

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.14.05 ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

Красноярск 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
доцент, к.ф.-м.н. С.В. Николаев

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

- сформировать у студентов представление, первичные знания по основам вычислительной математики как научной и прикладной дисциплины.
- обучить студентов основным численным методам решения классических задач математики;
- сформировать умения и навыки выбора эффективных алгоритмов расчета, анализа и интерпретации результатов вычислений;
- подготовить студентов к дальнейшему самообразованию и применению полученных знаний в научно-исследовательской деятельности при решении задач естествознания, с использованием математических методов и компьютерных технологий.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности, в частности:

- сформировать представление об основных вычислительных методах, применяемых при решении физических задач и при обработке данных эксперимента, способах их оптимальной реализации на компьютере, оценки погрешности результата проводимых расчетов;
- овладеть основами математического моделирования в среде Matlab;
- изучить основы вычислительной математики в контексте физической методологии, решения физических задач методами численного эксперимента;
- подготовиться к осознанному использованию компьютера и математических пакетов прикладных программ;
- освоить компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании реальных физических явлений и процессов.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения по дисциплине |
|---|---|
| ОПК-2 Способен применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений, процессов и систем в профессиональной деятельности; | |
| ОПК-2.1 Демонстрирует знания современных математических методов | знать теоретические основы вычислительной математики; уметь создавать математические модели типовых профессиональных задач; владеть способностью использовать в профессиональной деятельности математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей. |
| ОПК-2.2 Применяет методы современного математического аппарата при решении задач теоретического и прикладного характера | знать численные методы решения классических задач математики; уметь определять оптимальные численные методы решения поставленных задач; владеть численными методами решения задач математики. |
| ОПК-6 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения | |

| | |
|---|---|
| ОПК-6.1 Разрабатывает алгоритмы и компьютерные программы | <p>знать алгоритмы решения классических задач математики и принцип функционирования и использования комплекса MatLab;</p> <p>уметь программировать численные алгоритмы решения задач математики на языках программирования высокого уровня и в среде MatLab;</p> <p>владеть навыками программирования задач математики и вычислительными методами, применяемыми при решении физических задач и при обработке данных эксперимента.</p> |
| ОПК-6.2 Решает практические задачи с использованием компьютерных программ | <p>знать основы вычислительного эксперимента и численные методы решения стандартных задач математики;</p> <p>уметь определять оптимальные алгоритмы и численные методы для решения практических задач и решать физические задачи в среде MatLab;</p> <p>владеть численными методами решения практических задач математики и навыками применения пакета MatLab в профессиональной области.</p> |

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

| Вид учебной работы | Всего, зачетных единиц (акад.час) | Семестр |
|---|-----------------------------------|-------------|
| | | 4 |
| Общая трудоемкость дисциплины | 4 (144) | 4 (144) |
| Контактная работа с преподавателем: | 2,5 (90) | 2,5 (90) |
| занятия лекционного типа | 1 (36) | 1 (36) |
| практические занятия | 1 (36) | 1 (36) |
| лабораторные работы | 0,5 (18) | 0,5 (18) |
| Самостоятельная работа обучающихся | 0,5 (18) | 0,5 (18) |
| Вид промежуточной аттестации (Экзамен) | 36 | Экзамен, КР |

3 Содержание дисциплины (модуля)

| № п/п | Вид работ | Темы занятия | Объем часов | Семестр /курс | Часы в эл. формате |
|---|-----------|---|-------------|---------------|--------------------|
| Раздел 1. Точность вычислительного эксперимента | | | | | |
| 1. | Лек | Точность вычислительного эксперимента | 1 | 4 | |
| 2. | Пр | Основные требования техники безопасности при работе в компьютерном классе. Требования к студентам, структура курса. | 1 | 4 | |
| 3. | Лаб | Работа в пакете MatLab | 2 | 4 | |
| 4. | Ср | Выполнение индивидуального задания, курсовой работы, подготовка к лабораторным работам. | 1 | 4 | |
| Раздел 2. Численные методы линейной и нелинейной алгебры | | | | | |
| 1. | Лек | Прямые методы | 2 | 4 | |
| 2. | Лек | Итерационные методы | 2 | 4 | |
| 3. | Лек | Методы решения нелинейных уравнений | 2 | 4 | |
| 4. | Лек | Методы решения систем нелинейных уравнений | 2 | 4 | |
| 5. | Лек | Задачи на собственные значения | 2 | 4 | |
| 6. | Пр | Системы линейных алгебраических уравнений. Прямые методы: метод Гаусса (метод исключения Гаусса), метод Жордана-Гаусса. Вычисление определителя и обратной матрицы. Итерационные методы: метод простой итерации, метод Зейделя. | 5 | 4 | |
| 7. | Пр | Методы решения систем нелинейных уравнений: метод простых итераций, метод Зейделя, метод Ньютона. | 4 | 4 | |
| 8. | Пр | Задачи на собственные значения. Итерационный метод вращений Якоби, собственные значения для трёхдиагональной матрицы, определение наибольшего собственного значения и собственного вектора степенным методом, определение собственного значения и собственного вектора методом обратных итераций. | 4 | 4 | |
| 9. | Лаб | Решение задач линейной и нелинейной алгебры в пакете MatLab | 4 | 4 | |
| 10. | Ср | Выполнение индивидуального задания, курсовой работы, подготовка к лабораторным работам. | 6 | 4 | |
| Раздел 3. Аппроксимация функций | | | | | |
| 1. | Лек | Интерполирование | 2 | 4 | |
| 2. | Лек | Аппроксимация | 1 | 4 | |
| 3. | Лек | Сглаживание | 1 | 4 | |
| 4. | Пр | Аппроксимация функций. Интерполирование: многочлен Лагранжа, многочлен Ньютона. Линейная аппроксимация (метод наименьших квадратов). | 4 | 4 | |
| 5. | Лаб | Аппроксимация функций в пакете MatLab | 4 | 4 | |
| 6. | Ср | Выполнение индивидуального задания, курсовой работы, подготовка к лабораторным работам. | 4 | 4 | |
| Раздел 4. Численное интегрирование | | | | | |
| 1. | Лек | Полиномиальная аппроксимация | 2 | 4 | |
| 2. | Лек | Нестандартные формулы | 1 | 4 | |

| | | | | | |
|--|---------|--|----|---|--|
| 3. | Лек | Кратные интегралы | 1 | 4 | |
| 4. | Пр | Численное интегрирование: метод прямоугольников, метод трапеций, метод Симпсона, метод «3/8». Процедура Рунге оценки погрешности квадратурной формулы. Формулы Гаусса-Кристоффеля. | 4 | 4 | |
| 5. | Лаб | Численное интегрирование в пакете MatLab | 4 | 4 | |
| 6. | Ср | Выполнение индивидуального задания, курсовой работы, подготовка к лабораторным работам. | 2 | 4 | |
| Раздел 5. Методы оптимизации | | | | | |
| 1. | Лек | Одномерная оптимизация | 2 | 4 | |
| 2. | Лек | Многомерная оптимизация | 2 | 4 | |
| 3. | Лек | Задачи с ограничениями | 1 | 4 | |
| 4. | Пр | Одномерная оптимизация. Метод перебора, метод деления отрезка пополам, метод золотого сечения. | 4 | 4 | |
| 5. | Пр | Многомерная оптимизация. Метод градиентного спуска, метод наискорейшего спуска, метод сопряжённых направлений. | 4 | 4 | |
| 6. | Лаб | Методы оптимизации в пакете MatLab | 2 | 4 | |
| 7. | Ср | Выполнение индивидуального задания, курсовой работы, подготовка к лабораторным работам. | 3 | 4 | |
| Раздел 6. Обыкновенные дифференциальные уравнения | | | | | |
| 1. | Лек | Численное дифференцирование | 2 | 4 | |
| 2. | Лек | Задача Коши | 4 | 4 | |
| 3. | Лек | Краевая задача | 4 | 4 | |
| 4. | Лек | Задачи на собственные значения | 2 | 4 | |
| 5. | Пр | Обыкновенные дифференциальные уравнения. Задача Коши: одношаговые методы (методы Рунге-Кутты), многошаговые методы (метод прогноза-коррекции). Повышение точности результата. | 4 | 4 | |
| 6. | Пр | Обыкновенные дифференциальные уравнения. Краевая задача: метод стрельбы (баллистический метод), метод стрельбы для линейных краевых задач, метод конечных разностей (сеток). | 2 | 4 | |
| 7. | Лаб | Решение обыкновенных дифференциальных уравнений в пакете MatLab | 2 | 4 | |
| 8. | Ср | Выполнение индивидуального задания, курсовой работы, подготовка к лабораторным работам. | 2 | 4 | |
| Раздел 7. Курсовая работа | | | | | |
| 1. | КР | Курсовая работа | | 4 | |
| Раздел 8. Экзамен | | | | | |
| 1. | Экзамен | Экзамен | 36 | 4 | |

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Турчак Л. И., Плотников П. В. Основы численных методов: учебное пособие для студентов вузов. - Москва: Физматлит, 2003. - 300 с..
2. Самарский А. А. Введение в численные методы: учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2005. - 288 с..
3. Калиткин Н. Н., Самарский А. А. Численные методы: учеб. пособие для вузов. - Москва: Наука, 1978. - 512 с..
4. Крылов В. И., Бобков В. В., Монастырский П. И. Вычислительные методы: Т. 2: учеб. пособие. - Москва: Наука, 1977. - 399 с..
5. Крылов В. И., Бобков В. В., Монастырский П. И. Вычислительные методы: Т. 1: учеб. пособие. - Москва: Наука, 1976. - 304 с..
6. Калиткин Н.Н. Численные методы: Учебное пособие. - Санкт-Петербург: Издательство "БХВ-Петербург", 2015. - 587 с..
7. Плохотников К. Э. Вычислительные методы. Теория и практика в среде MATLAB [Электронный ресурс]:. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2013. - 496 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=63240 .
8. Формалев В. Ф., Ревизников Д. Л. Численные методы [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Москва: Физматлит, 2006. - 400 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48183 .
9. Шампайн Л. Ф., Гладвел И., Томпсон С. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB: учебное пособие. - Москва: Лань, 2009. - 299 с..
10. Дьяконов В. П., Круглов В. MATLAB Анализ, идентификация и моделирование систем [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Питер Ком, 2003. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u006/i-333186.pdf> .
11. Дьяконов В.П. MATLAB 7.* / R2006 / R2007: Самоучитель [Электронный ресурс]:. - Москва: ДМК Пресс, 2009. - 768 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1178 .
12. Поршнева С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB [Электронный ресурс]:. - Москва: Лань, 2011. - 736 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=650 .
13. Квасов Б. И. Численные методы анализа и линейной алгебры. Использование Matlab и Scilab [Электронный ресурс]:. - Москва: Лань", 2016. - – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71713 .
14. Смоленцев Н. К. MATLAB. Программирование на C++, C#, Java и VBA [Электронный ресурс]:. - Москва: ДМК Пресс, 2015. - – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=69956 .
15. Агафонов Е. Д. Компьютерное моделирование в пакете MATLAB/SIMULINK [Электронный ресурс]: метод. указ. к выполнению лаб. работ для студентов направления 230100.62 "Информатика и вычислит. техника". - Красноярск: ИПК СФУ, 2011. - 35 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u004/i-129629.pdf> .
16. Николаев С. В. Численные методы и математическое моделирование [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие для лаб. практикума и самостоят. работы [для студентов спец. 140301.65 «Физика конденсированного состояния вещества»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-308177.pdf> .
17. Тегай С. Ф. Вычислительная физика (практикум на ЭВМ) [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для практических занятий и самостоятельной работы [для студентов 1 курса спец. 010701.65 «Физика», 010708.65 «Биохимическая физика»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u004/i-781464.pdf> .

18. Царев Р. Ю., Пупков А. Н., Самарин В. В., Мыльникова Е. В. Информатика и программирование [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов. - Красноярск: СФУ, 2014. - 131 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u004/i-848279.pdf> .

19. Николаев С. В., Орлов Ю. С. Численные методы и математическое моделирование [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. - Красноярск: СФУ, 2019. - 49 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/b22/i-865173.pdf> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. MATLAB International Academic Edition. Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений.

2. Python. Высокоуровневый язык программирования общего назначения.

3. Microsoft Visual Studio. Среда разработки программного обеспечения.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Сайт Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>

2. Сайт Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>

3. Сайт Электронно-библиотечная система Znanium <https://znanium.ru/>

4. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>

5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

https://elibrary.ru/project_user_tools.asp?

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Компьютерный класс: Компьютеры, проектор

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике

Б1.О.14.05 Численные методы

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

Красноярск 2024

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

| Семестр ¹ | Код и содержание индикатора компетенции | Результаты обучения ² | Оценочные средства ³ |
|---|--|--|--|
| ОПК-2: Способен применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений, процессов и систем в профессиональной деятельности | | | |
| 4 | ОПК-2.1: Демонстрирует знания современных математических методов | знать теоретические основы вычислительной математики; уметь создавать математические модели типовых профессиональных задач; владеть способностью использовать в профессиональной деятельности математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей. | контрольные задания, индивидуальные задания, курсовая работа, контрольные вопросы к экзамену |
| 4 | ОПК-2.2: Применяет методы современного математического аппарата при решении задач теоретического и прикладного характера | знать численные методы решения классических задач математики; уметь определять оптимальные численные методы решения поставленных задач; владеть численными методами решения задач математики. | контрольные задания, индивидуальные задания, курсовая работа, контрольные вопросы к экзамену |

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

| ОПК-6: Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения | | | |
|--|--|--|--|
| 4 | ОПК-6.1: Разрабатывает алгоритмы и компьютерные программы | <p>знать алгоритмы решения классических задач математики и принцип функционирования и использования комплекса MatLab;</p> <p>уметь программировать численные алгоритмы решения задач математики на языках программирования высокого уровня и в среде MatLab;</p> <p>владеть навыками программирования задач математики и вычислительными методами, применяемыми при решении физических задач и при обработке данных эксперимента.</p> | контрольные задания, индивидуальные задания, курсовая работа, контрольные вопросы к экзамену |
| 4 | ОПК-6.2: Решает практические задачи с использованием компьютерных программ | <p>знать основы вычислительного эксперимента и численные методы решения стандартных задач математики;</p> <p>уметь определять оптимальные алгоритмы и численные методы для решения практических задач и решать физические задачи в среде MatLab;</p> <p>владеть численными методами решения практических задач математики и навыками применения пакета MatLab в профессиональной области.</p> | контрольные задания, индивидуальные задания, курсовая работа, контрольные вопросы к экзамену |

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Контрольные задания

Тема: Численные методы линейной и нелинейной алгебры

Задание 1.1

Решить СЛАУ по схеме Гаусса с выбором главного элемента:

$$\begin{cases} 4.4x_0 - 2.5x_1 + 19.2x_2 - 10.8x_3 = 4.3, \\ 5.5x_0 - 9.3x_1 - 14.2x_2 + 13.2x_3 = 6.8, \\ 7.1x_0 - 11.5x_1 + 5.3x_2 - 6.7x_3 = -1.8, \\ 14.2x_0 + 23.4x_1 - 8.8x_2 + 5.3x_3 = 7.2. \end{cases}$$

Ответ записать с точностью до 10^{-4} и сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 1.2

Решить СЛАУ по схеме Жордана с выбором главного элемента:

$$\begin{cases} 8.2x_0 - 3.2x_1 + 14.2x_2 + 14.8x_3 = -8.4, \\ 5.6x_0 - 12.0x_1 + 15.0x_2 - 6.4x_3 = 4.5, \\ 5.7x_0 + 3.6x_1 - 12.4x_2 - 2.3x_3 = 3.3, \\ 6.8x_0 + 13.2x_1 - 6.3x_2 - 8.7x_3 = 14.3. \end{cases}$$

Ответ записать с точностью до 10^{-4} и сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 1.3

Решить СЛАУ методом простых итераций:

$$\begin{cases} 5.7x_0 - 7.8x_1 - 5.6x_2 - 8.3x_3 = 2.7, \\ 6.6x_0 + 13.1x_1 - 6.3x_2 + 4.3x_3 = -5.5, \\ 14.7x_0 - 2.8x_1 + 5.6x_2 - 12.1x_3 = 8.6, \\ 8.5x_0 + 12.7x_1 - 23.7x_2 + 5.7x_3 = 14.7. \end{cases}$$

Ответ записать с точностью до 10^{-4} и сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 1.4

Решить СЛАУ методом Зейделя:

$$\begin{cases} 3.8x_0 + 14.2x_1 + 6.3x_2 - 15.5x_3 = 2.8, \\ 8.3x_0 - 6.6x_1 + 5.8x_2 + 12.2x_3 = -4.7, \\ 6.4x_0 - 8.5x_1 - 4.3x_2 + 8.8x_3 = 7.7, \\ 17.1x_0 - 8.3x_1 + 14.4x_2 - 7.2x_3 = 13.5. \end{cases}$$

Ответ записать с точностью до 10^{-4} и сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 1.5

Найти методом Жордана-Гаусса матрицу B , обратную данной матрице A . Проверить выполнение условия $AB = BA = E$, где E - единичная матрица.

$$A = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.47 & -0.11 & 0.55 \\ 0.42 & 1.00 & 0.35 & 0.17 \\ -0.25 & 0.67 & 1.00 & 0.36 \\ 0.54 & -0.32 & -0.74 & 1.00 \end{pmatrix}$$

Значение элементов матрицы B записать с точностью до 10^{-2} и сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 1.6

По схеме Гаусса с выбором главного элемента вычислить определитель Δ .

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1.00 & 0.42 & 0.54 & 0.66 \\ 0.42 & 1.00 & 0.32 & 0.44 \\ 0.54 & 0.32 & 1.00 & 0.22 \\ 0.66 & 0.44 & 0.22 & 1.00 \end{vmatrix}$$

Ответ записать с точностью до 10^{-4} и сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 2.1

Используя метод простых итераций, решить систему нелинейных уравнений с точностью до 10^{-4} . Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

$$\begin{cases} \sin(x+1) - y = 1.2, \\ 2x + \cos(y) = 2. \end{cases}$$

Задание 2.2

Используя метод Ньютона, решить систему нелинейных уравнений с точностью до 10^{-4} . Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

$$\begin{cases} \operatorname{tg}(xy + 0.4) = x^2, \\ 0.6x^2 + 2y^2 = 1, x > 0, y > 0. \end{cases}$$

Задание 2.3

Используя метод Зейделя, решить систему нелинейных уравнений с точностью до 10^{-4} . Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

$$\begin{cases} \cos(x-1) + y = 0.5, \\ x - \cos(y) = 3. \end{cases}$$

Задание 3.1

Используя итерационный метод вращений Якоби, определить собственные значения и собственные векторы с точностью до 10^{-3} . Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

$$A = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.3 & 1.2 \\ 1.3 & 0.6 & 1.5 \\ 1.2 & 1.5 & 0.8 \end{pmatrix}$$

Задание 3.2

Определить для трёхдиагональной матрицы собственные значения и собственные векторы с точностью до 10^{-3} . Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

$$A = \begin{pmatrix} 1.0 & 1.3 & 0.0 & 0.0 \\ 1.3 & 0.6 & 0.6 & 0.0 \\ 0.0 & 0.6 & 1.5 & 0.8 \\ 0.0 & 0.0 & 0.8 & 1.2 \end{pmatrix}$$

Задание 3.3

Используя степенной метод и метод обратных итераций, определить наибольшее и наименьшее по модулю собственные значения и соответствующие собственные векторы с точностью до 10^{-3} . Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

$$A = \begin{pmatrix} 1.1 & 1.3 & 2.0 & 3.2 \\ 1.3 & 1.6 & 0.7 & 0.0 \\ 2.0 & 0.7 & 1.5 & 0.8 \\ 3.2 & 0.0 & 0.8 & 4.2 \end{pmatrix}$$

Тема: Аппроксимация функций

Задание 4.1

Построить аппроксимирующий полином степени m (или аппроксимирующую функцию) методом наименьших квадратов для таблично заданной функции. Вывести в файл таблично заданную функцию, аппроксимирующую (протабулированную в узлах сетки) функцию и невязки. В пакете MatLab сравнить графики этих функций.

Задание 4.2

Построить интерполяционный полином для заданной функции $f(x)$ на интервале $[a, b]$. Задан вид аппроксимации и количество точек m , в которых определена функция. Таблица исходной функции $y_i = f(x_i)$ вычисляется в точках $x_i = a + \frac{i*(b-a)}{m}, i = 0, \dots, m$. Используя полученную таблицу (x_i, y_i) требуется вычислить значения функций $f(x_j)$, $P_m(x_j)$ и невязки в точках $x_j = a + \frac{j*(b-a)}{9}, j = 0, \dots, 9$. В пакете MatLab построить графики этих функций.

Тема: Численное интегрирование

Задание 5.1

Вычислить интеграл методом Гаусса-Кристоффеля с точностью до 10^{-8} ,

$$I(p, q) = \int_0^{\infty} dx \frac{e^{-px} - e^{-qx}}{x} \quad (p > 0, q > 0).$$

Задание 5.2

Вычислить интеграл методом Симпсона с точностью до 10^{-8} ,

$$I = \int_0^4 \frac{dx}{\sqrt{x+x^2}}.$$

Задание 5.3

Используя метод "трёх восьмых", вычислить двойной интеграл с точностью до 10^{-8} ,

$$I = \int_0^1 dx \int_0^2 dy (x^2 + 2y).$$

Тема: Методы оптимизации

Задание 6.1

Методом перебора с точностью $\varepsilon = 0.001$ найти точку минимума функции $f(x)$ на интервале $[a, b]$ и значение функции в этой точке. В пакете MatLab построить график функции и сравнить результаты.

Задание 6.2

Методом деления отрезка пополам с точностью $\varepsilon = 0.001$ найти точку минимума функции $f(x)$ на интервале $[a, b]$ и значение функции в этой точке. В пакете MatLab построить график функции и сравнить результаты.

Задание 6.3

Методом золотого сечения с точностью $\varepsilon = 0.001$ найти точку минимума функции $f(x)$ на интервале $[a, b]$ и значение функции в этой точке. В пакете MatLab построить график функции и сравнить результаты.

Задание 7.1

Методом градиентного спуска с точностью $\varepsilon = 0.001$ найти точку минимума функции $f(\vec{x})$ и значение функции в этой точке. Начальное приближение \vec{x}_0, α_0 . В пакете MatLab построить график функции и сравнить результаты.

Задание 7.2

Методом наискорейшего спуска с точностью $\varepsilon = 0.001$ найти точку минимума функции $f(\vec{x})$ и значение функции в этой точке. Начальное приближение \vec{x}_0 . В пакете MatLab построить график функции и сравнить результаты.

Задание 7.3

Методом сопряжённых направлений с точностью $\varepsilon = 0.001$ найти точку минимума функции $f(\vec{x})$ и значение функции в этой точке. Начальное приближение \vec{x}_0 . В пакете MatLab построить график функции и сравнить результаты.

Тема: Обыкновенные дифференциальные уравнения

Задание 8.1

Найти решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения методом Рунге-Кутты (2, 3, 4)-го порядка точности. Точность решения задачи $\varepsilon = 0.001$. Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Задание 8.2

Найти решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения методом прогноза-коррекции (метод Милна, Башфорта-Адамса, Хемминга). Точность решения задачи $\varepsilon = 0.001$. Сравнить с результатом решения в пакете MatLab.

Полный перечень контрольных (практических) заданий представлен в следующих учебно-методических пособиях:

1. Численные методы и математическое моделирование: учебно-методическое пособие для лабораторного практикума и

самостоятельной работы / сост. С.В. Николаев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012.

2. Численные методы и математическое моделирование: учебно-методическое пособие / сост. С.В. Николаев, Ю.С. Орлов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019.

Методические указания по выполнению контрольных заданий

Практические и лабораторные занятия по дисциплине «Численные методы» проходят в компьютерных классах. Каждое практическое и лабораторное занятие можно разделить на две части: 1) написание программ на языках программирования высокого уровня (Си, Паскаль, Фортран, Питон) и 2) демонстрация и защита подготовленной программы. На занятии рекомендуется иметь при себе черновую тетрадь для составления алгоритмов и проведения аналитических расчётов.

На каждом занятии студентам раздаются контрольные задания по соответствующим темам лекционного курса. Всего предлагается 8 заданий. Чтобы не накапливались долги, существует правило – больше 2 новых заданий не выдавать. То есть на руках у студента должно быть не более 2 незащищенных контрольных заданий.

Перед выполнением практического (контрольного) задания необходимо актуализировать теоретические знания по данной теме. Для этого можно воспользоваться лекциями, учебной литературой или ресурсами сети Интернет. Также студентам предлагается провести обработку и/или проверку результатов расчёта в пакете MatLab, используя стандартные встроенные функции.

В процессе написания программы необходимо придерживаться следующих рекомендаций: максимально использовать возможности выбранного языка программирования, выделять части основной программы в отдельные функции и/или подпрограммы, элементы программы сопровождать комментариями, использовать стандартную программную нотацию. Также студентам предлагается провести обработку и/или проверку результатов расчёта в пакете MatLab, используя стандартные встроенные функции.

Для успешной защиты программы необходимо удовлетворить следующим критериям: программа должна быть работоспособной (проверена на тестовом примере и в пакете MatLab), соответствовать рекомендациям по написанию программ, студент должен легко ориентироваться в программном коде и уметь сопоставить каждый этап вычисления с соответствующим разделом теории.

Критерии оценки выполнения контрольных заданий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он написал компьютерную программу, самостоятельно протестировал её, показал работоспособность программного кода, вывел результат расчёта на экран или в файл, показал владение предложенным численным методом расчёта и смог полностью или частично сопоставить каждый этап вычисления с соответствующим разделом теории.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не смог написать компьютерную программу и/или показал неудовлетворительное владение численным методом расчёта.

Индивидуальные задания

Тема: Обыкновенные дифференциальные уравнения

Задание 1

В магнитном поле бесконечного прямолинейного проводника, по которому течет ток J , движется электрон с массой m и абсолютной величиной заряда e . Начальная скорость электрона направлена против тока в проводнике и равна V_0 . В начальный момент времени электрон расположен относительно проводника на расстоянии, равном локальному значению ларморовского радиуса

$$r_0 = \frac{mV_0c}{eH(r_0)},$$

где $H(r_0)$ - напряженность магнитного поля проводника в точке расположения электрона, c - скорость света. Проинтегрировать численно уравнения движения электрона

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{V}, \quad \frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{e}{m \cdot c} \cdot [\vec{V}, \vec{H}]$$

в плоскости, проходящей через проводник и частицу.

УКАЗАНИЯ. Выбрать систему координат с осью Z вдоль проводника и положительным направлением противоположным току, а осью x проходящей через частицу. Вводя новые безразмерные переменные

$$t' = t/\tau_0, \quad \vec{r}' = \vec{r}/r_0, \quad \vec{V}' = \vec{V}/V_0, \quad \vec{H}' = \vec{H}/H_0$$

где $H_0 = H(r_0)$, $\tau_0 = \frac{mc}{eH_0}$, уравнения движения представить в виде (штрихи опущены):

$$\frac{dx}{dt} = V_x, \quad \frac{dz}{dt} = V_z, \quad \frac{dV_x}{dt} = -\frac{V_z}{x}, \quad \frac{dV_z}{dt} = \frac{V_x}{x}$$

с начальными условиями

$$x(0)=1, z(0)=0, V_x(0)=0, V_z(0)=1.$$

Интегрирование выполнить в области $0 \leq t \leq 25$ методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности с шагом $\delta t=0.1$. Выдачи на печать организовать через интервал $\Delta t=0.5$.

Представить траекторию электрона в плоскости (XZ) графически.

Задание 2

Движение электрона в постоянном и однородном магнитном поле H , направленном вдоль оси Z , возмущается движущимся мимо него протоном (M_e и M_i - массы электрона и протона, e - абсолютная величина заряда частиц). В начальный момент времени частицы расположены в плоскости XY :

$$X_e(0) = 0, \quad Y_e(0) = -r_0, \quad X_i(0) = -10r_0, \quad Y_i(0) = r_0,$$

где $r_0 = \frac{M_e V_0 c}{eH}$ - ларморовский радиус электрона, рассчитанный по его начальной скорости V_0 (c - скорость света). Начальные скорости частиц одинаковы по величине и направлению $V_{ex}(0) = V_{ix}(0) = V_0, \quad V_{ey}(0) = V_{iy}(0) = V_{ez}(0) = V_{iz}(0) = 0$.

Проинтегрировать численно уравнения движения частиц

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{R}_e}{dt} &= \vec{V}_e, & M_e \frac{d\vec{V}_e}{dt} &= e^2 \frac{\vec{R}_i - \vec{R}_e}{|\vec{R}_i - \vec{R}_e|^3} - \frac{e}{c} [\vec{V}_e, \vec{H}], \\ \frac{d\vec{R}_i}{dt} &= \vec{V}_i, & M_i \frac{d\vec{V}_i}{dt} &= -e^2 \frac{\vec{R}_i - \vec{R}_e}{|\vec{R}_i - \vec{R}_e|^3} + \frac{e}{c} [\vec{V}_i, \vec{H}] \end{aligned}$$

в декартовых координатах XY и нарисовать графики траекторий. Отношение масс частиц взять равным $M_i/M_e = \beta^{-1} = 1836$.

УКАЗАНИЯ. Вывести безразмерные переменные

$$t' = t \cdot \omega_0, \quad \vec{R}'_e = \vec{R}_e/r_0, \quad \vec{R}'_i = \vec{R}_i/r_0, \quad \vec{V}'_e = \vec{V}_e/V_0, \quad \vec{V}'_i = \vec{V}_i/V_0,$$

где $\omega_0 = \frac{eH}{M_e c}$ - циклотронная частота электрона.

Единицу скорости V_0 целесообразно выбрать так, чтобы выполнялось соотношение

$$\frac{e^2}{r_0^2} = M_e V_0 \omega_0.$$

Для упрощения задачи принять, что начальная скорость электрона равна этой величине. Интегрирование выполнить с шагом $\Delta t = 0.25$ (или с точностью 10⁻³) на отрезке времени $0 < t' \leq 20$, печать координат частиц организовать через интервалы $dt' = 1.25$.

Уравнения движения в безразмерных переменных (опуская штрихи для упрощения записи) принимают вид:

$$\begin{aligned} \frac{dX_e}{dt} &= V_{ex}, & \frac{dY_e}{dt} &= V_{ey}; & \frac{dV_{ex}}{dt} &= -V_{ey} + \frac{X_i - X_e}{R^3}, & \frac{dV_{ey}}{dt} &= V_{ex} + \frac{Y_i - Y_e}{R^3}; \\ \frac{dX_i}{dt} &= V_{ix}, & \frac{dY_i}{dt} &= V_{iy}; & \frac{dV_{ix}}{dt} &= \beta \cdot \left(V_{iy} - \frac{X_i - X_e}{R^3} \right), \\ \frac{dV_{iy}}{dt} &= \beta \cdot \left(-V_{ix} - \frac{Y_i - Y_e}{R^3} \right); & \beta &= \frac{M_e}{M_i} = 1/1836. \end{aligned}$$

С начальными значениями:

$$\begin{aligned} X_e(0) = 0; \quad Y_e(0) = -1; \quad V_{ex}(0) = 1; \quad V_{ey}(0) = 0; \\ X_i(0) = -10; \quad Y_i(0) = 1; \quad V_{ix}(0) = 1; \quad V_{iy}(0) = 0. \end{aligned}$$

Задание 3

В слабо возмущённом аксиально-симметричном магнитном поле с цилиндрическими компонентами

$$B_r = \gamma \cdot I_1(r) \cdot \sin(z), \quad B_\phi = 0, \quad B_z = [1 + r \cdot I_0(r) \cdot \cos(z)],$$

где γ - параметр поля, $I_0(r)$ и $I_1(r)$ - функции Бесселя мнимого аргумента, движется заряженная частица.

Уравнения движения частицы имеют вид

$$\ddot{r} = \frac{e \cdot r \cdot \dot{\phi}}{m \cdot c} B_z + r \cdot \dot{\phi}^2, \quad \ddot{\phi} = \frac{1}{r} \left\{ \frac{e}{m \cdot c} (\dot{z} \cdot B_r - \dot{r} \cdot B_z) - 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\phi} \right\}, \quad \ddot{z} = -\frac{e \cdot r \cdot \dot{\phi}}{m \cdot c} B_r.$$

Найти изменение магнитного момента частицы

$$|\vec{M}| = \frac{m \cdot \|\vec{v}, \vec{B}\|^2}{2 \cdot B^3},$$

если начальные условия в цилиндрических координатах имеют вид

$$r(0) = 2, \quad \phi(0) = 0, \quad z(0) = \pi/2, \quad V = (0, -V_0 \cdot \cos(f_1), V_0 \cdot \sin(f_1)).$$

Интегрирование вести в промежутке $0 < t \leq 15$, параметры задачи:

$$\gamma = 0.2; \quad f_1 = 0.68; \quad V_0 = 2.$$

Задачу Коши решать методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности. Шаг интегрирования взять $\tau = 0.2$. На печать вывести координаты частицы, компоненты скорости и поля, компоненты магнитного момента.

В плоскости (r, ϕ) изобразить траекторию графически.

Полный перечень индивидуальных заданий представлен в следующих учебно-методических пособиях:

1. Численные методы и математическое моделирование: учебно-методическое пособие для лабораторного практикума и самостоятельной работы / сост. С.В. Николаев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012.
2. Численные методы и математическое моделирование: учебно-методическое пособие / сост. С.В. Николаев, Ю.С. Орлов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019.

Методические рекомендации по выполнению индивидуального задания

На первом занятии каждому студенту дополнительно раздается индивидуальное задание, которое должно быть выполнено в течение семестра. В данном задании предлагается решить сложную физическую задачу, используя соответствующий численный метод.

Перед выполнением задания необходимо актуализировать теоретические знания по данной теме. Для этого можно воспользоваться лекциями, учебной литературой или ресурсами сети Интернет. Также студентам предлагается провести обработку и/или проверку результатов расчёта в пакете MatLab,

используя стандартные встроенные функции. При выполнении индивидуального задания необходимо дополнительно прочитать соответствующие разделы по физике.

Критерии оценки выполнения индивидуальных заданий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он написал компьютерную программу, самостоятельно протестировал её, показал работоспособность программного кода, вывел результат расчёта на экран или в файл, показал владение предложенным численным методом расчёта, а также знания физического процесса или явления, описываемого в индивидуальном задании, и смог интерпретировать численный результат с физической точки зрения.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не смог написать компьютерную программу и/или показал неудовлетворительное владение численным методом расчёта, а также не смог провести анализ физического процесса или явления, описываемого в индивидуальном задании.

Темы для курсовой работы

1. Решение системы линейных алгебраических уравнений методом Гаусса.
2. Решение системы линейных алгебраических уравнений методом Жордана-Гаусса.
3. Решение системы линейных алгебраических уравнений методом простой итерации.
4. Решение системы линейных алгебраических уравнений методом Зейделя.
5. Вычисление определителя матрицы методом Гаусса.
6. Определение обратной матрицы методом Жордана-Гаусса.
7. Вычисление интеграла методом Симпсона.
8. Вычисление интеграла методом «3/8».
9. Вычисление интеграла методом Гаусса-Кристоффеля.
10. Интерполирование таблично заданной функции полиномом Лагранжа.
11. Интерполирование таблично заданной функции полиномом Ньютона.
12. Аппроксимация таблично заданной функции методом наименьших квадратов.
13. Одномерная оптимизация. Метод перебора.
14. Одномерная оптимизация. Метод деления отрезка пополам.
15. Одномерная оптимизация. Метод золотого сечения.
16. Многомерная оптимизация. Метод покоординатного спуска.
17. Многомерная оптимизация. Метод градиентного спуска.
18. Многомерная оптимизация. Метод наискорейшего спуска.
19. Многомерная оптимизация. Метод сопряжённых направлений.
20. Решение задачи Коши для ОДУ методом Рунге-Кутты.

21. Решение задачи Коши для ОДУ методом прогноза-коррекции.
22. Решение краевой задачи для ОДУ методом стрельбы.
23. Решение краевой задачи для ОДУ методом сеток.

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

Также учебной программой предусмотрено выполнение курсовой работы, тема которой определяется преподавателем на первом занятии.

В процессе написания программы необходимо придерживаться следующих рекомендаций: максимально использовать возможности выбранного языка программирования, выделять части основной программы в отдельные функции и/или подпрограммы, элементы программы сопровождать комментариями, использовать стандартную программную нотацию.

Для успешной защиты программы необходимо удовлетворить следующим критериям: программа должна быть работоспособной (проверена на тестовом примере и в пакете MatLab), соответствовать рекомендациям по написанию программ, студент должен легко ориентироваться в программном коде и уметь сопоставить каждый этап вычисления с соответствующим разделом теории.

Критерии оценки курсовой работы

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если он написал компьютерную программу, самостоятельно протестировал её, показал работоспособность программного кода, вывел результат расчёта в файл и построил соответствующий график, показал свободное владение численным методом расчёта и провел анализ результатов расчёта.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если он написал компьютерную программу, показал работоспособность программного кода, вывел результат расчёта на экран или в файл, построил соответствующий график и показал хорошее владение численным методом расчёта.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если он написал компьютерную программу, показал работоспособность программного кода, вывел результат расчёта на экран и показал удовлетворительное владение численным методом расчёта.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, который не смог написать компьютерную программу и/или показал неудовлетворительное владение численным методом расчёта.

Контрольные вопросы к экзамену

1. Точность вычислительного эксперимента. Вычислительная математика.

2. Понятие близости. Погрешность вычислений.
3. Системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Прямые методы.
4. Метод Гаусса (метод исключения Гаусса) решения СЛАУ.
5. Метод Жордана-Гаусса решения СЛАУ.
6. Вычисление определителя.
7. Вычисление обратной матрицы.
8. Метод прогонки решения СЛАУ.
9. Итерационные методы решения СЛАУ. Метод простой итерации.
10. Метод Зейделя и метод релаксаций решения СЛАУ.
11. Методы решения нелинейных уравнений (НУ). Метод деления отрезка пополам (бисекций, дихотомии).
12. Метод простых итераций решения НУ.
13. Метод Ньютона (линеаризации, касательных) решения НУ.
14. Метод секущих (хорд) решения НУ.
15. Метод парабол решения НУ.
16. Методы решения систем нелинейных уравнений (СНУ). Метод простых итераций.
17. Метод Зейделя для СНУ.
18. Метод Ньютона для СНУ.
19. Задачи на собственные значения (СЗ). Метод интерполяции.
20. Вычисление СЗ в случае трёхдиагональных матриц.
21. Степенной метод (счёт на установление).
22. Метод обратной итерации.
23. Итерационный метод вращений Якоби вычисления СЗ.
24. Интерполирование. Основные понятия и определения.
25. Интерполирование. Полином Лагранжа.
26. Интерполирование. Полином Ньютона.
27. Интерполяция сплайнами.
28. Аппроксимация. Линейная аппроксимация.
29. Аппроксимация. Нелинейная аппроксимация.
30. Сглаживание.
31. Численное интегрирование. Полиномиальная аппроксимация. Определение квадратурной формулы.
32. Метод прямоугольников. Метод трапеций.
33. Метод Симпсона. Метод «3/8».
34. Процедура Рунге оценки погрешности квадратурной формулы. Процесс Эйткина.
35. Формулы Гаусса-Кристоффеля.
36. Интегрирование разрывных функций. Переменный предел интегрирования. Несобственные интегралы.
37. Кратные интегралы. Метод ячеек.
38. Кратные интегралы. Метод последовательного интегрирования.
39. Одномерная оптимизация. Метод перебора, метод деления отрезка пополам.

40. Одномерная оптимизация. Метод золотого сечения, метод Ньютона (парабол).
41. Многомерная оптимизация. Метод покоординатного спуска, метод градиентного спуска.
42. Многомерная оптимизация. Метод наискорейшего спуска, метод сопряжённых направлений.
43. Задачи оптимизации с ограничениями. Метод штрафных функций.
44. Численное дифференцирование.
45. Задача Коши. Основные понятия.
46. Одношаговые методы (метод Эйлера, метод Эйлера с пересчётом)
47. Одношаговые методы (явные методы Рунге-Кутты).
48. Многошаговые методы (метод Адамса).
49. Многошаговые методы (методы прогноза-коррекции).
50. Оценка погрешности и повышение точности результата.
51. Жёсткие системы ОДУ (неявные методы Рунге-Кутты).
52. Жёсткие системы ОДУ (методы Розенброка).
53. Краевая задача. Метод стрельбы (баллистический метод).
54. Метод стрельбы для линейных краевых задач.
55. Метод конечных разностей (сеток) для линейных краевых задач.
56. Метод конечных разностей (сеток) для нелинейных краевых задач.
57. Задачи на собственные значения для ОДУ (метод стрельбы).
58. Задачи на собственные значения для ОДУ (метод сеток).

Методические рекомендации по проведению экзамена

Рейтинг-план дисциплины

Соотношение видов учебной деятельности студента, учитываемых в рейтинге:

1. Посещение лекционных, практических и лабораторных занятий - 10%
2. Выполнение контрольных и индивидуальных заданий - 70%
3. Курсовая работа - 20%

Пороговая оценка видов контролируемой учебной деятельности студента, учитываемые в рейтинге:

1. Посещение лекционных, практических и лабораторных занятий - 50% от всех занятий в семестре
2. Выполнение контрольных и индивидуальных заданий - 90% от всех заданий в семестре
3. Курсовая работа - «удовлетворительно»

Студенты, которые не смогли преодолеть пороговое значение оценки для каждого вида контролируемой учебной деятельности с учётом соответствующего веса, к экзамену не допускаются до тех пор, пока не будет достигнуто пороговое значение оценки выполнения контрольных заданий и курсовой работы.

Форма проведения экзамена – устная, по билетам, которые содержат 2 теоретических вопроса.

Критерии оценки экзамена

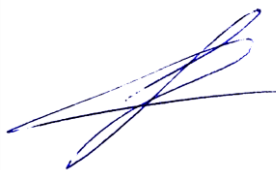
Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Разработчик



С.В. Николаев