

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

« 30 » _____ 2020 г. О.Н. Здрок

Регистрационный
№ 40-8345147.

**Компьютерное проектирование, моделирование и анализ
сложных систем**

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:
1-31 80 04 Механика и математическое моделирование

профилизация Теоретическая и прикладная механика

2020 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 04-2019 и учебного плана № G31-019/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Чигарев Анатолий Власович – профессор кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Вихренко Вячеслав Степанович - доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры механики и конструирования Белорусского государственного технологического университета.

Журавков Михаил Анатольевич - доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедры теоретической и прикладной механика Белорусского государственного университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики
(протокол № 13 от 16.06.2020)

Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета
(протокол № 5 от 17.06.2020)

Заведующий кафедрой
Д.ф.-м.н., профессор



Михасев Г.И.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью преподавания учебной дисциплины является освоение студентами основных принципов и методов современной автоматизации процессов проектирования и разработки мехатронных, автоматизированных, роботизированных систем.

Основными задачами преподавания учебной дисциплины являются:

- формирование знаний студентов о средствах и методах автоматизированного проектирования современных мехатронных систем;
- формирование знаний студентов о программных инструментах автоматизации процессов производства и проектирования на машиностроительных предприятиях;
- получение практических навыков студентами в области разработки и создания моделей мехатронных устройств в программных средствах трехмерного моделирования;
- получение практических навыков студентами работы в средах численного программного анализа, расчета напряженного-деформированных состояний деталей;
- освоение студентами новейших технологий автоматизации проектирования и производства мехатронных систем.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина «Компьютерное проектирование, моделирование и анализ сложных систем» входит в модуль «Математическое моделирование в инженерных системах» профилизации «Теоретическая и прикладная механика» компонента учреждения высшего образования.

Связь с другими дисциплинами.

Для изучения учебной дисциплины «Компьютерное проектирование, моделирование и анализ сложных систем» необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин как: «Дифференциальные уравнения», «Уравнения в частных производных», «Информационные технологии», «Компьютерная механика», «Механика сплошной среды», «Математические модели механики деформируемого твердого тела и основы механики разрушения», «Мехатроника», «Современные роботы и робототехнические системы».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции:**

- СК- 8. Быть способным создавать и применять компьютерные 3D модели к сложным системам.

В результате изучения учебной дисциплины «Компьютерное проектирование, моделирование и анализ сложных систем» студент должен: **знать:**

- принципы и методы автоматизации проектирования мехатронных систем;
- компоненты систем автоматизированного проектирования мехатронных устройств;

уметь:

- самостоятельно работать в пакетах твердотельного компьютерного моделирования, осуществлять в них численный расчет деталей по методу конечных элементов;
- использовать системы трехмерного компьютерного моделирования для создания моделей мехатронных устройств;
- применять методы численного анализа сложных систем;

владеть:

- математическими методами описания работы мехатронных модулей и систем;
- принципами построения напряженно-деформированных моделей объектов и систем мехатроники.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина «Компьютерное проектирование, моделирование и анализ сложных систем» изучается магистрантами в 3 семестре.

Всего на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования - 198 часов, в том числе 72 аудиторных часов, из них: 36 часов – лекции, 36 часов – лабораторные занятия.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Системы автоматизированного проектирования и разработки мехатронных систем

1.1. Инженерное проектирование

Системный подход к проектированию. Теория системотехники. Иерархия процесса проектирования. Стадии процесса проектирования. Техническое задание на проектирование.

1.2. Структура системы автоматизированного проектирования

Системы автоматизации машиностроительных предприятий. Разновидности САПР. Жизненный цикл мехатронного устройства. Комплексные системы CAD/CAM/CAE, их применение на предприятиях. Свойства и возможности систем CAD и CAE. Препроцессор, постпроцессор, подготовка проектной документации в системах автоматизации.

1.3. Определение CAD, CAM и CAE. Общая база данных для проектирования и производства

Системы CAD – автоматизированное проектирование, её свойства и методы. Системы CAM – автоматизированное производство. Системы CAE – автоматизированное конструирование. Разработка наиболее эффективных сценариев производства продукции.

1.4. Компоненты систем автоматизации проектирования

Аппаратное и программное обеспечение процесса автоматизации производства. Техническое обеспечение САПР. Векторные и растровые графические устройства. Программные компоненты системы автоматизации. Системы автоматизации на базе операционной системы Windows.

Тема 2. Графическое программирование

2.1. Графические библиотеки

Драйверы устройства ввода-вывода – набор аппаратно-зависимых кодов. Системы координат устройства и видовой экран. Примитивы графических библиотек. Дисплейный файл, матрицы преобразования. Принципы визуализации в системах автоматизации.

2.2. Системы автоматизированной разработки чертежей

Базовые функции черчения, функции аннотации. Системы геометрического моделирования: системы каркасного моделирования, системы поверхностного моделирования, системы твердотельного моделирования. Функции моделирования, Булевские операции. Объектно-ориентированное моделирование. Структура данных: дерево CSG, структура B-Rep, структура декомпозиционной модели. Расчет объемных параметров.

2.3. Представление кривых и поверхностей в системе графического программирования

Конические сечения, эрмитовы кривые, кривые Безье, B-сплайн, NURBS-кривые. Интерполяционные кривые. Пересечение кривых. Дифференцирование и расчет кривых. Типы уравнений поверхностей. Билинейная поверхность. Лоскут Куна. Бикубический лоскут. Поверхность Безье. B-сплайновая

поверхность. Поверхность NURBS. Интерполяционная поверхность.

Тема 3. Метод конечных элементов и оптимизация

3.1. Формирование метода конечных элементов

Система дифференциальных уравнений для описания трехмерного объекта под действием нагрузки. Моделирование конечных элементов. Построение сетки конечных элементов. Автоматическое построение сетки. Топологическое разбиение детали. Геометрическое разбиение. Анализ детали по методу конечных элементов.

3.2. Оптимизация конечно-элементной модели мехатронной системы

Задание ограничений в математической модели. Задание внешних штрафных функций. Задание внутренних штрафных функций. Метод поиска: основанный на вычислениях, направленный случайный поиск, перебор. Метод модельной закалки. Задача коммивояжера. Оптимальная компоновка. Генетический алгоритм. Структурная оптимизация.

3.3. Интеграция систем автоматизированного проектирования и конструирования

Производственный цикл детали. Технологическая подготовка производства: автоматизированный подход, модифицированный подход, генеративный подход. Групповая технология автоматизации. Классификация и кодирование. Системы кодирования. Системы управления данными о продуктах.

Тема 4. Числовое программное управление

4.1. Системы числового программного управления

Аппаратная конфигурация станка с числовым программным управлением. Типы систем с числовым программным управлением. Составление программ обработки деталей. Автоматизированное составление программ обработки деталей. Языки программирования станков с числовым управлением.

4.2. Быстрое прототипирование и изготовление деталей. Виртуальная инженерия

Процесс стереолитографии. Метод отверждения на твердом основании. Метод лазерного спекания. Трехмерная печать. Метод ламинирования. Метод наплавления. Применение быстрого прототипирования и изготовления. Процесс быстрой инструментовки. Компоненты виртуальной инженерии. Программные продукты для виртуальной инженерии.

4.3. Обмен данными между системами автоматизации

Стандарты обмена данными между системами автоматизации. Формат обмена данными IGES, DXF, STEP. Обмен данными через нейтральный файл.

Тема 5. Математическое обеспечение анализа проектируемых решений

5.1. Микроуровень и макроуровень математического анализа модели

Компонентные и топологические уравнения моделей. Эквивалентные схемы систем. Метод анализа во временной области. Математические модели на микроуровне. Математические модели на макроуровне. Анализ на

системном уровне. Теория массового обслуживания.

5.2. Функционально-логический уровень анализа модели

Моделирование и анализ аналоговых устройств. Математические модели дискретных устройств. Методы логического моделирования. Теория графов. Имитационное моделирование. Событийный метод моделирования. Сеть Петри.

5.3. Методы структурного синтеза в САПР

Системы искусственного интеллекта. Дискретное математическое программирование. Эволюционные методы. Системы распределенных вычислений в САПР.

5.4. Математический анализ и синтез сложных систем

Нелинейные уравнения динамики мехатронных систем, их линеаризация. Преобразование Лапласа. Преобразование Фурье. Пространство состояний динамических систем. Передаточных функций, временных и частотных характеристик мехатронных систем. Метод конечных элементов, метод конечных разностей, методы граничных элементов.

5.5. Расчет систем разной физической природы

Автоматизация расчёта электротехнических и электронных компонентов мехатронных систем. Проектирование и расчет гидравлического, теплового, газового оборудования. Автоматизированное проектирование и разработка программного и аналогового управления для мехатронных систем. Перспективы развития автоматизации проектирования и разработки мехатронных систем.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов по СР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Системы автоматизированного проектирования и разработки мехатронных систем	8			8			Собеседование
1.1	Инженерное проектирование	2			2			
1.2	Структура системы автоматизированного проектирования	2			2			
1.3	Определение САД, САМ и САЕ. Общая база данных для проектирования и производства	2			2			
1.4	Компоненты систем автоматизации проектирования	2			2			
2	Графическое программирование	6			6			Собеседование
2.1	Графические библиотеки	2			2			
2.2	Системы автоматизированной разработки чертежей	2			2			

2.3	Представление кривых и поверхностей в системе графического программирования	2			2			
3	Метод конечных элементов и оптимизация	8			8			Отчет по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой
3.1	Формирование метода конечных элементов.	2			2			
3.2	Оптимизация конечно-элементной модели мехатронной системы	4			4			
3.3	Интеграция систем автоматизированного проектирования и конструирования	2			2			
4	Числовое программное управление	6			6			Отчет по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой
4.1	Модели и схемы преобразования энергии. Электромагнитные поступательные преобразователи энергии. Вращательные преобразователи энергии. Некоторые конструкции электродинамических преобразователей в двигателях постоянного тока.	2			2			
4.2	Быстрое прототипирование и изготовление деталей. Виртуальная инженерия	2			2			
4.3	Обмен данными между системами автоматизации	2			2			
5	Математическое обеспечение анализа проектируемых решений	8			8			Отчет по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой

5.1	Микроуровень и макроуровень математического анализа модели	2						
5.2	Функционально-логический уровень анализа модели	2			2			
5.3	Методы структурного синтеза в САПР	2			2			
5.4	Математический анализ и синтез сложных систем	2			2			
5.5	Расчет систем разной физической природы				2			
	Всего	36			36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Норенков И.П. Системы автоматического проектирования: Учеб. пособие для втузов: В 9 кн./Под ред. И.П. Норенков. – М.: Высш. шк., Москва. - 1986.
2. Малафеев С.И. Основы автоматики и системы автоматического управления: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ С.И. Малафеев, А.А. Малафеева. – М.: Издательский центр «Академия», Москва, 2010. – 384 с.
3. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи./ Алямовский А.А. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.
4. Большаков В.П. 3-D моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: Учебный курс / В.П. Большаков, А.Л. Бочков, А.А. Сергеев – СПб.: Питер, 2011. – 336 с.
5. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Басов К.А., М.: Компьютер Пресс, 2002.
6. Каплун А.Б. Ansys в руках инженера: Практическое руководство / Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
7. ANSYS Basic Analysis Procedures Guide/ ANSYS Release 5.6. ANSYS Inc., 1998
8. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Кунву Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
9. Дударева Н.Ю. SolidWorks 2011 на примерах / Дударева Н.Ю., Загайко С.А. – Спб.: БХВ-Петербург, 2011. – 496 с.
10. Клебанов Я.М. Современные методы компьютерного моделирования процессов деформирования конструкций. Учебное пособие / Клебанов Я.М., Фокин В.Г., Давыдов А.Н. – Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2004. – 100 с.
11. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: Справ. Пособие / Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. – М.: Машиностроение-1, 2004, 512 с., с.441.
12. Басов К.А. ANSYS справочник пользователя / Басов К.А. – М.: ДМК Пресс, 2005.– 640 с.

Дополнительная литература

13. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов: Учебник для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. / Феодосьев В.И. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. -592 с.

- 14.Иванов Д.В. Введение в Ansys Workbench: Учеб.-метод. Пособ. для студ. естест.-науч. дисц. / Иванов Д.В., Дроль А.В. – Саратов: Амирит, 2006. – 56 с.
- 15.Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17 / Федорова Н.Н., Вальгев С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. – ДМК Пресс, 2019. – 210 с.
- 16.Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Учебник для вузов / Норенков И.П. - М: МГТУ им. НЭ Баумана, 2002.
- 17.Головицына М.В. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств. Учебник. / Головицына М.В. - 2008
- 18.Алексеев О.В. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: Учебное пособие для вузов / Алексеев О.В. и др. – М.: Высшая школа, 2000. - 479 с.
- 19.Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике: Пер.с англ. / Зенкевич О.К. - М.: Мир, 1975. - 541с.
- 20.Корчак С.Н. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: учебник для вузов. / Корчак С.Н. и др. -М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Компьютерное проектирование, моделирование и анализ сложных систем» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой;
- собеседования;

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную оценку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете.

Методика формирования итоговой оценки

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой оценки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

Формирование оценки за *текущую успеваемость* осуществляется в соответствии со следующими весовыми коэффициентами:

- собеседование – 30 %;
- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой – 70%.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки *текущей успеваемости* и *экзаменационной оценки* с учетом их весовых коэффициентов. весовая оценка по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Компьютерное проектирование, моделирование и анализ сложных систем» учебным планом предусмотрен экзамен.

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

1) Постановления министерства образования республики Беларусь от 29 мая 2012г. № 53 «Об утверждении Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования»;

2) Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете (приказ ректора № 189 – ОД от 31.03.2020);

3) Письма министерства образования ректорам высших учебных заведений Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 о критерии оценки знаний и компетенции студентов по 10-бальной шкале.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Проектирование и разработка детали “Винт” в системе твердотельного трехмерного моделирования.
2. Проектирование и разработка детали “Вал” в системе твердотельного трехмерного моделирования.
3. Проектирование и разработка детали “Храповик”.
4. Проектирование и разработка детали “Зубчатое колесо” в системе твердотельного трехмерного моделирования.
5. Проектирование и разработка сборки “Редуктор”.
6. Проектирование и разработка модели “Листовой металл”.
7. Проектирование и разработка модели “Патрубок, Проставка” в системе твердотельного трехмерного моделирования.
8. Проектирование и разработка модели “Сварные, болтовые соединения”.
9. Прочностной анализ. Конечно-элементный анализ вала.
10. Тепловой конечно-элементный анализ теплопередачи и теплообмена детали и группы тел.
11. Гидродинамический анализ мехатронных системах гидроцилиндра.
12. Электростатический анализ детали методом конечных элементов.
13. Электродинамические анализы явлений в мехатронных системах методом конечных элементов.
14. Кинематический анализ мехатронных систем.
15. Динамический анализ мехатронных систем.
16. Конечно-элементный расчет ферм.
17. Конечно-элементный расчет балок и рам.
18. Конечно-элементный расчет напряженно-деформированного состояния пластины.
19. Конечно-элементный анализ концентрации напряжений вокруг отверстия в прямоугольной растянутой пластине.
20. Конечно-элементный расчет трехмерной упругой задачи.
21. Расчет ступенчатого вала на изгиб с кручением методом конечных элементов.
22. Моделирование с помощью программы конечно-элементного анализа осесимметричной контактной задачи.
23. Моделирование с помощью программы конечно-элементного анализа контакта двух сферических поверхностей.
24. Проектирование и конечно-элементный анализ оболочечной конструкции.
25. Конечно-элементный анализ пластического деформирования балки и определение остаточных напряжений.
26. Конечно-элементный модальный анализ конструкции.
27. Конечно-элементный гармонический анализ элемента конструкции.
28. Моделирование свободных и вынужденных колебаний пружинно-массовой системы.
29. Статический конечно-элементный анализ уголкового кронштейна.

- 30.Конечно-элементный расчет толстостенного цилиндра под внутренним давлением.
- 31.Статически определимое растяжение (сжатие) консольного стержня.
- 32.Статически неопределимое растяжение (сжатие) стержня между двумя заделками.
- 33.Статически неопределимое растяжение (сжатие) фермы нагруженной внешней сосредоточенной силой.
- 34.Статически определимое кручение торсиона постоянной жесткости.
- 35.Статически определимое кручение торсиона с круглым профилем поперечного сечения.
- 36.Статически определимое кручение торсиона с прямоугольным и треугольным профилями поперечного сечения.
- 37.Статически определимое кручение торсиона с кольцевым профилем поперечного сечения.
- 38.Статически неопределимое кручение стержня между двумя заделками нагруженного сосредоточенными внешними крутящими моментами.
- 39.Статически неопределимое кручение стержня переменного поперечного сечения нагруженного внешними крутящими моментами.
- 40.Статически определимый плоский изгиб балки нагруженной распределенной силой и моментом.
- 41.Перемещение поперечных сечений балки нагруженной распределенной силой и моментом.
- 42.Косой изгиб, внецентренное растяжение (сжатие) прямоугольного поперечного сечения.
- 43.Косой изгиб, внецентренное растяжение (сжатие) двутаврового поперечного сечения.
- 44.Устойчивость сжатых стержней.
- 45.Расчет электростатического напряжения в пластинах.
- 46.Модальный расчет автоколебаний в мембране.
- 47.Расчет деформаций в датчике давления.

ОПИСАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ К ПРЕПОДАВАНИЮ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

При организации образовательного процесса используется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной решаемой задаче (проблеме), а также *методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Какие аналитические операции выполняются в рамках процесса разработки?
2. Как использовать средства CAD в процессе разработки?
3. Как использовать средства CAM в процессе производства?
4. Каково главное преимущество использования средств CAE в процессе разработки?
5. Объясните, почему независимо от сложности растрового изображения оно не мерцает на растровом устройстве.
- 6.
7. Характеристика мышечной системы человека.
8. Строение и характеристика нервной системы человека.
9. Механизм управления движениями со стороны нервной системы.
10. Биомеханическая характеристика тела человека.
11. Кинематические характеристики техники спортивных движений.
12. Методы описания положения тела спортсмена.
13. Динамические характеристики техники спортивных движений.
14. Биомеханические принципы обучения технике спортивных движений.
15. Общая характеристика физического моделирования.
16. Общая характеристика математического моделирования.
17. Общая характеристика компьютерного моделирования.
18. Требования к физической модели тела человека.
19. Матричное описание позы спортсмена.
20. Виды компьютерного моделирования.
21. Графические и анимационные компьютерные программы, применяемые для моделирования спортивных движений.
22. Возможности компьютерного моделирования движений спортсмена.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Многопараметрическое моделирование и анализ сложных технических систем и процессов	Теоретическая и прикладная механика	Нет	Вносить изменения в содержание программы не требуется (протокол № 13 от 16.06.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от ____ 20 ____ г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор

(степень, звание)

(подпись)

Г.И. Михасев

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

д.ф.-м.н., доцент

(степень, звание)

(подпись)

С.М. Босяков

(И.О.Фамилия)