

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям
О.Н. Здрок
2020 г.



Регистрационный № УД- 8899 /уч.

**ЛАБОРАТОРНЫЙ СПЕЦПРАКТИКУМ
«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ»**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:
1-31 04 08 Компьютерная физика**

2020

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 08-2018, учебных планов №G31-220/уч. от 13.07.2018, №G31и-231/уч. от 20.03.2019.

СОСТАВИТЕЛЬ:

И.В.Шапочкина – доцент кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

С.И. Максимов – заведующий кафедрой информационных технологий в образовании Государственного учреждения образования «Республиканский институт высшей школы», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 16 от 25 мая 2020 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 12 от 25 июня 2020 г.);

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент



О.Г. Романов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Лабораторный спецпрактикум «Численные методы» разработана для специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика первой ступени получения высшего образования.

«Лабораторный спецпрактикум «Численные методы» предполагает знание студентами основ программирования и математического моделирования, охватывает основные вопросы применения численных методов при решении физических задач, использование вычислительной техники для обработки результатов физических измерений и проведения вычислительных экспериментов для исследования поведения физических систем.

Целью учебной дисциплины «Лабораторный спецпрактикум Численные методы» является развитие компетенций студентов в овладении основными методами компьютерного моделирования, вычислительной математики и обработки результатов физических экспериментов, а также навыков использования методов современного вычислительного эксперимента для исследования физических систем и явлений.

Задачи учебной дисциплины: формирование целостного представления студентов об общих принципах численного моделирования и идеологии применения конкретных семейств численных методов; формирования навыков использования вычислительной техники и математических методов обработки данных при проведении физических исследований (экспериментальных и теоретических); развитие умений исследовать свойства математических моделей и алгоритмов, выбрать/создать математическую/численную модель, учитывающую специфику изучаемого физического процесса, а также умений видеть источники ошибок в численных моделях и понимать механизмы влияния на них, предвидеть исключительные ситуации и нетривиальное поведение численных моделей.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу дисциплин** специализации компонента учреждения высшего образования и входит в модуль «Вычислительная физика-1».

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Программа согласована с другими дисциплинами специальности, является неотъемлемой частью общего плана специализации «Компьютерное моделирование физических процессов» и развивает дисциплины «Численные методы», «Основы математического моделирования», «Автоматизация эксперимента».

Дисциплина закладывает основные знания и умения, которыми должны владеть студенты для проведения вычислительного эксперимента в различных областях физики, анализа качества и интерпретации данных физических и модельных экспериментов.

Требования к компетенциям

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

СК-3. Быть способным проводить вычислительный эксперимент при решении физических задач, владеть численными методами и уметь применять на практике алгоритмы численного решения задач математической физики; продемонстрировать способность работать с системами управления базами данных.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные принципы проведения вычислительного эксперимента, оценки качества математических и вычислительных моделей;
- общую философию, характеристики, этапы, ограничения и сложности численного решения математических задач различных классов;
- принципы выбора конкретного численного метода решения математической модели, исходя из ее размерности, структуры, свойств;
- теоретические основы численных методов решения задач линейной алгебры, анализа дискретных данных, начальных и граничных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений математической физики и интегральных уравнений;

уметь:

- разрабатывать численные модели для исследования физических явлений;
- реализовывать численные методы средствами языков программирования и инструментария современных систем компьютерной математики;
- оценивать качество выбранного/построенного численного метода решения;

владеть:

- навыками построения численных схем для решения уравнений математической физики, дифференциальных и интегральных уравнений, систем алгебраических уравнений и вычисления интегралов;
- приемами обработки данных физических экспериментов;
- навыками аналитического и численного исследования математических моделей разных типов, в том числе составления алгоритмов, их программирования и отладки на тестовых результатах;
- навыками выбора численной модели с учетом особенностей, типа, класса исследуемых физических и математических моделей, оценивания свойств математических моделей и их решений на основе иерархии характерных параметров физической системы, асимптотического поведения.

Структура учебной дисциплины

С целью выработки навыков проведения вычислительного физического эксперимента, корректного анализа и надежной интерпретации его данных, освоения содержания дисциплины «Лабораторный спецпрактикум «Численные методы» проводится в виде лабораторного практикума.

Дисциплина изучается в 5 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 54 аудиторных часов, из них: лабораторные занятия – 54 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Численные методы решения задач линейной алгебры.

Прямые и итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений: LU-факторизация, метод Томаса, прямая и циклическая прогонка, решение систем большой размерности, метод Зейделя, метод последовательной верхней релаксации. Решение задач на собственные значения.

Тема 2. Обработка экспериментальных данных.

Методы интерполяции и аппроксимации.

Тема 3. Интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений.

Метод Рунге-Кутты и его модификации. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Методы Адамса-Башфорта, Адамса-Моултона и предиктор-корректорные схемы. Методы решения жестких уравнений и систем. Методы решения граничных задач для ОДУ, метод пристрелки для граничной задачи систем ОДУ. Методы решения стохастических дифференциальных уравнений на примере задач диффузионной динамики.

Тема 4. Методы решения линейных задач математической физики.

Решение одномерного уравнения теплопроводности (диффузии): явная и неявная двухслойная схема, метод Ричардсона (перешагивания), схема Кранка-Николсон, метод Дюфорта-Франкела. Решение двумерного уравнения теплопроводности: явная схема, Дюфорта – Франкела, схема расщепления Письмена-Редфорда по пространственным переменным на два одномерных уравнения с неявной схемой на каждом полушаге. Решение одномерного уравнения переноса (конвекции): явная двухслойная схема, методы типа Лакса-Вендрофа (явная схема, схема Рихтмайера, схема МакКормака), противопотоковый метод первого порядка, противопотоковый метод второго порядка. Решение одномерного уравнения конвекции-диффузии: явная схема с разностями против потока, неявная схема. Решение уравнения Пуассона. Решение двумерного уравнения конвекции-диффузии: явный метод, метод Дюфорта - Франкела, метод «классики». Решение одномерного волнового уравнения: явная схема, неявная схема.

Тема 5. Методы решения интегральных уравнений.

Интегральные уравнения частного вида с мультипликативным и вырожденным ядром. Метод квадратурных сумм для решения интегрального уравнения Фредгольма и интегрального уравнения Вольтерра. Квадратурно-итерационный метод построения резольвент.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы, перечень изучаемых вопросов | Количество аудиторных часов | Форма контроля знаний |
|---------------------|---|-----------------------------|--|
| | | Лабораторные занятия | |
| 1 | Численные методы решения задач линейной алгебры | 8 | устный опрос, письменный отчет по лабораторным работам |
| 2 | Обработка экспериментальных данных | 4 | устный опрос, письменный отчет по лабораторным работам |
| 3 | Интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений.. | 12 | устный опрос, письменный отчет по лабораторным работам |
| 4 | Методы решения линейных задач математической физики. | 20 | устный опрос, письменный отчет по лабораторным работам |
| 5 | Методы решения интегральных уравнений. | 10 | устный опрос, письменный отчет по лабораторным работам |
| | Всего | 54 | зачет |

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Ильин В.П. Математическое моделирование. Часть 1. Непрерывные и дискретные модели / В. П. Ильин. - Новосибирск : Изд-во Сиб. Отделения РАН, 2017. - 428 с.
2. Hoffman, J. D. Numerical methods for engineers and scientists / J. D. Hoffman. - Marcel Dekker, Inc., NY, 2001. -823 p.
3. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов. - М.: Наука, 1989.
4. Вержбицкий, В.М. Основы численных методов / В. М. Вержбицкийю - М.: Высшая школа, 2002. - 840 с
5. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон - СПб.:Изд-во «Лань», 2006.
6. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. - М.: Мир, 1977. - 612 с.
7. Кошляков, Н.С. Уравнения в частных производных математической физики / Н. С. Кошляков., Э. Б. Глинер. М. М. Смирнов. - М.: Высшая школа, 1970. - 712 с.
8. Мигдал, А. Б. Качественные методы в квантовой теории / А. Б. Мигдал. – М.: Наука, 1975. – 335 с.
9. Кудряшов, Н. А. Методы нелинейной математической физики: Учебное пособие / Н. А. Кудряшов — М.: МИФИ, 2008. — 352 с.
10. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978. – 592 с.;
11. Князева А.Г. Различные варианты метода прогонки. Методические указания. Томск 2006 – 16 с.
12. Саульев В.К. Интегрирование уравнений параболического типа методом сеток. М.:Физматгиз, 1960.
13. Р.Рихтмайер, К.Мортон. Разностные методы решения краевых задач. М.:Мир, 1972.
14. Самарский А. А. Теория разностных схем: Учебное пособие. Москва, Наука, 1983.
15. Малютин, В.М. Компьютерное моделирование физических явлений: Учебное пособие / В.М. Малютин, ЕА. Складорова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 156 с. ISBN.
16. Кунин, С. Вычислительная физика / С. Кунин.–М.: «Мир», 1992. -518 с.

Перечень дополнительной литературы

1. С. К. Годунов, А. В. Забродин, М. Я. Иванов, А. Н. Крайко, Г. П. Прокопов. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.
2. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984.

3. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача. / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. М.: Едиториал УРСС, 2003. - 784с.
4. Каханер, Д. Численные методы и программирование / Каханер, К. Моулер, С. Нэш С. - М.: Мир, 1998.
5. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач: Учебное пособие. / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. - Москва, Наука, 1986. -
6. The Langevin equation with Applications in Physics, Chemistry and Electrical Engineering. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1996. 413 p.
7. Risken H. The Fokker-Plank Equation. Methods of Solution and Applications. Springer, Berlin, 1984. – 472 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устный опрос и отчет по лабораторным работам.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за все виды текущего контроля.

– Опрос – 20%;

– Письменные отчеты по лабораторным работам – 80%;

Формой текущей аттестации по дисциплине «Лабораторный спецпрактикум «Численные методы» учебным планом предусмотрен зачет.

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

Рекомендуемые темы для устного опроса

1. Методы решения СЛАУ с матрицей коэффициентов общего вида.
2. Методы решения СЛАУ с трехдиагональной матрицей коэффициентов.
3. Пути повышения эффективности (по времени и объему памяти) прямых методов решения СЛАУ (методов исключения).
4. Степенной метод оценки собственных значений.
5. Сравнительные характеристики численных методов решения уравнений параболического типа.
6. Сравнительные характеристики численных методов решения эллиптического типа.

7. Сравнительные характеристики численных методов решения гиперболического типа.
8. Как определить порядок и свойство согласованности разностных схем посредством модифицированного дифференциального уравнения?
9. Как определить условие устойчивости разностных схем для решения дифференциальных уравнений?
10. Численные методы решения ОДУ.
11. Проблема жесткости систем ОДУ: критерии жесткости, способы решения проблем
10. Приемы решения интегральных уравнений с мультипликативным ядром.
11. Приемы решения интегральных уравнений с вырожденным ядром.
12. Метод квадратурных сумм для решения интегрального уравнения Фредгольма.
13. Метод квадратурных сумм для решения интегрального уравнения Вольтерра.

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная работа 1.

LU-факторизация, методы прогонки.

Итерационные методы решения СЛАУ. Решение задач на собственные значения.

Лабораторная работа 2.

Методы интерполяции и аппроксимации.

Лабораторная работа 3.

Метод Рунге-Кутты и его модификации. Методы Адамса-Башфорта, Адамса-Моултона и предиктор-корректорные схемы.

Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Методы решения жестких уравнений и систем.

Методы решения граничных задач для ОДУ, метод пристрелки для граничной задачи систем ОДУ.

Методы решения стохастических дифференциальных уравнений на примере задач диффузионной динамики.

Лабораторная работа 4.

Решение одномерного уравнения теплопроводности (диффузии): явная и неявная двухслойная схема, метод Рунге-Кутты (перешагивания), схема Кранка-Николсона, метод Дюфорта-Франкела.

Решение двумерного уравнения теплопроводности: явная схема, Дюфорта – Франкела, схема расщепления Письмена-Редфорда по пространственным переменным на два одномерных уравнения с неявной схемой на каждом полушаге.

Решение одномерного уравнения переноса (конвекции): явная двухслойная схема, методы типа Лакса-Вендрофа (явная схема, схема Рунге-Кутты, схема МакКормака), противоточный метод первого порядка, противоточный метод второго порядка.

Решение одномерного и двумерного уравнения конвекции-диффузии.

Решение уравнения Пуассона. Решение одномерного волнового уравнения.

Лабораторная работа 5.

Интегральные уравнения частного вида с мультипликативным и вырожденным ядром.

Метод квадратурных сумм для решения интегрального уравнения Фредгольма и интегрального уравнения Вольтерра.

Квадратурно-итерационный метод построения резольвент.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;

метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по курсу является предоставление обучающимся необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности студентов по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения зачета.

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) |
|--|-------------------------------------|--|---|
| Автоматизация эксперимента | Кафедра компьютерного моделирования | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 16 от 25.05.2020) |
| Численные методы | Кафедра компьютерного моделирования | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 16 от 25.05.2020) |
| Основы математического моделирования | Кафедра компьютерного моделирования | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол №16 от 25.05.2020) |

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

на ____ / ____ учебный год

| №№ пп | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
| | | |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
физической информатики и атомно-молекулярной физики
(протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент

_____ О.Г. Романов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета БГУ
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов