оптимизировать затраты на обеспечение деятельности производственных подразделений.

⁹ Повторить пункт 1 для каждой компетенции, закрепленной в разделе 1.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Применяет современные методы исследования, исследует, оценивает и представляет результаты выполненной работы.	Зачет, защита РГЗ, собеседование

4. Компетенция ОПК-9. Способен разрабатывать и осваивать новое технологическое оборудование.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Применяет современные методы исследования, исследует, оценивает и представляет результаты выполненной работы.	Зачет, защита РГЗ, собеседование

5. Компетенция ОПК-10. Способен разрабатывать методики контроля и обеспечения производственной и экологической безопасности на рабочих местах.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Применяет современные методы исследования, исследует, оценивает и представляет результаты выполненной работы.	Зачет, защита РГЗ, собеседование

6. Компетенция ОПК-12. Способен организовывать монтаж, наладку, настройку и сдачу в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
Применяет современные методы исследования, исследует, оценивает и представляет результаты выполненной работы.	Зачет, защита РГЗ, собеседование

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена / дифференцированного зачета / зачета

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Полный факторный эксперимент	Выбор уровней и интервалов варьирования факторов. Кодирование уровней факторов. Понятие о плане первого порядка и полном факторном эксперименте. Построение матрицы планирования двухфакторного эксперимента с искомой линейной моделью. Построение матрицы планирования двухфакторного эксперимента с искомой моделью в виде нелинейного полинома первой степени. Понятие о линейном эффекте и эффекте взаимодействия. Два приема построения матриц планирования многофакторных экспериментов для нелинейных моделей. Свойства матрицы

		планирования эксперимента.
2	Дробный факторный эксперимент	Достоинства и построение матрицы планирования дробного факторного эксперимента на примере трехфакторного эксперимента. Дробная реплика: определение, типы, обозначение Правила смешивания линейных эффектов с эффектами взаимодействия и генерирующее соотношение в дробных репликах. Построить матрицу плана дробной реплики типа 2^{5-2} . Показать достоинства плана Определение предельного значения числа P , характеризующего дробность реплики
3	Проведение эксперимента	Методы отсеивания несущественных факторов. Метод парной корреляции. Рандомизация опытов во времени: назначение, пример рандомизации трехфакторного эксперимента. Разбиение матрицы плана типа 2^k на блоки: назначение, пример разбиения матрицы типа 2^3 . Понятие о параллельных опытах и их статистическая обработка: определение среднего значения измеренной величины, дисперсии и ошибки опыта. Выявление и исключение из результатов эксперимента сомнительных параллельных опытов Определение необходимого количества параллельных опытов. Сравнение двух выборок
4	Обработка результатов факторного эксперимента	Регрессивный анализ, его положения. Понятия о линии регрессии, уравнении регрессии, методе наименьших квадратов. Метод наименьших квадратов: назначение, вывод формул коэффициентов уравнения регрессии. Три варианта проведения эксперимента и их отличительная особенность. Обработка результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов. Обработка результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов. Вычисление коэффициентов модели и проверка их значимости в экспериментах с равномерным дублированием опытов. Проверка адекватности модели в экспериментах с равномерным дублированием опытов. Нормальный закон распределения измерений в параллельных опытах: математическая модель закона Гаусса и его геометрическое изображение. Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов Проверка адекватности модели в экспериментах с равномерным дублированием опытов. Причины неадекватности и меры по обеспечению адекватности модели. Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов. Вычисление коэффициентов модели и проверка их значимости в экспериментах без дублирования основных опытов. Проверка адекватности модели в экспериментах без дублирования основных опытов. Оценка точности модели в насыщенных планах эксперимента. Раскодирование уравнения регрессии для моделей в виде полинома. Раскодирование уравнения регрессии для моделей в виде степенной функции.
5	Отыскание оптимума в экстремальных экспериментах методом крутого восхождения по поверхности отклика	Отыскание оптимума методом «крутого восхождения» по поверхности отклика: сущность принципа движения к оптимуму по градиенту функции отклика. Отыскание оптимума методом «крутого восхождения» по поверхности отклика: сущность шагового принципа движения к оптимуму, расчет координат точек при движении на примере однофакторного эксперимента. Выбор и расчет шагов движения по градиенту при отыскании оптимума методом «крутого восхождения». Понятие о «мысленных» опытах. Порядок окончания «крутого восхождения».
6	Центральные композиционные	Построение центральных композиционных планов 2го порядка. Построение центрального композиционного плана 2го порядка на

	планы второго плана для экстремальных экспериментов	примере трехфакторного эксперимента. Ортогональные центральные композиционные планы 2го порядка: преимущества, выбор «Звездного» плеча a и параметра ортогонизации Z . Матрица ортогонального ЦКП 2го порядка для двухфакторного эксперимента. Математическая модель для ортогонального ЦКП 2го порядка, общая формула для определения коэффициентов модели, проверка значимости коэффициентов и адекватности модели. Рототабельные центральные композиционные планы 2го порядка, их преимущество. Определение величины «Звездного» плеча, числа опытов плана. Пример построения матрицы рототабельного ЦКП 2го порядка для двухфакторного эксперимента. Математическая модель для рототабельного ЦКП 2го порядка, определение коэффициентов модели, проверка их значимости. Порядок пересчета коэффициентов квадратичной модели при отсеивании незначительных коэффициентов при квадратичных членах для рототабельного ЦКП 2го порядка на примере двухфакторного эксперимента Проверка адекватности модели для рототабельных ЦКП 2го порядка.
7	Поиск и исследование области оптимума	Методы поиска условного оптимума при исследовании многофакторных процессов. Каноническое преобразование квадратичной модели: определение центра поверхности отклика, параллельный перенос координатных осей в центр поверхности, поворот координатных осей. Каноническое преобразование квадратичной модели. Анализ поверхности отклика, представленной каноническим уравнением регрессии. Анализ поверхности отклика, представленной линейным уравнением регрессии.
8	Оптимизация многофакторного процесса с несколькими параметрами	Оптимизация многофакторного процесса с несколькими выходными параметрами (общие принципы)
9	Планирование промышленных экспериментов	Планирование промышленных экспериментов: особенности их проведения и требования к методам их планирования Эволюционное планирование эксперимента: область применения, терминология, схема ЭВоП, общее число опытов. Методика ЭВоП на примере двухфакторного двухуровневого плана Последовательное симплекс-планирование. Симплекс-планирование экстремальных экспериментов: выбор уровней факторов и схемы исходного симплекса. Симплекс-планирования экспериментальных экспериментов: определение коэффициентов в линейной модели и их значимости, оценка адекватности модели

5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена, дифференцированного зачета, дифференцированного зачета при защите курсового проекта/работы используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично¹⁰.

При промежуточной аттестации в форме зачета используется следующая шкала оценивания: зачтено, не зачтено.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, определений, понятий
	Знание основных закономерностей, соотношений, принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Умение организовывать, планировать и проводить экспериментальные работы
	Умение применять современные математические программные пакеты MathCad, Maple, Matlab
	Умение проверять решения и анализировать результаты
	Умение качественно оформлять выполнение заданий
Навыки	Навык решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю «Знания»

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Знание терминов, определений, понятий	Не знает терминов и определений	Знает термины и определения
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает основные закономерности и соотношения, принципы построения знаний	Знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний, их интерпретирует и использует
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает материал дисциплины в достаточном объеме
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает ответы на вопросы,
Четкость изложения и интерпретации	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности
	Не иллюстрирует изложение	Выполняет поясняющие рисунки и

¹⁰ В ходе текущей аттестации могут быть использованы балльно-рейтинговые шкалы.

знаний	поясняющими схемами, рисунками и примерами	схемы корректно и понятно
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Грамотно и по существу излагает знания

Оценка сформированности компетенций по показателю «Умения»

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Умение организовывать, планировать и проводить экспериментальные работы	Допускает грубые ошибки при организации, планирования и проведении эксперимента	Не допускает ошибки при организации, планирования и проведении эксперимента
Умение применять современные математические программные пакеты MathCad, Maple, Matlab	Не применяет современных математических программные пакеты	В полном объеме применяет современных математические программные пакеты
Умение проверять решения и анализировать результаты	Допускает грубые ошибки при выполнении заданий и решении практических задач. Не способен сформулировать и обосновать выводы по работе.	Не допускает ошибок при решении задач и выполнении заданий. Формулирует, обосновывает и делает выводы по работам
Умение качественно оформлять выполнение заданий	Не способен качественно оформлять (презентовать) выполнение заданий	Понятно и корректно оформляет (презентует) выполнение заданий

Оценка сформированности компетенций по показателю «Навыки»

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Навык решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа	Не владеет навыками решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа, рассмотренных в течении курса	Владеет в полном объеме навыками решения задач дисперсионного, регрессионного, корреляционного, факторного анализа, рассмотренных в течении курса

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Специализированная аудитория для проведения лекционных занятий УК4 305, УК4 312, УК4 315, УК7 17, УК7 20.	Специализированная мебель, мультимедийный проектор с интерактивной доской, ПК.
2	Специализированная лаборатория САПР для курсового и дипломного проектирования УК4 313, УК4 308, УК7 17	Специализированная мебель, компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.
3	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель, компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Windows 10 Pro	Подписка Microsoft Imagine Premiumid: 6f22ecb4-6882-420b-a39b-afba0ace820c. Срок действия до 01.05.2019.
2	Microsoft Office 2016	Соглашение №V6328633. Срок действия до 31.10.2020
3	Учебный комплект КОМПАС-3D V15	Лицензионное соглашение МЦ-11-00610 от 06.12.2011;

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

Перечень основной литературы

1. Бойко А. Ф., Воронкова М. Н. Теория планирования и организация многофакторных экспериментов [Электронный ресурс]: учебное пособие направлений магистратуры. – Белгород: изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2015042216313090700000658858>
- 2.

Перечень дополнительной литературы

Отсутствует

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. <https://elib.bstu.ru> - электронная библиотека БГТУ им В.Г. Шухова
2. <http://e.lanbook.com> – электронная библиотечная система издательства «Лань»;
3. <http://www.iprbookshop.ru> - электронная библиотечная система издательства «IPR-books»
4. <http://elibrary.rsl.ru> – электронная библиотека РГБ;
5. <http://lib.walla/> – публичная электронная библиотека;
6. <http://techlibrary.ru> – техническая библиотека;

7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ¹¹

Рабочая программа утверждена на 20____ /20____ учебный год
без изменений / с изменениями, дополнениями¹²

Протокол № _____ заседания кафедры от «__» _____ 20____ г.

Заведующий кафедрой _____
подпись, ФИО

Директор института _____
подпись, ФИО

¹¹ Заполняется каждый учебный год на отдельных листах

¹² Нужно подчеркнуть