

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор Белорусско-  
Российского университета

  
Ю.В. Машин

«23» 10 2020 г.

Регистрационный № УД-150303/Б.1.В.11/р

## МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Направление подготовки** 15.03.03 Прикладная механика

**Направленность (профиль)** Компьютерный инжиниринг и реновация деталей машин

**Квалификация** Бакалавр

	Форма обучения
	Очная
Курс	3, 4
Семестр	6, 7
Лекции, часы	46
Практические занятия, часы	16
Лабораторные занятия, часы	30
Зачёт, семестр	6
Экзамен, семестр	7
Контактная работа по учебным занятиям, часы	92
Самостоятельная работа, часы	88
Всего часов / зачетных единиц	180/5

Кафедра-разработчик программы: Основы проектирования машин

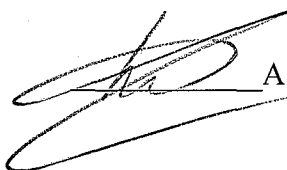
Составитель: О.В. Пузанова, канд. техн. наук, доцент

Могилев, 2020

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 15.03.03. Прикладная механика, утвержденным приказом № 220 от 12.03.15, учебным планом рег. № 150303-1, утвержденным 30.06.2020 г.


Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой «Основы проектирования машин» «20» октября 2020 г., протокол № 3

Заведующий кафедрой ОПМ

 А.П. Прудников

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом Белорусско-Российского университета (протокол № 2 от «21» октября 2020 г.)

Зам. председателя  
Научно-методического совета

 С.А. Сухоцкий

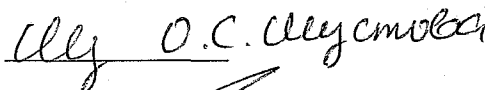
Рецензент:

Борисенко А.В.,

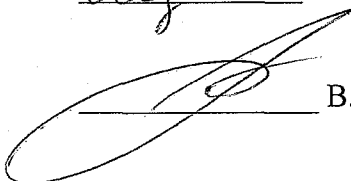
начальник отдела автоматизации и охраны труда РУП «Могилевавтодор»  
(И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание рецензента)

Рабочая программа согласована:

Ведущий библиотекарь

 О.С. Алексова

Начальник учебно-методического  
отдела

 В.А. Кемова

# 1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

## 1.1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является формирование у студентов знаний, умений и навыков математического моделирования технических систем и на их основе приобретения опыта постановки и решения задач функционального проектирования механизмов и систем машиностроения.

## 1.2 Планируемые результаты изучения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

**знать:**

- методы построения математических моделей технических систем с сосредоточенными параметрами;
- методы моделирования типовых механизмов и систем: механических передач, фрикционных муфт, систем виброзащиты, и др.;
- численные методы решения систем дифференциальных и алгебраических уравнений;
- методы анализа физических свойств технических систем по спектру матрицы Якоби;
- методы определения собственных и резонансных частот технических систем;
- методы оценки устойчивости технических систем;
- методы определения показателей качества переходных процессов;
- методы получения вероятностных характеристик технических систем;
- методы корреляционного и регрессионного анализа, планирования эксперимента и получения экспериментальных факторных моделей;

**уметь:**

- осуществлять построение динамических и математических моделей типовых механизмов и систем машиностроения, определять параметры элементов динамических моделей;
- моделировать и анализировать статические состояния технических систем;
- моделировать и анализировать переходные процессы технических систем;
- определять собственные и резонансные частоты технических систем;
- оценивать устойчивость технических систем;
- определять показатели качества процессов функционирования технических систем.
- осуществлять построение планов экспериментов, проводить активные вычислительные эксперименты и получать регрессионные многофакторные модели;
- осуществлять постановку и решение задач оптимизации параметров механизмов и систем;
- оценивать устойчивость и качество процессов функционирования технических систем;

**владеть:**

- методами построения математических моделей механизмов (структурно-матричный метод; принцип Даламбера; принцип Лагранжа–Даламбера);
- методами решения систем дифференциальных и алгебраических уравнений с использованием компьютерных программных обеспечений;
- методами планирования эксперимента и построения регрессионных моделей;
- методами оптимизации параметров проектируемых механизмов.

## 1.3 Место учебной дисциплины в системе подготовки студента

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» (вариативная часть).

Перечень учебных дисциплин, изучаемых ранее, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

- математика;
- физика;
- информатика;
- инженерная графика;
- теоретическая механика;
- сопротивление материалов;
- теория механизмов и машин и манипуляторов;
- CAD и CAE системы.

Перечень учебных дисциплин (циклов дисциплин), которые будут опираться на данную дисциплину:

- численные методы расчета в инженерных задачах;
- информационные технологии.

Кроме того, результаты изучения дисциплины используются в ходе практики и при подготовке выпускной квалификационной работы.

#### 1.4 Требования к освоению учебной дисциплины

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

Коды формируемых компетенций	Наименования формируемых компетенций
ПК-1	Способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-2	Способность применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности
ПК-7	Готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям

## 2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вклад дисциплины в формирование результатов обучения выпускника (компетенций) и достижение обобщенных результатов обучения происходит путём освоения содержания обучения и достижения частных результатов обучения, описанных в данном разделе.

### 2.1 Содержание учебной дисциплины

Номера тем	Наименование тем	Содержание	Коды формируемых компетенций
1	Введение.	Цель и задачи дисциплины « <i>Моделирование в технических системах</i> », ее взаимосвязь с другими дисциплинами. Значение дисциплины в подготовке инженера. Методология автоматизированного проектирования. Системный подход. Понятие структуры.	ПК-1

		<p>Параметры: внутренние, внешние, выходные. Взаимосвязь параметров объекта. Модели метауровня, макроуровня и микроуровня. Формы представления математических моделей. Требования к математическим моделям. Классификация математических моделей. Детерминированные и вероятностные модели. Режимы функционирования технических объектов и способы их анализа. Установившееся и не установившееся состояния объекта. Статические и динамические режимы.</p>	
2	Объекты проектирования на макроуровне.	<p>Представление физических свойств технических объектов дискретными элементами. Динамическая модель технического объекта на макроуровне. Понятие динамической модели. Методы выделения дискретных элементов из сплошной среды: методы сеток, метод сосредоточенных масс, метод функционально законченных элементов. Виды дискретных элементов: инерционный, упругий, диссипативный, трансформаторный, фрикционный. Компонентные и топологические уравнения. Фазовые переменные типа потока и типа потенциала. Уравнения равновесия и непрерывности. Компонентные и топологические уравнения механической системы. Использование физических законов Ньютона и Гука. Принцип Даламбера.</p>	ПК-1
3	Способы построения теоретических математических моделей на макроуровне.	<p>Графические формы представления математических моделей: динамическая модель и ориентированный граф. Узлы и ветви орграфа и отождествление их с элементами динамической модели объекта. Однозначное соответствие между элементами орграфа, динамической модели объекта и компонентами инвариантной математической модели, описывающими простые дискретные элементы технической системы. Получение топологических уравнений на основе орграфа и принципа Даламбера.</p>	ПК-2
4	Матричная форма представления математической модели.	<p>Матрица инцидентий и ее использование для получения топологических и компонентных уравнений технической системы. Общее уравнение динамики. Принцип возможных перемещений. Уравнения Лагранжа второго рода. Физические основы структурно-матричного метода. Возможность его использования для моделирования технических систем любой физической природы. Компонентные и топологические уравнения.</p>	ПК-2
5	Моделирование и анализ статических состояний технических систем.	<p>Задачи анализа статических состояний технических систем. Состояние покоя и состояние равномерного движения. Постановка задач анализа статических состояний. Подходы и методы решения. Численные методы решения систем алгебраических уравнений. Прямые и итерационные методы. Сходимость итерационных методов. Условия окончания итераций. Метод простой итерации. Итерационная формула. Итерационная матрица. Оценка сходимости. Критический шаг итераций. Метод Зейделя. Итерационная формула. Итерационная матрица и требования к ней. Достаточные условия сходимости итераций.</p>	ПК-1 ПК-2 ПК-7
6	Моделирование и анализ переходных процессов технических систем.	<p>Задачи анализа переходных процессов технических систем. Определение переходного процесса. Математическая модель процесса. Этапы решения задачи анализа переходного процесса и их содержание. Показатели качества переходных процессов. Использование переходной характеристики для определения</p>	ПК-1 ПК-2 ПК-7

		показателей качества: времени переходного процесса, коэффициента динамичности, декремента колебаний, колебательности. Интегральные оценки качества переходного процесса. Методика анализа переходных процессов технических систем.	
7	Моделирование технических объектов с трансформаторными элементами.	Матрица трансформаторных элементов. Уравнения алгоритма процесса формирования моделей. Моделирование механической системы при плоском движении твердых тел. Использование уравнений Эйлера для определения параметров трансформаторных элементов. Моделирование трансмиссии. Моделирование подвески автомобиля.	ПК-1 ПК-2
8	Качественный анализ физических свойств технических систем.	Задачи качественного анализа. Функциональная работоспособность. Оценка степени выполнения технических требований к технической системе. Физическая устойчивость технической системы и устойчивость вычислительного процесса. Оценка устойчивости системы и качества переходных процессов. Матрица Якоби системы уравнений математической модели. Спектр матрицы Якоби. Обусловленность системы уравнений. Собственные значения матрицы Якоби математической модели и способы их определения. Характеристический полином матрицы Якоби. Оценка физических свойств технической системы по спектру матрицы Якоби. Определение вида и оценка устойчивости переходного процесса по собственным значениям матрицы Якоби.	ПК-1 ПК-2 ПК-7
9	Моделирование гидравлических систем.	Аппроксимация уравнений моделей микроуровня: Эйлера, Навье-Стокса, Гука. Компонентные и топологические уравнения гидравлической системы. Определение параметров элементов динамических моделей гидросистем. Аналогии в динамических системах различной физической природы.	ПК-1 ПК-2
10	Топология динамических моделей технических объектов.	Классификация моделей: цепные, разветвленные, кольцевые. Регулярные модели и модели с топологическими вырождениями. Преобразование моделей с топологическими вырождениями и приведение их к регулярным. Упрощение динамической модели технической системы. Разложение в ряд Фурье внешних периодических воздействий. Определение собственных и резонансных частот технических систем. Необходимость и обоснованность упрощения. Метод парциальных частот и его использование при упрощении динамических моделей. Примеры упрощения динамических моделей механических систем.	ПК-2
11	Моделирование технических объектов переменной структуры.	Моделирование технических объектов с фрикционными элементами. Уравнения алгоритмов процесса формирования моделей объектов переменной структуры.	ПК-1 ПК-2
12	Методы решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений.	Решение систем линейных алгебраических уравнений. Метод Гаусса. Алгоритм метода. Этапы алгоритма: исключение неизвестных (приведение системы уравнений к треугольному виду) и последовательное вычисление значений неизвестных. Решение систем нелинейных алгебраических уравнений. Метод Ньютона. Итерационная формула. Алгоритм метода Ньютона. Методы получения математических моделей анализа статических состояний линейных и нелинейных технических систем. Методика выполнения анализа и примеры применения.	ПК-2
13	Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциаль-	Преобразование математической модели из инвариантной в алгоритмическую форму. Метод конечных разностей. Дискретизация независимой переменной	ПК-2

	ных уравнений и их устойчивость	и алгебраизация математической модели. Классификация численных методов интегрирования: одношаговые и многошаговые, явные и неявные, различных порядков точности. Погрешности численных методов интегрирования. Погрешности аппроксимации, вычисления и накопления. Влияние накопленной погрешности на устойчивость вычислительного процесса. Критический шаг интегрирования. Способы оценки погрешности аппроксимации: остаточный член ряда Тейлора, правило Рунге.	
14	Устойчивость численных методов интегрирования.	Исследование устойчивости. Полином устойчивости формул интегрирования. Области абсолютной и относительной устойчивости на комплексной плоскости собственных значений матрицы Якоби. Выбор шага интегрирования. Алгоритмы автоматического изменения шага: алгоритм трех зон, алгоритм плавного изменения шага. Выбор шага интегрирования для явных методов интегрирования.	ПК-2
15	Одношаговые и многошаговые методы интегрирования.	Метод Эйлера. Оценка устойчивости метода. Выбор шага интегрирования. Алгоритм метода Эйлера. Модифицированный метод Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Методы Гира и Адамса. Построение формул интегрирования. Оценка устойчивости формул интегрирования. Сравнительная оценка точности и устойчивости явных и неявных методов.	ПК-2
16	Моделирование вероятностных систем.	Основные свойства случайных процессов. Реализация случайного процесса, ансамбль реализаций, сечение случайного процесса. Распределения вероятностей. Функция распределения, плотность вероятности. Стационарные и нестационарные случайные процессы, эргодические и неэргодические. Моделирование реализаций случайных процессов. Оценки вероятностных характеристик реализаций случайных процессов: состоятельная, несмещенная, эффективная. Доверительная вероятность, доверительный интервал, уровень значимости.	ПК-1 ПК-2
17	Определение статистических оценок вероятностных характеристик случайных процессов.	Шаг дискретизации, объем выборки. Теорема Котельникова-Шеннона. Плотность вероятности. Гистограмма. Выборочное среднее, выборочная дисперсия. Оценка близости эмпирического распределения какому-либо теоретическому распределению. Критерий Пирсона. Фильтрация и центрирование ординат случайного процесса. Определение корреляционной функции и спектральной плотности случайного процесса. Определение статистических оценок числовых вероятностных характеристик случайных величин: выборочного среднего, выборочной дисперсии, выборочного коэффициента корреляции.	ПК-2
18	Частотный и спектральный анализ технических систем.	Передаточная функция. Амплитудная частотная характеристика (АЧХ) и фазовая частотная характеристика (ФЧХ). Способы получения АЧХ и ФЧХ. Использование АЧХ при спектральном анализе технических систем.	ПК-2
19	Экспериментальные факторные модели.	Методика построения экспериментальных факторных моделей. Основные принципы планирования эксперимента. Представление объекта исследования в виде кибернетического «черного ящика». Управляемые и неуправляемые, контролируемые и неконтролируемые переменные. Структура экспериментальной факторной модели. Факторы и функция отклика. Систематические и случайные помехи. Пассивные и активные эксперименты.	ПК-2 ПК-7
20	Планирование экспери-	План полного факторного эксперимента. Вид урав-	ПК-2

	мента и построение регрессионных моделей.	нения регрессии. Уровни варьирования факторов. Матрица спектра плана. Матрица базисных функций и ее свойства. Дисперсия оценок коэффициентов регрессии. План дробного факторного эксперимента. Процедура построения спектра плана дробного факторного эксперимента. Обеспечение ортогональности плана. Генерирующие соотношения и определяющие контрасты.	ПК-7
21	Определение параметров регрессионной модели.	Статистический анализ результатов активного эксперимента. Ошибки параллельных опытов. Отсевание грубых ошибок. Проверка однородности дисперсий. Дисперсия функции отклика. Использование критериев Кохрена, Стьюдента и Фишера при статистическом анализе. Определение коэффициентов регрессионной модели и проверка их значимости. Проверка адекватности регрессионной модели. Дисперсия адекватности. Проверка работоспособности модели. Коэффициент детерминации.	ПК-2 ПК-7
22	Построение регрессионных моделей второго порядка	Планы второго порядка. Вид уравнения регрессионной модели. Композиционные планы типа $B_n$ . Спектр плана. Регрессионный анализ результатов вычислительного эксперимента на детерминированной теоретической модели. Различия этапов регрессионного анализа для детерминированных и вероятностных систем. Особенность нулевой гипотезы об адекватности модели при отсутствии дублирования опытов. Получение математической модели на основе пассивного эксперимента. Метод статистических испытаний (Монте-Карло). Корреляционный анализ.	ПК-2 ПК-7
23	Оптимизация параметров проектируемых механизмов. Выбор критериев оптимальности и формирование целевой функции	Принцип локальной оптимизации в методологии автоматизированного проектирования. Основные понятия и определения параметрической оптимизации. Управляемые параметры и целевая функция. Унимодальные и многоэкстремальные функции. Глобальный и локальные экстремумы. Поверхность отклика. Линии равных уровней. Безусловный и условный экстремумы. Прямые и функциональные ограничения. Определение экстремума аналитической целевой функции. Необходимые и достаточные условия локального экстремума. Поисковая оптимизация. Математическая формулировка задачи многопараметрической условной оптимизации. Траектория поиска. Алгоритм поисковой оптимизации. Постановка задач оптимизации. Выбор критериев оптимальности и формирование целевой функции. Конфликтность критериев. Оптимально компромиссное решение по методу Парето. Формирование целевой функции в многокритериальной задаче оптимизации.	ПК-2 ПК-7
24	Выбор стратегии оптимизации. Методы оптимизации	Стратегии решения многокритериальных задач. Методы покоординатного спуска (Гаусса-Зейделя); случайного поиска; градиента; наискорейшего спуска; Ньютона. Определение оптимального шага при многомерном поиске. Аппроксимация градиента целевой функции. Оценка эффективности методов поиска в условиях сложного рельефа поверхности отклика.	ПК-2 ПК-7



## 2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

№ недели	Лекции (наименование тем)	Часы	Практические занятия	Часы	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа		Форма контроля знаний	Баллы (max)
						7	8		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Модуль 1</b>									
1	1. Введение. 2. Объекты проектирования на макроуровне.	2	№1 Построение математической модели вращательной системы	2	№1 Моделирование механических вращательных систем	2	2		
3	3. Способы построения теоретических математических моделей на макроуровне.	2	№1 Построение математической модели механической вращательной системы	2	№1 Моделирование механических вращательных систем	2	2		
5	4. Матричная форма представления математической модели.	2	№1 Построение математической модели механической вращательной системы	2	№1 Моделирование механических вращательных систем	2	2	КР ЗЛР	12 6
7	5. Моделирование и анализ статических состояний технических систем.	2	№1 Построение математической модели механической вращательной системы	2	№1 Моделирование механических вращательных систем	2	3	О ПКУ	12 30
<b>Модуль 2</b>									
9	6. Моделирование и анализ переходных процессов технических систем.	2	№2 Построение математических моделей систем виброзащиты	2	№2 Моделирование систем виброзащиты	2	2		
11	7. Моделирование технических объектов с трансформаторными элементами.	2	№2 Построение математических моделей систем виброзащиты	2	№2 Моделирование систем виброзащиты	2	2		
13	8. Качественный анализ физических свойств технических систем.	2	№2 Построение математических моделей систем виброзащиты	2	№2 Моделирование систем виброзащиты	2	2	КР ЗЛР	12 6
15	9. Моделирование гидравлических систем.	2	№2 Построение математических моделей систем виброзащиты	2	№2 Моделирование систем виброзащиты	2	3	О ПКУ	12 30
17							6	ПА (за-чет)	40
<b>Итого за 6-ой семестр</b>		<b>16</b>		<b>16</b>		<b>16</b>	<b>24</b>		
<b>Модуль 1</b>									
1	10. Топология динамических моделей технических объектов	2					2		
2	11. Моделирование технических объектов переменной структуры.	2			№3 Исключение топологических вырождений динамических моделей	2	2		
3	12. Методы решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений.	2					2	ЗЛР	6

4	13. Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.	2		№4 Упрощение динамических моделей	2	2		
5	14. Устойчивость численных методов интегрирования.	2				2	ЗЛР	6
6	15. Одношаговые и многошаговые методы интегрирования.	2		№5 Вероятностные характеристики процессов	2	2	О	12
7	16. Моделирование вероятностных систем.	2				2	ЗЛР	6
8	17. Определение статистических оценок вероятностных характеристик случайных процессов.	2		№6 Построение экспериментальной факторной модели	2	2	ПКУ	30
<b>Модуль 2</b>								
9	18. Частотный и спектральный анализ технических систем.	2				2		
10	19. Экспериментальные факторные модели.	2		№6 Построение экспериментальной факторной модели	2	2		
11	20. Планирование эксперимента и построение регрессионных моделей.	2				2	ЗЛР	6
12	21. Определение параметров регрессионной модели.	2		№7 Построение регрессионной модели второго порядка	2	2		
13	22. Построение регрессионных моделей второго порядка	2				2	ЗЛР	6
14	23. Оптимизация параметров проектируемых механизмов. Выбор критериев оптимальности и формирование целевой функции.	2		№8 Оптимизация параметров объекта	2	2	ЗЛР О	6 12
15	24. Выбор стратегии оптимизации. Методы оптимизации.	2					ПКУ	30
16-18						36	ПА (экзамен)	40
<b>Итого за 7-ой семестр</b>		<b>30</b>				<b>14</b>	<b>64</b>	
<b>Итого</b>		<b>46</b>	<b>16</b>			<b>30</b>	<b>88</b>	<b>100</b>

Принятые обозначения:

*Текущий контроль*–

КР – контрольная работа;

О – лекционный опрос;

ЗЛР – защита лабораторной работы;

ПКУ – промежуточный контроль успеваемости.

*ПА - Промежуточная аттестация.*

Итоговая оценка определяется как сумма текущего контроля и промежуточной аттестации и соответствует баллам:

**Экзамен**

Оценка	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Баллы	87-100	65-86	51-64	0-50

### 3 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При изучении дисциплины используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студентов. Применение форм и методов проведения занятий при изучении различных тем курса представлено в таблице.

№ п/п	Форма проведения занятия	Виды аудиторных занятий			Всего часов
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	
1	Мультимедиа	Темы: 1...24		Лаб.р. № 1...8	76
2	Расчетные		Пр.р. № 1, 2		16
	<b>ИТОГО</b>	46	16	30	92

### 4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Используемые оценочные средства по учебной дисциплине представлены в таблице и хранятся на кафедре.

№ п/п	Вид оценочных средств	Количество комплектов
1	Вопросы зачету	1
2	Вопросы к экзамену	1
3	Экзаменационные билеты	1
4	Вопросы для опроса	4
5	Задания к контрольной работе	2
6	Вопросы для защиты лабораторных работ	8

### 5 МЕТОДИКА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

#### 5.1 Уровни сформированности компетенций

№ п/п	Уровень сформированности компетенций	Содержательное описание уровня	Результаты обучения
<b>ПК-1: способность выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</b>			
1	Пороговый уровень	Знание научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, знание основных приемов применения физико-математического аппарата для их решения.	Понимание сущности научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и возможности привлечения для их решения соответствующего физико-математического аппарата.
2	Продвинутый уровень	Понимание научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и выбор для их решения соответствующего физико-математического аппарата.	Выявление сущности научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлечение для их решения соответствующего физико-математического аппарата.
3	Высокий уровень	Способность эффективно выявлять научно-технические проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, и рационально подбирать для их решения наиболее соответствующие приемы физико-математического аппарата.	Умение рационально распознавать научно-технические проблемы и использовать физико-математические средства для эффективного их решения.
<b>ПК-2: способность применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в</b>			

<b>процессе профессиональной деятельности</b>			
1	Пороговый уровень	Знание методов математического моделирования объекта.	Понимание приемов математического моделирования объекта.
2	Продвинутый уровень	Знание и применение методов математического моделирования объекта.	Владение методами математического моделирования объекта.
3	Высокий уровень	Разработка и оценка математических моделей объекта.	Уверенная разработка, анализ и оптимизация математических моделей объекта.
<b>ПК-7: готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям</b>			
1	Пороговый уровень	Знание и понимание современных методик и алгоритмов расчетов и проектирования объекта.	Понимание теоретических основ создания функционирования объекта, методов составления его моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям.
2	Продвинутый уровень	Применение современных методик и алгоритмов расчетов и проектирования объекта.	Готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий.
3	Высокий уровень	Готовность эффективно выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий	Выбор и готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям

## 5.2 Методика оценки знаний, умений и навыков студентов

<b>Результаты обучения</b>	<b>Оценочные средства</b>
<b>ПК-1: способность выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</b>	
Понимание сущности научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и возможности привлечения для их решения соответствующего физико-математического аппарата.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
Выявление сущности научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлечение для их решения соответствующего физико-математического аппарата.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
Умение рационально распознавать научно-технические проблемы и использовать физико-математические средства для эффективного их решения.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
<b>ПК-2: способность применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности</b>	
Понимание приемов математического моделирования объекта.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
Владение методами математического моделирования объекта.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.

Уверенная разработка, анализ и оптимизация математических моделей объекта.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
<b>ПК-7: готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям</b>	
Понимание теоретических основ создания функционирования объекта, методов составления его моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
Готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий.	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.
Выбор и готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики на основе физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям	Тестовые (контрольные) вопросы для проведения контрольных работ к промежуточной аттестации. Вопросы экзамену.

### 5.3 Критерии оценки практических работ

Выполненная контрольная работа оценивается до 12 баллов. При этом баллы начисляются в зависимости от уровня знаний студента по теме работы.

Баллы		Требования к знаниям
максимум	минимум	
12	9	Студент глубоко и прочно усвоил проверяемый материал курса, последовательно, четко и логически его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами и вопросами, верно обосновывает принятые решения.
8	4	Студент имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, частично ответил на поставленные вопросы по материалу выполненной работы.
3	0	Студент знает менее 50 % проверяемого материала, допускает значительные ошибки, с большими затруднениями решает задачи или не справляется с ними

### 5.4 Критерии оценки лабораторных работ

Каждая выполненная лабораторная работа оценивается до 6 баллов. При этом баллы начисляются в зависимости от уровня знаний студента по теме работы.

#### Шкала критериев оценки защиты лабораторных работ

Баллы		Требования к знаниям
максимум	минимум	
6	5	Студент глубоко и прочно усвоил проверяемый материал курса, последовательно, четко и логически его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами и вопросами, верно обосновывает принятые решения.
4	3	Студент имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, частично ответил на поставленные вопросы по материалу выполненной работы.
2	0	Студент знает менее 50 % проверяемого материала, допускает значительные ошибки, с большими затруднениями решает задачи или не справляется с ними

## 5.5 Критерии оценки экзамена

Студент допускается к экзамену по результатам суммы оценок двух промежуточных контролей успеваемости: от 36 до 60 баллов. В случае наличия задолженности студент отработывает пропущенные занятия. Студент, пропустивший занятия или не набравший 36 баллов обязан ликвидировать задолженность. Отработка студентом пропущенных лекций по уважительной причине (болезнь, выезд на соревнования, освобождение деканата) проводится в форме самостоятельного написания студентом конспекта пропущенных лекций, представлением документа, подтверждающего причину пропуска. Отработка студентом пропущенных лекций без уважительной причины проводится в форме самостоятельного написания студентом конспекта лекции с последующим собеседованием с преподавателем.

Отработка студентом пропущенного практического занятия проводится в следующих формах:

- студент посещает практическое занятие по этой же теме со студентами другой учебной группы;

- отработка студентом пропущенного практического занятия по уважительной причине (болезнь, выезд на соревнования, освобождение деканата) проводится в форме представления документа, подтверждающего причину пропуска и самостоятельной работы студента над вопросами практического занятия с кратким их конспектированием или схематизацией, с последующим по выбору студента устным изложением одного вопроса преподавателю;

- отработка студентом пропущенного практического занятия без уважительной причины проводится в форме самостоятельной работы студента над вопросами занятия с кратким их конспектированием или схематизацией, с последующим устным изложением преподавателю.

Экзамен принимает лектор. Экзамен проводится по билетам. Экзаменатору предоставляется право задавать студентам дополнительные вопросы сверх билета, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи и примеры, связанные с курсом. При проведении экзамена могут быть использованы технические средства.

Проставляемая в экзаменационную ведомость оценка соответствует сумме баллов, набранных студентом в течение семестра (36...60) и полученных при сдаче экзамена (0...40). Экзаменационный билет включает два вопроса по курсу (один вопрос – из первого модуля, а второй – из второго) и задачу.

Каждый из вопросов имеет вес от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты ответов. Основанием для простановки неполного балла являются ошибки в терминологии, расчетных схемах и расчетных зависимостях, недостаточное качество графики, неверные ответы на дополнительные вопросы.

Экзаменационная задача – 20 баллов. Полное решение задачи должно включать все необходимые расчетные схемы и зависимости, позволяющие получить правильный ответ.

Основанием для простановки неполного балла являются непонимание сути задачи, ошибки в алгоритме решения и использованных зависимостях.

Знания, умения, навыки студента на экзамене оцениваются оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

## Шкала критериев оценки экзамена

Оценка экзамена	Требования к знаниям
«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разнообразными навыками и приемами выполнения практических задач, безупречно владеет приемами работы с оборудованием, программным, техническим и другим обеспечением, безошибочно читает схемы, графики и чертежи.
«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и правилами их выполнения, правильно владеет приемами работы с оборудованием, программным, техническим и другим обеспечением, безошибочно читает схемы, графики и чертежи.
«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ, допускает отдельные неточности или недостаточно четкое выполнение приемов работы на оборудовании.
«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, не умеет применять теоретические знания при решении практических задач, отсутствуют навыки в обосновании выдвигаемых предложений и принимаемых решений, допускает грубые ошибки в чтении графиков, схем, чертежей.

### 6 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельная работа студентов (СРС) направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала, развитие практических умений. СРС включает работу с материалами курса, вынесенными на самостоятельное изучение.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов приведен в приложении и хранится на кафедре.

Для СРС рекомендуется использовать источники, приведенные в п. 7.

Критерием оценки результатов самостоятельной работы студента является уровень освоения студентом учебного материала.

## 7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Основная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Гриф	Количество экземпляров
1	<b>Тарасик, В. П.</b> Математическое моделирование технических систем: учебник / В. П. Тарасик. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2016. – 592 с.	Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве учебника для студентов, обучающихся по специальности «Автомобиле и тракторостроение» Утверждено министерством образования Республики Беларусь в качестве учебника для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям	40

### 7.2 Дополнительная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Гриф	Количество экземпляров
1	Тимофеев, С. И. Теория механизмов и механика машин : учеб. пособие для вузов / С. И. Тимофеев. - Ростов н/Д : Феникс, 2011. - 349с.	Допущено УМО университетского политехнического образования в качестве учеб. пособия для студентов вузов	24
2	Молибошко, Л. А. Компьютерные модели автомобилей: учебник / Л. А. Молибошко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 295 с.	Утверждено Мин. образов. РБ в качестве учебника	10
3	<b>Трофимова, Т. И.</b> Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1997. – 542 с.	–	149
4	Проектирование трансмиссий автомобилей: Справочник / А.И. Гришкевич, Б.У. Бусел, Г.Ф. Бутусов и др.; Под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.	–	17

### 7.3 Перечень ресурсов сети Интернет по изучаемой дисциплине

1. <http://batu.edu.by/discipline/detali-mashin-i-podemno-transportnye-mekhanizmy>
2. <http://www.twirpx.com/files/machinery/mchparts/ft.control/>
3. [http://abc.vvsu.ru/Books/det\\_mash/page0001.asp](http://abc.vvsu.ru/Books/det_mash/page0001.asp)

**7.4 Перечень наглядных и других пособий, методических рекомендаций по проведению учебных занятий, а также методических материалов к используемым в образовательном процессе техническим средствам**

#### 7.4.1 Методические рекомендации



1. Моделирование в технических системах. Методические рекомендации к практическим занятиям для студентов направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика». – Могилев. Бел.- Рос. ун-т, 2020. (электронный вариант).

2. Моделирование в технических системах. Методические рекомендации к лабораторным занятиям для студентов направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика». – Могилев. Бел.- Рос. ун-т, 2020. (электронный вариант).

#### **7.4.2 Информационные технологии**

Мультимедийные презентации по темам лекционного курса.

Тема 1. Введение

Тема 2. Объекты проектирования на макроуровне.

Тема 3. Способы построения теоретических математических моделей на макроуровне.

Тема 4. Матричная форма представления математической модели.

Тема 5. Моделирование и анализ статических состояний технических систем.

Тема 6. Моделирование и анализ переходных процессов технических систем.

Тема 7. Моделирование технических объектов с трансформаторными элементами.

Тема 8. Качественный анализ физических свойств технических систем.

Тема 9. Моделирование гидравлических систем.

Тема 10. Топология динамических моделей технических объектов.

Тема 11. Моделирование технических объектов переменной структуры.

Тема 12. Методы решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений.

Тема 13. Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и их устойчивость

Тема 14. Устойчивость численных методов интегрирования.

Тема 15. Одношаговые и многошаговые методы интегрирования.

Тема 16. Моделирование вероятностных систем.

Тема 17. Определение статистических оценок вероятностных характеристик случайных процессов.

Тема 18. Частотный и спектральный анализ технических систем.

Тема 19. Экспериментальные факторные модели.

Тема 20. Планирование эксперимента и построение регрессионных моделей.

Тема 21. Определение параметров регрессионной модели.

Тема 22. Построение регрессионных моделей второго порядка

Тема 23. Оптимизация параметров проектируемых механизмов. Выбор критериев оптимальности и формирование целевой функции

Тема 24. Выбор стратегии оптимизации. Методы оптимизации

### **8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение дисциплины содержится в паспортах лабораторий кафедры «Основы проектирования машин» рег. № ПУЛ-4.409/01-20, рег. № ПУЛ-4.406/01-20, рег. № ПУЛ-4.803/07-20, рег. № ПУЛ-4.805/07-20.