

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ГГТУ им. П.О. Сухого

\_\_\_\_\_ А. А. Бойко

04.07.2019 г.

Регистрационный № УДмаг-64/уч.

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1 - 53 80 01 – «Автоматизация»

2019

Учебная программа составлена на основе:

образовательного стандарта высшего образования II ступени ОСВО 1–53 80 01 – 2019; учебных планов учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» специальности 1 - 53 80 01 – «Автоматизация», регистрационные №№ I 53-2-08/уч. от 03.04.19, I 53-2-16/уч от 03.04.19

#### СОСТАВИТЕЛЬ:

В.В. Брель доцент кафедры «Автоматизированный электропривод», кандидат технических наук, доцент учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Ю.А. Рудченко, доцент кафедры «Электроснабжение» учреждения образования «Гомельский государственный университет имени П.О. Сухого», к.т.н., доцент

В.А. Демидов, главный механик РУП «Белэнергострой» филиал СМУ «Гомельэнергострой».

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Автоматизированный электропривод» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 12 от 31.05.2019);

Научно-методическим советом факультета автоматизированных и информационных систем учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

(протокол № 10 от 3.06.2019);

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

(протокол № 6 от 26.06.19)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### *Вступление*

Учебная дисциплина «Конечно-элементные системы моделирования физических процессов» входит в цикл дисциплин учреждения высшего образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого учебного плана специальности высшего образования второй ступени (магистратуры) 1 - 53 80 01 – «Автоматизация».

### *Цель и задачи учебной дисциплины*

Целью данного курса является получение магистрантами знаний по основам конечно-элементных систем моделирования физических процессов.

Основной задачей изучения дисциплины является овладение теоретическими знаниями в области моделирования конечно-элементных систем, различных полевых задач при моделировании физических процессов на производстве и практическими навыками моделирование в современных программах конечно-элементного анализа (ANSYS, ELCUT, COSMOS, FlexPDE).

*Место учебной дисциплины в системе подготовки специалистов, связи с другими учебными дисциплинами*

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин как:

- моделирование в электроприводе;
- программируемые контроллеры и промышленные сети.

Знания и умения, полученные при изучении данной дисциплины, необходимы для освоения последующих специальных дисциплин и дисциплин специализации, связанных с проектированием, моделированием, расчетом систем электропривода.

*Требования к освоению учебной дисциплины и компетентности специалиста*

В результате изучения дисциплины «Конечно-элементные системы моделирования физических процессов» магистрант должен:

#### **знать:**

- теоретические основы методов конечно-элементных систем;
- способы построения и особенности различных современных пакетов конечно-элементного анализа, возможности их использования для моделирования физических процессов (ANSYS, ELCUT, COSMOS, FlexPDE);

- методы решения статических и динамических задач для различных полей (электромагнитное поле, упругое поведение конструкций, задачи о распределении температур, задачи гидромеханики и т.д.);

**уметь:**

- получать математические модели, описывающие поведение полей различных физических процессов;
- работать с промышленными и исследовательскими конечно-элементными комплексами и программами (ANSYS, ELCUT, COSMOS, FlexPDE);
- производить численный анализ статических и динамических задач;
- разрабатывать элементы программного обеспечения для реализации этапов конечно-элементного анализа на основе специальных алгоритмов.

**владеть:**

- исследовательскими умениями и навыками;
- инновационными методами, технологиями и инструментальными средствами проектирования программных продуктов;

Изучение и освоение дисциплины «Конечно-элементные системы моделирования физических процессов» должно обеспечить формирование у будущего специалиста необходимых академических и профессиональных компетенций, таких как:

- умение применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владение системным и сравнительным анализом, исследовательскими навыками;
- умение работать самостоятельно и порождать новые идеи (обладать креативностью);
- владение междисциплинарным подходом при решении проблем;
- владение навыками работы с компьютером и другими техническими устройствами;
- умение учиться и повышать свою квалификацию в течение всей жизни;
- умение определять энергетические и технико-экономические показатели проектных решений;
- способность разрабатывать направления повышения экономической эффективности промышленных установок и электрооборудования.

*Общее количество часов и количество аудиторных часов*

Для специальности высшего образования второй ступени (магистратуры) 1 - 53 80 01 – «Автоматизация» всего часов 100, аудиторных занятий по дневной формы обучения - 52 часов, по заочной форме обучения – 16 часов, трудоёмкость дисциплины 3 зачетных единиц.

Форма получения высшего образования: дневная и заочная.

Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам

Форма обучения	Дневная	Заочная
Курс	1	1
Семестр	1	1
Лекции (часов)	18	6
Практические (семинарские) занятия (часов)	-	-
Лабораторные занятия (часов)	34	10
Всего аудиторных (часов)	52	16
Формы текущей аттестации по учебной дисциплине		
Экзамен	-	-
Зачет	1 семестр	1 семестр
Тест	-	-

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Основы компьютерного моделирования физических процессов.

Построение математической модели на микро и макроуровнях. Основные понятия математического моделирования физических процессов. Виды математических моделей и возможные методы их анализа.

Тема 2. Методы исследования математических моделей

Понятие граничной задачи. Уравнение Лапласа. Уравнение Пуассона. Задача Дирихле. Задача Неймана. Смешанные краевые задачи. Методы численного решения дифференциальных уравнений, используемых в математических моделях: метод конечных разностей, метод граничных элементов и др.

Тема 3. Метод конечных элементов.

Реализация метода конечных элементов на ПЭВМ. Алгоритм применения метода конечных элементов. Общая процедура нахождения локальной матрицы жёсткости. Методы решения основного уравнения метода конечных элементов. Современные алгоритмы построения конечно-элементной сетки.

Тема 4. Плоская задача теории упругости.

Решение плоской задачи теории упругости в матричной форме для треугольных элементов. Решение задачи изгиба пластин с использованием прямоугольных конечных элементов.

Тема 5. Общая характеристика конечно-элементных систем моделирования физических процессов и основные этапы решения задач.

Графический интерфейс конечно-элементного программного комплекса. Работа с файлами моделей. Компоненты моделей. Графический интерфейс комплекса. Команды отображения и редактирования объектов модели. Задание физических свойств материалов объектов модели. Конечно-элементное разбиение модели. Решение задачи. Настройка вывода результатов.

Тема 6. Задание свойств элементов. Ограничения и нагрузки в модели. Моделирование электромагнитных полей

Задание физических свойств материалов объектов модели. Задание свойств элементов. Виды ограничений и нагрузок. Задание физических свойств материалов объектов модели. Моделирование электромагнитных полей. Связь программ конечно-элементного анализа (ANSYS, ELCUT, COSMOS, FlexPDE) с пакетом прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLAB и Simulink. Применение полученных результатов конечно-элементного моделирования для программирования контроллеров.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»  
(Дневная форма получения образования)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР*	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>Основы компьютерного моделирования физических процессов.</i> Построение математической модели на микро и макроуровнях. Основные понятия математического моделирования физических процессов. Виды математических моделей и возможные методы их анализа.	2			4			Опрос
2	<i>Методы исследования математических моделей</i> Понятие граничной задачи. Уравнение Лапласа. Уравнение Пуассона. Задача Дирихле. Задача Неймана. Смешанные краевые задачи. Методы численного решения дифференциальных уравнений, используемых в математических моделях: метод конечных разностей, метод граничных элементов и др.	2			4			Защита л.р.
3	<i>Метод конечных элементов.</i> Реализация метода конечных элементов на ПЭВМ. Алгоритм применения метода конечных элементов. Общая процедура нахождения локальной матрицы жёсткости. Методы решения основного уравнения метода конечных элементов. Современные алгоритмы построения конечно-элементной сетки.	4			8			Защита л.р.
4	<i>Плоская задача теории упругости.</i> Решение плоской задачи теории упругости в матричной форме для треугольных элементов. Решение задачи изгиба пластин с использованием прямо-угольных конечных элементов.	4			8			Защита л.р.

5	<p><i>Общая характеристика конечно-элементных систем моделирования физических процессов и основные этапы решения задач.</i></p> <p>Графический интерфейс конечно-элементного программного комплекса. Работа с файлами моделей. Компоненты моделей. Графический интерфейс комплекса. Команды отображения и редактирования объектов модели. Задание физических свойств материалов объектов модели. Конечно-элементное разбиение модели. Решение задачи. Настройка вывода результатов.</p>	2			4			Защита л.р.
6	<p><i>Задание свойств элементов. Ограничения и нагрузки в модели. Моделирование электромагнитных полей</i></p> <p>Задание физических свойств материалов объектов модели. Задание свойств элементов. Виды ограничений и нагрузок. Задание физических свойств материалов объектов модели. Моделирование электромагнитных полей. Связь программ конечно-элементного анализа (ANSYS, ELCUT, COSMOS, FlexPDE) с пакетом прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLAB и Simulink. Применение полученных результатов конечно-элементного моделирования для программирования контроллеров.</p>	2			2			Защита л.р.. зачет
	Всего за учебный год	18			34			



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
 «КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ  
 МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»  
 (Заочная форма получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР*	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>Основы компьютерного моделирования физических процессов.</i> Построение математической модели на микро и макроуровнях. Основные понятия математического моделирования физических процессов. Виды математических моделей и возможные методы их анализа.	1						Опрос
2	<i>Методы исследования математических моделей</i> Понятие граничной задачи. Уравнение Лапласа. Уравнение Пуассона. Задача Дирихле. Задача Неймана. Смешанные краевые задачи. Методы численного решения дифференциальных уравнений, используемых в математических моделях: метод конечных разностей, метод граничных элементов и др.	1			2			Защита л.р.
3	<i>Метод конечных элементов.</i> Реализация метода конечных элементов на ПЭВМ. Алгоритм применения метода конечных элементов. Общая процедура нахождения локальной матрицы жёсткости. Методы решения основного уравнения метода конечных элементов. Современные алгоритмы построения конечно-элементной сетки.	1			2			Защита л.р.
4	<i>Плоская задача теории упругости.</i> Решение плоской задачи теории упругости в матричной форме для треугольных элементов. Решение задачи изгиба пластин с использованием прямоугольных конечных элементов.	1			2			Защита л.р.

5	<p><i>Общая характеристика конечно-элементных систем моделирования физических процессов и основные этапы решения задач.</i></p> <p>Графический интерфейс конечно-элементного программного комплекса. Работа с файлами моделей. Компоненты моделей. Графический интерфейс комплекса. Команды отображения и редактирования объектов модели. Задание физических свойств материалов объектов модели. Конечно-элементное разбиение модели. Решение задачи. Настройка вывода результатов.</p>	1			2			Защита л.р.
6	<p><i>Задание свойств элементов. Ограничения и нагрузки в модели. Моделирование электромагнитных полей</i></p> <p>Задание физических свойств материалов объектов модели. Задание свойств элементов. Виды ограничений и нагрузок. Задание физических свойств материалов объектов модели. Моделирование электромагнитных полей. Связь программ конечно-элементного анализа (ANSYS, ELCUT, COSMOS, FlexPDE) с пакетом прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLAB и Simulink. Применение полученных результатов конечно-элементного моделирования для программирования контроллеров.</p>	1			2			Защита л.р.. зачет
	Всего за учебный год	6			10			

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. МЛ: Едиториал УРСС, 2004. - 272с.
2. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М.: КомпьютерПресс, 2009. - 247 с.

### Дополнительная литература

3. ELCUT. Комплекс программ моделирования двумерных физических полей с помощью метода конечных элементов. Версия 3.4. Руководство пользователя. СПб.: НПКК "ТОР", 1995. – 212 с.
4. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. - Мн.: ДизайнПРО, 1997. - 640 с.
5. Даутов Р.З., Карчевский М.М. Введение в теорию метода конечных элементов. - Казань: Казанский университет. 2012. – 240с.
6. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. МЛ: Мир, 1986. -318 с
7. У. Крауч С, Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твёрдого тела. М.: Мир, 1987. - 328 с.
8. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979.-392 с.
9. Шайдуров В.В. Многосеточные методы конечных элементов. М.: Наука, 1989. - 288 с.
10. Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л Метод конечных элементов и САПР. М.: Мир, 1989. - 190 с.
11. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. Пособие. JVL: Машиностроение-1, 2004. - 512 с.

### Учебно-методические комплексы.

12. Курочка К.С. Компьютерные системы конечноэлементных расчетов: электронный учебно-методический комплекс дисциплины / К.С. Курочка, А.А. Кухаренко; кафедра «Информационные технологии». -Гомель: ГГТУ им, П.О. Сухого, 2013. - Режим доступа <https://elib.gstu.by>.

Перечень компьютерных программ и других пособий, методических указаний, материалов и технических средств обучения.

13. Elcut 6.3
14. ANSYS Workbench v. 14.
15. SolidWorks v. 14.

## Примерный перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Моделирование в ELCUT электростатического поля расчет емкости двухпроводной линии в заземленном экране

Лабораторная работа № 2. Моделирование в ELCUT постоянного магнитного поля и расчет индуктивности кругового контура с сердечником

Лабораторная работа № 3. Моделирование в FlexPDE переменного электрического поля трехфазной линии электропередачи

Лабораторная работа № 4. Анализ точности численного расчета постоянного магнитного поля двухпроводной линии

Лабораторная работа № 5. Технология расчета электростатического поля силового электромагнита

Лабораторная работа № 6. Технология расчета стационарного электромагнитного поля двигателя постоянного тока методом конечных элементов

Лабораторная работа № 7. Моделирование нелинейных электрических цепей при помощи Simulink

## Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

– элементы проблемного обучения (проблемное изложение), реализуемое на лекционных занятиях;

– внедрение элементов научных исследований и патентного поиска при проектировании конкретного объекта, при выполнении практических заданий, а также при самостоятельной работе.

## Характеристика рекомендуемых методов и технологий обучения

Теоретические лекционные занятия чередуются с лабораторными занятиями, а также с управляемой самостоятельной работой. Учебно-методическое обеспечение ориентировано на освоение магистрантами основ конечно-элементных систем моделирования физических процессов, умение работать с научной и технической литературой.

## Организация самостоятельной работы магистрантов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

– контролируемая самостоятельная работа в виде опроса и зачета во время проведения практических занятий под контролем преподавателя, в соответствии с расписанием;

- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями у преподавателя.

### Диагностика компетенций магистранта

Оценка уровня знаний магистрантов производится по десятибалльной шкале. Для оценки достижений магистранта рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам курса с использованием модульно-рейтинговой системы;
- выступление магистранта на конференциях;
- сдача экзамена по дисциплине.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Моделирование в электроприводе	АЭП	Нет	Программу утвердить. Протокол № <u>13</u> от <u>26</u> июня 2019г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.В. Тодарев