

1.9.90

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор Белорусско-  
Российского университета

Ю.В. Машин

«22» 04 2022 г.

Регистрационный № УД-150303/5.1.В.5/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  | 4              |
| Семестр                                     | 7              |
| Лекции, часы                                | 44             |
| Практические занятия, часы                  | 14             |
| Лабораторные занятия, часы                  | 30             |
| Экзамен, семестр                            | 7              |
| Контактная работа по учебным занятиям, часы | 88             |
| Самостоятельная работа, часы                | 56             |
| Всего часов / зачетных единиц               | 144/4          |

Кафедра-разработчик программы: Основы проектирования машин


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

Могилев, 2022

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика № 729 от 09.08.2021 г., учебным планом рег. №150303-2 от 28.01.2022 г.

Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой «Основы проектирования машин» «16» марта 2022 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой ОПМ

 А.П. Прудников

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом Белорусско-Российского университета (протокол № 5 от «20» апреля 2022 г.)

Зам. председателя  
Научно-методического совета

 С.А. Сухоцкий

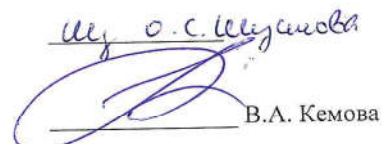
Рецензент:

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

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.;
- 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)» (часть Блока 1, формируемая участниками образовательных отношений).

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

- математика;
- физика;
- информационные технологии в проектировании / алгоритмические основы в проектировании
- теоретическая механика;
- сопротивление материалов;
- теория механизмов и машин;
- CAD и CAE системы.

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

- техническая диагностика и испытательные стенды
- разработка профессиональных приложений.

Кроме того, знания, полученные при изучении дисциплины на лекционных, лабораторных и практических занятиях, будут применены при прохождении преддипломной практики, а также при подготовке выпускной квалификационной работы и дальнейшей профессиональной деятельности.

#### 1.4 Требования к освоению учебной дисциплины

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

| Коды формируемых компетенций | Наименования формируемых компетенций   |
|------------------------------|--|
| ПК-2                         | Способен выполнять подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения работ.         |
| ПК-4                         | Способен использовать средства автоматизации расчета и проектирования для выполнения технического задания. |

## 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. 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 функцио- | ПК-2, ПК-4                   |

|   |   |   |            |
|---|---|---|------------|
|   |   | нирования технических объектов и способы их анализа. Установившееся и неустановившееся состояния объекта. Статические и динамические режимы.  |            |
| 2 | Объекты проектирования на макроуровне.                                  | 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. | ПК-2, ПК-4 |
| 3 | Способы построения теоретических математических моделей на макроуровне. | 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.   | ПК-2, ПК-4 |
| 4 | Матричная форма представления математической модели.                    | Матрица инцидентов 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.  | ПК-2, ПК-4 |
| 5 | Моделирование и анализ статических состояний технических систем.        | 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 итераций. Скорость сходимости. Стационарные итерационные методы. 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.   | ПК-2, ПК-4 |
| 6 | Моделирование и анализ переходных процессов технических систем.         | 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 показателей качества: времени переходного процесса, коэффициента динамичности, декремента колебаний, колебательности. Интегральные оценки качества переходного процесса. Методика анализа переходных процессов технических систем.   | ПК-2, ПК-4 |
| 7 | Моделирование технических объектов с трансформаторными                  | Матрица трансформаторных элементов. Уравнения алгоритма процесса формирования моделей. Моделирование механической системы при плоском движе-  | ПК-2, ПК-4 |

|    |   |  |            |
|----|---|--|------------|
|    | элементами.   | нии твердых тел. Использование уравнений Эйлера для определения параметров трансформаторных элементов. Моделирование трансмиссии. Моделирование подвески автомобиля.   |            |
| 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-2, ПК-4 |
| 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-2, ПК-4 |
| 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, ПК-4 |
| 11 | Моделирование технических объектов переменной структуры.                                  | Моделирование технических объектов с фрикционными элементами. Уравнения алгоритмов процесса формирования моделей объектов переменной структуры.  | ПК-2, ПК-4 |
| 12 | Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и их устойчивость | Преобразование математической модели из инвариантной в алгоритмическую форму. Метод конечных разностей. Дискретизация независимой переменной 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.   | ПК-2, ПК-4 |
| 13 | 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, ПК-4 |
| 14 | Моделирование вероятностных систем.   | Основные свойства случайных процессов. Реализация случайного процесса, ансамбль реализаций, сечение  | ПК-2, ПК-4 |

|    |  |   |            |
|----|--|---|------------|
|    |  | 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.  |            |
| 15 | 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, ПК-4 |
| 16 | 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, ПК-4 |
| 17 | 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-4 |
| 18 | Планирование эксперимента и построение регрессионных моделей.                      | План полного факторного эксперимента. Вид уравнения 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-2, ПК-4 |
| 19 | 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-4 |

|    |   |  |            |
|----|---|--|------------|
| 20 | 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-4 |
| 21 | 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-4 |
| 22 | 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-4 |



## 2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

| № недели        | Лекции<br>(наименование тем)   | Часы | Практические<br>занятия   | Часы | Лабораторные<br>занятия                                      | Часы | Самостоятельная<br>работа | Форма контроля<br>знаний | Баллы (max) |
|-----------------|--|------|---|------|--|------|---------------------------|--------------------------|-------------|
|                 |  |      |   |      |  |      |                           |                          |             |
| 1               | 2  | 3    | 4   | 5    | 6  | 7    | 8                         | 9                        | 10          |
| <b>Модуль 1</b> |  |      |   |      |  |      |                           |                          |             |
| 1               | 1. Введение.<br>2. Объекты проектирования на макроуровне.  | 4    |   |      | №1 Моделирование механических вращательных систем            | 2    | 2                         |                          |             |
| 2               | 3. Способы построения теоретических математических моделей на макроуровне.   | 2    | №1 Построение математической модели механической вращательной системы | 2    | №1 Моделирование механических вращательных систем            | 2    |                           |                          |             |
| 3               | 4. Матричная форма представления математической модели.<br>5. Моделирование и анализ статических состояний технических систем.         | 4    |   |      | №1 Моделирование механических вращательных систем            | 2    | 2                         |                          |             |
| 4               | 6. Моделирование и анализ переходных процессов технических систем.   | 2    | №1 Построение математической модели механической вращательной системы | 2    | №1 Моделирование механических вращательных систем            | 2    |                           |                          |             |
| 5               | 7. Моделирование технических объектов с трансформаторными элементами.<br>8. Качественный анализ физических свойств технических систем. | 4    |   |      | №2 Моделирование систем виброзащиты                          | 2    | 2                         |                          |             |
| 6               | 9. Моделирование гидравлических систем.  | 2    | №2 Построение математических моделей систем виброзащиты               | 2    | №2 Моделирование систем виброзащиты                          | 2    |                           |                          |             |
| 7               | 10. Топология динамических моделей технических объектов<br>11. Моделирование технических объектов переменной структуры.                | 4    |   |      | №2 Моделирование систем виброзащиты                          | 2    | 2                         | КР<br>ЗЛР                | 12<br>6     |
| 8               | 12. Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.   | 2    | №2 Построение математических моделей систем виброзащиты               | 2    | №2 Моделирование систем виброзащиты                          | 2    | 2                         | О<br>ПКУ                 | 12<br>30    |
| <b>Модуль 2</b> |  |      |   |      |  |      |                           |                          |             |
| 9               | 13. Устойчивость численных методов интегрирования.<br>14. Моделирование вероятностных систем.  | 4    |   |      | №3 Исключение топологических вырождений динамических моделей | 2    | 2                         |                          |             |
| 10              | 15. Определение статистических оценок вероятностных характеристик случайных процессов.   | 2    | №3 Применение регрессионного анализа технических систем               | 2    | №4 Упрощение динамических моделей                            | 2    |                           |                          |             |
| 11              | 16. Частотный и спектральный анализ технических систем.<br>17. Экспериментальные факторные модели.                                     | 4    |   |      | №5 Построение экспериментальной факторной модели             | 2    | 2                         |                          |             |
| 12              | 18. Планирование эксперимента и построение регрессионных моделей.  | 2    | №3 Применение регрессионного  | 2    | №5 Построение эксперименталь-                                | 2    |                           |                          |             |

|       |  |           |   |           |  |           |           |               |            |
|-------|--|-----------|---|-----------|--|-----------|-----------|---------------|------------|
|       |  |           | анализа технических систем                              |           | ной факторной модели                               |           |           |               |            |
| 13    | 19. Определение параметров регрессионной модели.<br>20. Построение регрессионных моделей второго порядка           | 4         |   |           | №6 Построение регрессионной модели второго порядка | 2         | 2         |               |            |
| 14    | 21. Оптимизация параметров проектируемых механизмов. Выбор критериев оптимальности и формирование целевой функции. | 2         | №3 Применение регрессионного анализа технических систем | 2         | №7 Оптимизация параметров объекта                  | 2         | 2         | КР<br>ЗЛР     | 12<br>6    |
| 15    | 22. Выбор стратегии оптимизации. Методы оптимизации.   | 2         |   |           | №7 Оптимизация параметров объекта                  | 2         | 2         | О<br>ПКУ      | 12<br>30   |
| 16-18 |  |           |   |           |  |           | 36        | ПА (эк-замен) | 40         |
|       | <b>Итого</b>   | <b>44</b> |   | <b>14</b> |  | <b>30</b> | <b>56</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...22             |                      | Лаб.р. № 1...7       | 74          |
| 2     | Расчетные                |                         | Пр.р. № 1...3        |                      | 14          |
|       | <b>ИТОГО</b>             | 44                      | 14                   | 30                   | 88          |

### 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 к экзамену                    | 1                     |
| 2     | Экзаменационные билеты                | 1                     |
| 3     | Вопросы для опроса                    | 4                     |
| 4     | Задания к контрольной работе          | 2                     |
| 5     | Вопросы для защиты лабораторных работ | 7                     |

## 5 МЕТОДИКА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

### 5.1 Уровни сформированности компетенций

| № п/п   | Уровень сформированности компетенций | Содержательное описание уровня   | Результаты обучения  |
|---|--------------------------------------|--|--|
| <b>ПК-2. Способен выполнять подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения работ.</b>         |                                      |  |  |
| <b>ИПК-2.1. Разрабатывает и экономически обосновывает технические задания.</b>  |                                      |  |  |
| 1   | Пороговый уровень                    | Знание подходов к подготовке элементов документации, к разработке и экономическому обоснованию технического задания.   | Знает подходы к подготовке элементов документации, к разработке и экономическому обоснованию технического задания.   |
| 2   | Продвинутый уровень                  | Понимание методики выполнения подготовки элементов документации, разработки и экономического обоснования технического задания.   | Понимает методику выполнения подготовки элементов документации, разработки и экономического обоснования технического задания.                                  |
| 3   | Высокий уровень                      | Способность эффективно выполнять подготовку элементов документации, разработку и экономическое обоснование технического задания.   | Способен эффективно выполнять подготовку элементов документации, разработку и экономическое обоснование технического задания.                                  |
| <b>ПК-4: Способен использовать средства автоматизации расчета и проектирования для выполнения технического задания.</b> |                                      |  |  |
| <b>ИПК-4.2. Создает математические модели проектируемых деталей, узлов, изделий.</b>                                    |                                      |  |  |
| Пороговый уровень   |                                      | Знание типовых моделей проектируемых деталей, узлов, изделий и технических систем.   | Понимает сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекает для их решения типовые модели технических систем. |
| Продвинутый уровень   |                                      | Понимание научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности. Умение использовать для их решения модели технических систем.                          | Выявляет сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и умеет использовать для их решения модели технических систем.  |
| Высокий уровень   |                                      | Способность выявлять научно-технические проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности. Умение разрабатывать для их решения эффективные модели технических систем. | Умеет рационально распознавать научно-технические проблемы и разрабатывать для их решения эффективные модели технических систем.                               |

### 5.2 Методика оценки знаний, умений и навыков студентов

| Результаты обучения  | Оценочные средства   |
|--|--|
| <b>ПК-2. Способен выполнять подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения работ.</b>                                |  |
| Знает структуру элементов документации.  | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.<br>Экзаменационные билеты. |
| Знает нормативную документацию для выполнения подготовки элементов документации, разработки и экономического обоснования технического задания. | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.                            |

|  |  |
|--|--|
|  | Экзаменационные билеты.  |
| Знает и применяет специализированные программные продукты для оформления документации.   | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.<br>Экзаменационные билеты. |
| Понимает методику выполнения подготовки элементов документации, разработки и экономического обоснования технического задания.                                  | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.<br>Экзаменационные билеты. |
| <b>ПК-4: Способен использовать средства автоматизации расчета и проектирования для выполнения технического задания.</b>  |  |
| Понимает сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекает для их решения типовые модели технических систем. | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.<br>Экзаменационные билеты. |
| Применяет специализированные программные продукты для оптимизации проектируемых изделий.   | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.<br>Экзаменационные билеты. |
| Способен самостоятельно проектировать машины и технологическое оборудование с использованием средств автоматизации расчета и проектирования.                   | Вопросы к экзамену.<br>Вопросы для опроса.<br>Задания к контрольной работе.<br>Вопросы для защиты лабораторных работ.<br>Экзаменационные билеты. |

### 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, правильно 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

Выполненные лабораторные работы каждого модуля оцениваются 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, правильно 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.

Проставляемая в экзаменационную ведомость оценка соответствует сумме баллов, набранных студентом в течение семестра до 60 баллов и полученных при сдаче экзамена до 40 баллов и выставляется в соответствии с приведенной шкалой по пятибалльной системе в соответствии со шкалой.

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

Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по курсу и одну задачу.

Один теоретический вопрос касается общих сведений по курсу и оценивается до 8 баллов в зависимости от полноты ответа.

Второй вопрос касается методов расчёта и оценивается до 12 баллов в зависимости от полноты ответа.

Полный ответ на вопрос по курсу должен включать:

- описательную часть (оценивается до 4 баллов);
- расчетную схему (оценивается до 3 баллов);
- расчетные зависимости с необходимыми пояснениями (оценивается до 5 баллов).

Основанием для простановки неполного балла являются ошибки в терминологии, расчетных схемах и расчетных зависимостях.

Экзаменационная задача оценивается до 20 баллов. Решение задачи должно включать расчетную схему и расчетные зависимости с пояснениями. Решение должно быть доведено до численного значения.

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

## 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>Берлинер, Э. М.</b> САПР конструктора машиностроителя: учебник для вузов / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – М.: Форум: ИНФА-М, 2019. – 288с.  | Доп. УМО вузов РФ по образованию в обл. транспортных машин, транспортно-технологических комплексов, в качестве учебника для студентов вузов   | ЭБС<br>Znanium         |
| 2     | <b>Тарасик, В. П.</b> Математическое моделирование технических систем: учебник / В. П. Тарасик. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2020. – 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»<br>Утверждено министерством образования Республики Беларусь в качестве учебника для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям | ЭБС<br>Znanium         |

### 7.2 Дополнительная литература

| № п/п | Библиографическое описание   | Гриф   | Количество экземпляров |
|-------|--|--|------------------------|
| 1     | <b>Тимофеев, С. И.</b> 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     | <b>Молибожко, Л. А.</b> Компьютерные модели автомобилей: учебник / Л. А. Молибожко. – 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.                         | Рек. Министерством общего и профессионального образования РФ в качестве учеб. пособия для инженерно-тех. спец. вузов | 143                    |
| 4     | Проектирование трансмиссий автомобилей: Справочник / А.И. Гришкевич,   | –  | 17                     |

|   |  |  |
|---|--|--|
| Б.У. Бусел, Г.Ф. Бутусов и др.; Под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с. |  |  |
|---|--|--|

### **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, 2022. (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, 2022. (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. Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и их устойчивость

Тема 13. Устойчивость численных методов интегрирования.

Тема 14. Моделирование вероятностных систем.

Тема 15. Определение статистических оценок вероятностных характеристик случайных процессов.

Тема 16. Частотный и спектральный анализ технических систем.

Тема 17. Экспериментальные факторные модели.

Тема 18. Планирование эксперимента и построение регрессионных моделей.

Тема 19. Определение параметров регрессионной модели.

Тема 20. Построение регрессионных моделей второго порядка

Тема 21. Оптимизация параметров проектируемых механизмов. Выбор критериев оптимальности и формирование целевой функции

Тема 22. Выбор стратегии оптимизации. Методы оптимизации

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

Материально-техническое обеспечение дисциплины содержится в паспортах лабораторий «801», «802», «803», 805», «117» рег. номер ПУЛ-4.503-801/07-21, ПУЛ-4.503-802/07-21, ПУЛ-4.503-803/07-21, ПУЛ-4.503-805/07-21, ПУЛ-4.441-117/01-21.