

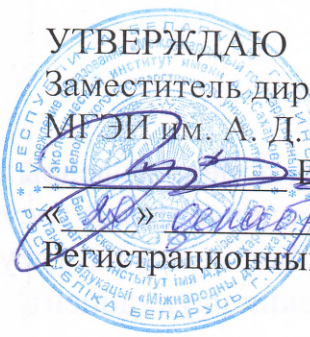
Мат. 2

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ

 В. В. Журавков

«20» сентября 2023 г.

Регистрационный № УД- 1417-23 /уч.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ФИЗИКЕ И ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

7-06-0533-02 Прикладная физика

Профилизация Медицинская физика

2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 7-06-0533-02-2023 от 28.07.2023 и учебного плана № 168-23/уч.маг.веч. от 07.04.2023 специальности 7-06-0533-02 Прикладная физика профилизация Медицинская физика

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.В. Полегенький, доцент кафедры общей и медицинской физики учреждения образования "Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова" Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

М. Н. Петкевич, заведующий отдела по инженерному обеспечению лучевой терапии учреждения здравоохранения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н. Н. Александрова»;

С. Е. Головатый, заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой общей и медицинской физики учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 4 от 29 ноября 2023 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 4 от 20 декабря 2023 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины «Вычислительные методы в физике и физическом эксперименте» разработана в соответствии с учебным планом и требованиями образовательного стандарта по уровню углубленного высшего образования специальности 7-06-0533-02 Прикладная физика профилизация Медицинская физика.

Цель учебной дисциплины – изучение базовых вычислительных методов и подходов, используемых при решении физических задач, моделировании физических систем и процессов и при проведении физического эксперимента.

Задачи учебной дисциплины:

- дать знания по вычислительным методам, позволяющие осознанно использовать их при исследовании детерминированных моделей физических объектов;
- формирование навыков построения и исследования эмпирико-статистических моделей различных физических систем и явлений;
- получение знаний о методах статистической обработки экспериментальных данных и построения регрессионных моделей;
- получить теоретические навыки математического планирования натурального и вычислительного экспериментов;
- освоить принципы и методы имитационного моделирования;
- ознакомиться с программным обеспечением, реализующим различные вычислительные методы.

Место учебной дисциплины в системе подготовки магистра.

Учебная дисциплина относится к циклу государственный компонент, модуль "Математические методы в физике", и тесно связана с другой дисциплиной этого модуля: "Методы математического моделирования физических процессов".

Учебная программа дисциплины "Вычислительные методы в физике и физическом эксперименте" составлена с учетом межпредметных связей и учебных программ по дисциплинам курсов общей физики, курса высшей математики, дисциплин "Методы математической физики", "Численные методы и математическое моделирование", "Информационные технологии и программирование".

Знания и навыки, приобретенные в ходе изучения дисциплины, будут необходимы при написании дипломной работы (магистерской диссертации), при изучении ряда дисциплин второй ступени, при последующей трудовой деятельности.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины "Вычислительные методы в физике и физическом эксперименте" должно обеспечить формирование следующих универсальных и углубленных профессиональных специализированных компетенций.

Универсальные компетенции.

УК-2. Решать научно-исследовательские и инновационные задачи на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

Углубленные профессиональные компетенции.

УПК-5. Применять в профессиональной деятельности методы вычислительного эксперимента, квалифицированно проводить численные расчеты в рамках моделей физических объектов и процессов

В результате изучения дисциплины студент должен
знать:

- математический аппарат, используемый в вычислительном и физическом эксперименте;
- принципы и методы имитационного моделирования;
- математический аппарат, используемый при планировании эксперимента;

уметь:

- правильно выбрать необходимый математический аппарат для решения поставленных физических проблем;
- проводить математическую обработку результатов численного и натурного экспериментов;
- выполнять построение имитационных и регрессионных моделей физических процессов и обрабатывать полученные результаты;

владеть:

- математическими методами планирования эксперимента;
- программным обеспечением для реализации численных методов и обработки результатов эксперимента.
- базовыми методами решения и анализа задач в соответствии с целями образовательной программы.

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины рассчитано на общее количество часов – 108. Аудиторное количество часов – 24, из них: лекции – 14 часов, лабораторные занятия – 10 часов.

Форма получения высшего образования – очная (вечерняя).

Форма текущей аттестации – экзамен во 2-м семестре.

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Численные методы и их роль в математическом моделировании физических систем и процессов

Основные принципы математического моделирования физических систем и процессов. Дискретные и непрерывные модели. Детерминированные, вероятностные, агрегатные модели.

Численные методы и их роль в математическом моделировании. Численный (вычислительный) этап математического моделирования и порядок его проведения. Аналитические и вычислительные методы проведения численного этапа моделирования. Структура погрешности численных методов. Компьютерная модель и вычислительный эксперимент. Этапы проведения вычислительного эксперимента. Роль численных методов в обработке, анализе и интерпретации экспериментальных данных. Программное обеспечение (ПО) для реализации численных методов: системы программирования, специальное математическое ПО, ПО общего назначения (электронные таблицы и т.п.).

Тема 2. Основные числительные методы, используемые в детерминированных моделях

2.1. Решение уравнений и систем уравнений

Методы решения нелинейных уравнений. Постановка задачи. Графический и аналитический методы отделения корней. Методы уточнения корней (метод половинного деления, метод хорд, метод Ньютона, метод простых итераций).

Методы решения систем уравнений. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Точные и приближенные методы. Алгоритм метода Гаусса. Метод простой итерации. Нелинейные системы уравнений и методы их решений (метод простой итерации, метод Зейделя, метод Ньютона).

2.2. Интерполирование и аппроксимация функций

Интерполирование. Интерполяционные многочлены. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Кусочно-линейная и кусочно-квадратичная интерполяция. Интерполяционный многочлен Ньютона. Численное дифференцирование. Интерполирование сплайнами. Численное дифференцирование.

Аппроксимация функций. Аппроксимация функций многочленами. Метод наименьших квадратов. Линеаризация функций.

2.3. Численное интегрирование

Постановка задачи. Интерполяционные квадратурные формулы. Квадратурные формулы Ньютона - Котеса. Погрешности квадратурных формул, правило Рунге оценки погрешностей интегрирования. Формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона.

2.4. Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)

Постановка задачи. Аналитические и численные приближенные методы решения ОДУ. Методы Эйлера и Эйлера-Коши. Схемы Рунге-Кутты. Метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

2.5. Краевые задачи для ОДУ

Математическая формулировка краевых задач для ОДУ. Классификация приближенных методов решения. Метод конечных разностей (МКР). Построение разностной схемы для ОДУ второго порядка. Метод прогонки решения СЛАУ с ленточной матрицей. Устойчивость и сходимость разностных схем.

2.6. Разностные методы решения задач математической физики

Классификация уравнений математической физики. Граничные условия.

Общие принципы постановки сеточной задачи – конечные разности, невязка разностной схемы. Сходимость и порядок точности разностной схемы. Явная и неявная схемы.

Решение уравнений параболического типа. Явная и неявная двухслойные разностные схемы. Устойчивость неявной схемы. Смешанная задача для уравнения теплопроводности. Постановка задачи. Алгоритм метода и построение сетки. Явная и неявная двухслойные схемы, явная трехслойная схема. Аппроксимация, устойчивость и сходимость разностных схем.

Уравнение гиперболического типа. Смешанная задача для волнового уравнения. Постановка задачи. Явные схемы. Алгоритм метода и построение сетки.

Решение уравнений эллиптического типа. Методы численного интегрирования уравнений Лапласа и Пуассона. Метод релаксации.

2.7. Метод Монте-Карло

Общая схема метода Монте-Карло. Вычисление интегралов методом Монте-Карло. Решение уравнений эллиптического типа (задача Дирихле). Решение уравнений параболического типа на примере уравнения теплопроводности. Недостатки и достоинства метода Монте-Карло.

Тема 3. Численные методы в эмпирико-статистических моделях.

Методы статистической обработки экспериментальных данных

3.1. Математическая обработка опытных данных в случае нормального распределения

Нормальное распределение. Точные оценки параметров распределения. Интервальные оценки. Доверительная вероятность. Квантили распределения. Доверительные интервалы для оценок параметров и СКО.

3.2. Методы исследования экспериментальных зависимостей. Корреляционный и регрессионный анализ

Постановка задачи. Установление связей между случайными величинами. Основы корреляционного анализа. Анализ данных методами дисперсионного анализа.

Регрессия. Использование регрессионного анализа при статистическом моделировании. Регрессионные модели.

Динамические регрессионные модели. Общий случай динамической регрессионной модели в виде дифференциального уравнения.

Статические регрессионные модели. Линейная регрессия. Определение вида и оценка ее адекватности. Криволинейная регрессия. Аппроксимация многочленами и метода наименьших квадратов. Квадратичная регрессионная модель. Трансцендентная регрессия. Множественная регрессия. Математическая модель линейной множественной регрессии. Метод Брандона.

3.3. Построение экспериментально-статистических моделей методами планирования эксперимента

Особенности экспериментальных факторных моделей. Основные принципы планирования эксперимента. Положения о многофакторности и о рандомизации. Функция отклика. Планы экспериментов и их свойства.

План однофакторного эксперимента. План полного факторного эксперимента. План дробного факторного эксперимента.

Статистический анализ результатов активного эксперимента. Определение коэффициентов регрессионной модели и проверка их значимости. Проверка адекватности и работоспособности регрессионной модели.

Планы второго порядка. Регрессионный анализ результатов вычислительного эксперимента на детерминированной математической модели.

Получение математической модели на основе пассивного эксперимента

Тема 4. Принципы и методы имитационного моделирования

Имитационное моделирование и условия его применения. Способы имитации. Событийный способ имитации. Этапы имитационного моделирования.

4.1. Основные понятия теории вероятностей

Случайные события. Вероятность события. Основные теоремы. Условные вероятности. Случайные величины (СВ). Распределения дискретных и непрерывных СВ. Числовые характеристики СВ. Основные виды распределений.

4.2. Моделирование случайных величин

Принципы моделирования СВ. Методы имитации базовых СВ (БСВ). Датчики БСВ и их программная реализация. Последовательности псевдослучайных чисел.

Моделирование дискретных СВ. Алгоритм моделирования дискретной СВ. Моделирование полной группы случайных событий. Моделирование однородной цепи Маркова. Моделирование процесса случайного блуждания.

4.3. Моделирование случайных процессов

Основные свойства случайных процессов (СП). Моделирование реализаций (СП). Оценки вероятностных характеристик реализаций СП и определение их статистических оценок. Частотный метод анализа стационарных случайных процессов. Оценки числовых характеристик случайных величин.

4.4. Планирование имитационных экспериментов

Построение оптимальных планов эксперимента. Факторные планы. Планы экстремального эксперимента.

Организация и планирование имитационных экспериментов. Дополняющая выборка. Общие потоки псевдослучайных чисел. Использование априорной информации. Задание начальных условий и правил остановки эксперимента.

4.5. Статистический анализ результатов моделирования

Оценивание вероятностных распределений и их числовых характеристик и адекватности модели. Выявление эффектов воздействия дисперсионными и непараметрическими методами. Статистическое исследование зависимостей методами корреляционного и/или регрессионного анализа.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Формы контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа	Иное	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Численные методы и их роль в математическом моделировании физических систем и процессов	1		2			Опрос Отчет по ЛР*)
2	Основные числительные методы, используемые в детерминированных моделях	5		4			
2.1	Решение уравнений и систем уравнений	0,5					Опрос
2.2	Интерполирование и аппроксимация функций	0,5		1			Опрос Отчет по ЛР
2.3	Численное интегрирование	1		1			Опрос Отчет по ЛР
2.4	Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)	0,5					Опрос
2.5	Краевые задачи для ОДУ	1		0			Опрос
2.6	Разностные методы решения задач математической физики	1		1			Опрос Отчет по ЛР
2.7.	Метод Монте-Карло	0,5		1			Опрос Отчет по ЛР

3	Численные методы в эмпирико-статистических моделях. Методы статистической обработки экспериментальных данных	3		2			
3.1.	Математическая обработка опытных данных в случае нормального распределения	1		1			Опрос Отчет по ЛР
3.2.	Методы исследования экспериментальных зависимостей. Корреляционный и регрессионный анализ	1		1			Опрос Отчет по ЛР
3.3.	Построение экспериментально-статистических моделей методами планирования эксперимента	1		0			Опрос
4	Принципы и методы имитационного моделирования	5		2			
4.1.	Основные понятия теории вероятностей	1		0			Опрос
4.2.	Моделирование случайных величин	1		1			Опрос Отчет по ЛР
4.3.	Моделирование случайных процессов	1		1			Опрос Отчет по ЛР
4.4.	Планирование имитационных экспериментов	1		0			Опрос
4.5.	Статистический анализ результатов моделирования	1		0			Опрос
ВСЕГО		14		10			

*) ЛР – лабораторные работы.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Плотников, А. Д. Численные методы : учеб. пособие / А. Д. Плотников. – Минск : Новое знание, 2007. – 174 с.
2. Апанасевич, Е. Е. Практикум по численным методам : учеб.-метод. пособие / Е. Е. Апанасевич. – Минск : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2008. – 55 с.
3. Кундас, С. П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография / С. П. Кундас. – Минск : Бестпринт, 2005. – 313 с.
4. Полянин, А. Д. Линейные уравнения математической физики : справочник / А. Д. Полянин. – М. : Изд-я фирма : Физико-математическая литература, 2001. – 576 с.
5. Русак, В. Н. Математическая физика : учебное пособие / В. Н. Русак. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 207 с.

Дополнительная

6. Бахвалов, Н. С. Численные методы в задачах и упражнениях : учебное пособие / Н. С. Бахвалов, А. В. Лапин, Е. В. Чижонков. – М. : Высш. шк., 2000. – 190 с.
7. Киреев, В. И. Численные методы в примерах и задачах : учебное пособие. 3-е изд. стер. / В. И. Киреев, А. В. Пантелеев. – М. : Высш. шк., 2008. – 480 с.
8. Кузнецов, Г. В. Разностные методы решения задачи теплопроводности / Г. В. Кузнецов, М. А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
9. Крайнов А. Ю. Численные методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений : учеб. пособие / А. Ю. Крайнов, К. М. Моисеева. – Томск : STT, 2016. – 44 с.
10. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: учебный курс / Ю. Лазарев. – СПб. : Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. — 512 с.
11. Алексеев, Е. Р. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, Matlab 7, Maple 9 / Е. Р. Алексеев, О.В. Чеснокова. – М. : НТ Пресс, 2006. – 496 с.
12. Турчак, Л. И. Основы численных методов : учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. – М. : Физматлит, 2003. – 304 с.
13. Коткин, Г. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB : учебное пособие / Г. Коткин, Л. Попов, В. Черкасский. – Из-во : Юрайт, 2019. – 202с.
14. Мэтьюз, Д. Г. Численные методы. Использование MATLAB / Д. Г. Мэтьюз, К. Д. Финк. – Москва : Вильямс, 2001. – 720 с.

Примерная тематика лабораторных занятий

Предполагается, что лабораторные занятия и, желательно, проводятся в компьютерном классе. При этом конкретная тематика этих занятий отражена в учебно-методической карте дисциплины. Единственное уточнение: лабораторные занятия по теме 1 "Численные методы и их роль в математическом моделировании физических систем и процессов" связаны с ознакомлением с выбранными преподавателем программных средств реализации вычислительных методов и моделей, рассматриваемых данной учебной программой.

Инновационные подходы и методы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур и способов оценивания, фиксирующих уровень формирования у магистрантов профессиональных компетенций.

Качество самостоятельной работы студентов целесообразно проверять в ходе текущего промежуточного и итогового контроля в форме устного опроса, выполнения домашних занятий, непосредственно связанных с лабораторными работами по соответствующей тематике, контрольных работ (тестов) по темам и разделам дисциплины (модулям).

Перечень рекомендуемых средств диагностики

С целью диагностики знаний, умений и навыков обучающихся по данной дисциплине рекомендуется использовать:

- 1) контрольные работы;
- 2) самостоятельные работы;
- 3) коллоквиумы по пройденному теоретическому материалу;
- 4) устный опрос в ходе практических занятий;
- 5) проверку конспектов лекций студентов;
- 6) тестирование, включая компьютерное.

Протокол согласования учебной программы

Название 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)
Согласование не требуется			