

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 02 » марта 20 ____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Математическое моделирование и планирование эксперимента
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 180 (5)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
(код и наименование направления)

Направленность: Интегрированные системы управления производством
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины:

Освоение дисциплинарных компетенций по основам планирования научного эксперимента, его математической обработки результатов, а также в области разработки и исследования математических моделей объектов и систем управления, которые позволят студентам успешно решать теоретические и практические задачи в профессиональной деятельности, связанной с построением математических моделей и отысканием оптимальных условий протекания сложных технологических процессов и выбора оптимальной автоматизированной системы управления технологическими процессами.

Задачи дисциплины:

- формирование знаний о целом представлении науки, как о системе знаний и орудии познания;
- изучение задач планирования и организации эксперимента; методов управления результатами научно-исследовательской деятельности;
- изучение основ теории моделирования, классификацию моделей и методов моделирования; принципы построения моделей, основных методов математического моделирования объектов и систем управления; типовых методик анализа и моделирования технических объектов, технологических процессов и систем их управления.
- умение рассматривать уровни методологии и определять их место и значение в научном познании; излагать правила протоколирования, обработки результатов исследования и наблюдения, их изображения;
- формирование умений систематизировать информацию об объектах, системах или процессах; осуществлять выбор наилучшего метода математического описания; выполнять оценку адекватности моделей; осуществлять оптимальный выбор программных средств для математического моделирования объектов и систем управления; интерпретировать и анализировать результаты моделирования
- владение сутью общенаучных и конкретно-научных методов и принципов исследования техники; навыками с основными правилами работы с научной литературой и подготовки материалов к печати, в т.ч. оформления курсовых и выпускных работ;
- формирование навыков исследования математических моделей технических объектов, технологических процессов и систем управления; использования типовых аппаратных и программных средств моделирования объектов и систем управления.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- технологические процессы машиностроения и их моделирование на основе планирования эксперимента;
- основные понятия теории моделирования;
- классификация моделей и методов моделирования;
- методы формализации технических объектов;
- методы оценки адекватностей моделей;
- методы синтеза систем управления типовых технологических процессов; математические методы описания объектов и систем управления;
- программно-аппаратные средства моделирования объектов и систем управления.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-1ПК-2.2	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные закономерности измерений, влияние качества измерений на качество конечных результатов метрологической деятельности; • пути реализации результатов научно-исследовательской деятельности; • теоретические основы моделирования как научного метода; • основные понятия и определения математического моделирования; • этапы математического моделирования объектов и систем управления; • основные способы математического описания объектов и систем управления; • способы преобразования и упрощения математических моделей; • основные принципы экспериментального исследования математических моделей объектов и систем управления. 	<p>Знает современные технологии и основные положения методов моделирования процессов, оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, в том числе методов интеллектуального анализа данных.</p>	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-2ПК-2.2	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • систематизировать информацию об объекте управления; • выбирать класс математической модели и метод исследования модели; • выбирать способ построения математической модели и метод исследования модели; • оценивать результаты моделирования; • осуществлять выбор аппаратных и программных средств моделирования объектов и систем управления. 	<p>Умеет применять основные методы моделирования процессов, оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, в том числе методы интеллектуального анализа данных.</p>	Защита лабораторной работы
ПК-2.2	ИД-3ПК-2.2	<p>Владеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками выбора основных факторов эксперимента и построения факторных планов; • навыками подбора эмпирических зависимостей для экспериментальных данных; • навыками оценки коэффициентов регрессионной модели эксперимента; • навыками построения планов 2-го порядка для экспериментов; • навыками построения оптимальных планов для научно-технических экспериментов; 	<p>Владеет базовыми навыками моделирования процессов, оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, в том числе интеллектуального анализа данных; навыками оформления отчета по результатам проведенного моделирования.</p>	Отчёт по практическом у занятию
ПК-2.3	ИД-1ПК-2.3	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные классификационные признаки экспериментов; • основные элементы научно- 	<p>Знает критерии выбора оптимальных решений при создании продукции, разработке автоматизированных технологий и производств,</p>	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		<p>технического эксперимента;</p> <ul style="list-style-type: none"> • приемы выбора основных факторов эксперимента и технологию построения факторных планов; • основные виды регрессионных экспериментов; • основные виды планов 2-го порядка; • программные средства моделирования. 	<p>средств и систем автоматизации, контроля, диагностики и испытаний, управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством, программного обеспечения, а также при внедрении и эффективной эксплуатации таких решений</p>	
ПК-2.3	ИД-2ПК-2.3	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить классификацию экспериментов; • выбирать необходимые факторы и составлять факторные планы экспериментов различного вида; • строить системы базисных функций, делать точечные оценки параметров регрессионной модели; • анализировать свойства оценок параметров регрессионной модели; • выполнять оптимальное планирование экспериментов с использованием различных критериев; 	<p>Умеет выбирать оптимальные решения при создании продукции, разработке автоматизированных технологий и производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики и испытаний, управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством, программного обеспечения, а также при внедрении и эффективной эксплуатации таких решений</p>	Отчёт по практическом у занятию
ПК-2.3	ИД-3ПК-2.3	<p>Владеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • методикой построения алгоритмов формализации задач математического моделирования объектов и систем управления; • приемами и способами построения и исследования математических моделей типовых технологических процессов. 	<p>Владеет навыками составления технико-экономических обоснований внедрения оптимальных решений при создании продукции, разработке автоматизированных технологий и производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики и испытаний, управления производством,</p>	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			жизненным циклом продукции и ее качеством, программного обеспечения, их внедрении и эффективной эксплуатации	

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	63	63	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)	18	18	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	27	27	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	81	81	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Математическая обработка результатов эксперимента.	2	0	4	10
Тема 1. Постановка целей и задач исследования. Определение объекта, предмета исследования и оценка точности измерений Научное изучение как основная форма научной работы. Общая схема хода научного исследования. Обоснование и доказательство актуальности выбранной темы. Постановка цели и конкретных задач исследования. Определение объекта и предмета исследования. Элементы теории ошибок. Интервальная оценка ошибок измерения. Исключение грубых ошибок. Подбор эмпирических формул. Отыскание параметров методом наименьших квадратов.				
Планирование эксперимента	4	0	8	20
Тема 2 Факторы и факторное пространство Общие представления о планировании экспериментов. Основные определения. Активный и пассивный эксперимент. Выбор вида модели и поверхность отклика. Факторы, общая характеристика факторов, факторное пространство. Выходные показатели, характеристика исследуемых свойств или качеств – отклик, функция отклика, поверхность отклика. Эксперимент как система операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Опыт как отдельная элементарная часть эксперимента. План эксперимента – совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. Планирование эксперимента как совокупность действий, направленных на разработку стратегии экспериментирования от начальных до заключительных этапов изучения объекта исследования (от получения априорной информации до создания работоспособной математической модели или определения оптимальных условий). Тема 3 Корреляционный и регрессионный анализ Вероятностная взаимосвязь между различными переменными. Выборочный коэффициент корреляции. Линейная регрессия. Метод наименьших квадратов. Расчет коэффициентов уравнения регрессии (параметров математической модели объекта исследования). Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии. Проверка адекватности математической модели объекта исследования. Метод множественной корреляции. Простейшие случаи нелинейной				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>корреляции. Метод линеаризации. Уравнение регрессии и его коэффициенты.</p> <p>Тема 4 Разработка плана эксперимента Основные принципы планирования эксперимента, обеспечивающие получение максимума информации при минимуме опытов. Отказ от полного перебора возможных входных состояний. Выбор числа уровней варьирования по каждому фактору на основании вида аппроксимации функции отклика. Принцип последовательного планирования, предусматривающий получение простейшей математической модели на основании небольшого числа опытов и, если полученная модель не удовлетворяет исследователя, постепенное усложнение математической модели на основе проведения новых (дополнительных) опытов до тех пор, пока не будет получена модель, которую исследователь признает достаточно хорошей.</p>				
Построение математических моделей экспериментов	2	0	8	16
<p>Тема 5 Выбор оптимального плана. Критерии оптимального плана Разновидности планов эксперимента. Основы построения математических моделей планов экспериментов. Их характеристики. Критерии оптимальности планов экспериментов. Критерии оптимальности, связанные с точностью оценок коэффициентов уравнения регрессии (математической модели объекта исследования). Критерии D-, A-, E- оптимальности и ортогональности. Планирование экспериментов для решения экстремальных задач. Виды параметров оптимизации и требования к ним. Обобщенный параметр оптимизации. Критерии оптимальности, связанные с точностью получения оценок отклика. Критерии G- оптимальности, ротатабельности и униформности планирования. Ортогонализация планов экспериментов. Построение планов близких к оптимальному по нескольким критериям.</p> <p>Тема 6 Планы многофакторных экспериментов Полный факторный эксперимент (ПФЭ). Постановка задачи, выбор параметров факторов. Факторы и требования, предъявляемые к ним. Управляемость и совместимость, независимость, некоррелированность факторов. Определение экспериментальной области факторного пространства. Организация проведения эксперимента по ПФЭ, обработка и анализ его результатов. Дробный факторный эксперимент</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>(ДФЭ). Основная идея ДФЭ. ДФЭ для моделей с взаимодействием. Операция смешивания оценок коэффициентов уравнения регрессии. Понятия генерирующих соотношений и определяющих контрастов. Сравнительная оценка дробных реплик. Разрешающая способность реплики. Организация проведения эксперимента по ДФЭ, обработка и анализ его результатов. Расчет коэффициентов модели и проверка их статистической значимости. Проверка адекватности модели. Интерпретация результатов. Особенности планирования и организации эксперимента при использовании различных схем технологических процессов. Методы выделения существенных факторов. Планирование отсеивающих экспериментов. Использование метода случайного баланса при составлении плана отсеивающего эксперимента. Организация, проведение и методы анализа результатов отсеивающих экспериментов.</p> <p>Тема 7 Этапы разработки математических зависимостей описания реального технологического процесса</p> <p>Постановка задачи. Отбор факторов и параметров. Анализ априорной информации и выбор вида зависимости. Планирование основного эксперимента. Реализация экспериментального плана. Оптимизация объектов исследования. Постановка задачи оптимизации. Методы оптимизации однофакторных объектов. Задачи оптимизации и математическое описание влияния каждого фактора на функцию оптимизации. Поверхность отклика и оптимум функции.</p>				
Математическое моделирование.	4	8	7	15
<p>Основные понятия, термины и определения. Предмет и задача дисциплины.</p> <p>Тема 8. Основы математического моделирования. Основы математического моделирования: цель моделирования, понятие математической модели, основные требования к математическим моделям. Этапы математического моделирования объектов и систем управления.</p> <p>Тема 9 Математические модели объектов и систем управления.</p> <p>Классификация моделей объектов управления. Основные способы построения математических моделей объектов управления: аналитический и идентификационный. Выбор класса модели: линейные/нелинейные; статистические/динамические, детерминированные/стохастические, нечеткие</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
модели. Алгоритмы преобразования различных форм представлений математических моделей. Принципы построения алгоритмов управления. Общая структура алгоритмов управления. Синтез базовых алгоритмов управления: стабилизации, компенсации возмущения, обеспечения заданной степени астатизма. Синтез обобщенного наблюдателя-фильтра.				
Исследование математических моделей	4	10	0	20
Тема 10 Основные методы исследования моделей Основные принципы исследования математических моделей объектов и систем управления. Пассивный и активный эксперимент. Основы теории планирования эксперимента. Основные подходы и методы оценивания адекватности моделей. Алгоритм исследования математических моделей объектов и систем управления. Понятие полунатурного эксперимента Тема 11 Программные средства моделирования и исследования моделей. Основные программные инструментальные средства моделирования объектов и систем управления: Matlab. Применение Simulink для моделирования объектов и систем управления. Заключение.				
ИТОГО по 1-му семестру	16	18	27	81
ИТОГО по дисциплине	16	18	27	81

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Корреляционная зависимость между случайными величинами
2	Оценка точности коэффициентов уравнения регрессии
3	ДФЭ, обработка и анализ его результатов
4	Проведение отсеивающих экспериментов
5	Планирование эксперимента для технологического процесса
6	Постановка задачи оптимизации
7	Разработка этапов математического моделирования объектов и систем управления
8	Построение математических моделей типовых объектов управления
9	Расчет идентификационных моделей объекта управления
10	Разработка алгоритма исследования математических моделей объектов и систем управления

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
11	Оценивание адекватности модели

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Применение Control System Toolbox (Matlab) для моделирования объектов и систем управления
2	Применение SISO Design Toolbox (Matlab) и Simulink LabView для моделирования объектов и систем управления

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
--

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически. 2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. 3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу. 4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. - Москва: Наука, 1976.	88
2	Андриевская Н. В. Моделирование систем : учебное пособие / Н. В. Андриевская, С. В. Бочкарёв. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	50
3	Душин С. Е. Моделирование систем управления : учебное пособие для вузов / С. Е. Душин, А. Н. Красов, Н. Н. Кузьмин. - Москва: Студент, 2012.	3
4	Казаков А. В. Планирование эксперимента и измерение физических величин : учебное пособие / А. В. Казаков. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014.	5
5	Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебное пособие для вузов / Н. И. Сидняев. - Москва: Юрайт, 2011.	5
6	Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебное пособие для магистров / Н. И. Сидняев. - Москва: Юрайт, 2012.	8
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Андриевская Н. В. Проектирование и исследование идентификационных моделей управляющих систем реального времени : учебное пособие / Н. В. Андриевская. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013.	5
2	Перельмутер В. М. Пакеты расширения MATLAB. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox / В. М. Перельмутер. - М.: СОЛОН-Пресс, 2008.	5
3	Планирование, организация и проведение научных исследований в машиностроении : учебное пособие / А. И. Барботько [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2014.	3
4	Рогов В. А. Методика и практика технических экспериментов : учебное пособие для вузов / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. - Москва: Academia, 2005.	9
5	Управление качеством : учебное пособие для вузов / С. В. Бочкарёв [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2012.	5
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		

	Не используется	
--	-----------------	--

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Проектирование и исследование идентификационных моделей управляющих систем реального времени	http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks172037	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Управление качеством	http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks160888	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Введение в теорию планирования эксперимента	http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-106359	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Моделирование систем	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2708	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Планирование эксперимента и измерение физических величин учебное пособие	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3631	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2255	локальная сеть; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 8.1 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	ПК с установленным ПО в комплекте: системный блок, монитор, клавиатура, мышь	10
Лекция	Проектор, экран, ПК или ноутбук, маркерная доска, маркер	1
Практическое занятие	Проектор, экран, ПК или ноутбук, маркерная доска, маркер	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе
