

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением президиума
Ученого совета ННГУ
от 14.12.2021 г.
протокол № 4

**Рабочая программа дисциплины
Work program of the course**

Вычислительные методы
Computational methods

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Общий профиль

Форма обучения
очная

Нижний Новгород
2022

21. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Вычислительные методы» (Б1.О.11) относится к обязательной части ОПОП бакалавриата по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии». Курс преподается в 6 семестре; 3 зачетных единицы, 108 часов; форма отчетности – экзамен.

The course "Computational methods" (Б1.О.11) refers to the mandatory part of the PLO undergraduate training in 02.03.02 "Fundamental computer science and information technology". The course is taught in the 6th semester; reporting form – exam.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина Б1.О.11 «Вычислительные методы» относится к обязательной части ООП направления подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

Изложение материала в рамках разработанной программы опирается на такие дисциплины как «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Основы программирования». В программе большое место уделено практическим примерам, иллюстрирующим теоретические положения.

Целями освоения дисциплины являются:

- развитие навыков в постановке задач вычислительной математики;
- освоение основных понятий и фактов из теории приближения функций и ее приложений;
- знание прямых и итерационных методов решения алгебраических задач (нелинейные уравнения с одной переменной, линейные системы уравнений, проблема собственных значений и собственных векторов);
- знание методов приближенного интегрирования, в том числе для различных типов дифференциальных задач (задача Коши, краевые задачи);
- умение применять полученные теоретические знания к решению конкретных задач
- системное изучение проблем, находящихся на стыке классических и компьютерных наук.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания, полученные в области	ОПК-1.1. Знает основные положения и концепции в области математических и естественных наук,	ЗНАТЬ Определение погрешности вычислений и ее составные компоненты; основные понятия и факты из теории приближения функций (интерполяция, элемент наилучшего	Собеседование (экзамен)

математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	Базовые теории и истории основного, теории коммуникации; знает основную терминологию.	приближения; методы численного дифференцирования и интегрирования / Determination of calculation error and its components; basic concepts and facts from the theory of approximation of functions (interpolation, best approximation element; numerical differentiation and integration methods Способы отделения корней и методы приближенного решения нелинейных уравнений с одной переменной; методы решения задач линейной алгебры, условия сходимости итерационных процессов; основные методы интегрирования дифференциальных задач / Methods of root separation and methods for approximate solution of nonlinear equations with one variable; methods for solving linear algebra problems, conditions of convergence of iterative processes; basic methods of integration of differential problems	
	ОПК-1.2. Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты.	<i>УМЕТЬ</i> Использовать базовые знания в формулировании задач вычислительной математики/ To use basic knowledge in the formulation of computational mathematics	Контрольная работа
	ОПК-1.3. Имеет практический опыт работы с решением стандартных математических задач и применяет его в профессиональной деятельности.	<i>ВЛАДЕТЬ</i> Базовыми знаниями естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями/ To possess basic knowledge of natural Sciences, mathematics and Informatics, basic facts, concepts, principles of theories related to fundamental Informatics and information technologies	Контрольная работа
ОПК-2. Способен применять компьютерные / суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение, в том числе отечественного происхождения, для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-2.1. Знает основные положения и концепции в области программирования, архитектуру языков программирования, теории коммуникации, знает основную терминологию, знаком с содержанием Единого Реестра Российских программ.	<i>ЗНАТЬ</i> Стандартные методы решения вычислительных задач профессиональной деятельности/ Standard methods of solving computational problems of professional activity Новые математические пакеты для решения вычислительных задач/ Know new math packages for solving computational problems	Собеседование (экзамен)
	ОПК-2.2. Умеет анализировать типовые языки программирования, составлять программы.	<i>УМЕТЬ</i> Разрабатывать новые методы решения поставленных задач / Develop new methods of solving problems Анализировать погрешности вычисления / To analyze the error of the calculations Исследовать сходимость получаемых приближений к точному решению	Контрольная работа

		поставленных задач / To investigate the convergence of the obtained approximations to the exact solution of the set tasks Пользоваться соответствующими математическими пакетами; / To use the appropriate mathematical packages	
	ОПК-2.3. Имеет практический опыт решения задач анализа, интеграции различных типов программного обеспечения, анализа типов коммуникаций.	<i>ВЛАДЕТЬ</i> Навыками построения алгоритмов по используемым методам / Skills of building algorithms on the methods used Различными методами решений вычислительных задач с применением информационно-коммуникационных технологий / Various methods of solving computational problems using information and communication technologies Представлением о применении универсальных математических пакетов для выполнения простых вычислительных операций/ A representation of the use of universal mathematical packages to perform simple computational operations	Контрольная работа

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	50
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	32
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	2
самостоятельная работа	22
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение. Introduction.	8	2	4		6	2

2. Основы теории погрешности. Fundamentals of the theory of error.	8	2	4		6	2
3. Способы решения систем линейных уравнений. Оценка «числа шагов». Methods of solving systems of linear equations. Evaluation of the "number of steps".	9	2	4		6	3
4. Основы теории приближений. Интерполяция. Fundamentals of approximation theory. Interpolation	9	2	4		6	3
5. Нелинейные уравнения с одной переменной. Нахождение экстремума. Nonlinear equations with one variable. Finding an extremum.	9	2	4		6	3
6. Численные методы линейной алгебры. Numerical methods of linear algebra.	9	2	4		6	3
7. Численное решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений Numerical solution of the Cauchy problem for ordinary differential equations	9	2	4		6	3
8. Численное решение краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных Numerical solution of boundary value problems for partial differential equations	9	2	4		6	3
Текущий контроль (КСР)	2				2	
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
Итого	108	16	32	0	50	22

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (экзамен).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Виды самостоятельной работы студентов

- Выполнение практических заданий.
- Выполнение контрольных работ в рамках практических занятий.
- Подготовка к экзамену.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно

(индикатора достижения компетенций)	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»

	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы для экзамена

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Общая постановка задач вычислительной математики. Погрешность вычислений, ее составные части / General formulation of problems in computational mathematics. Computational error, its components.	ОПК-1
2. Абсолютная и относительная погрешности приближенного числа. Определение и нахождение погрешности арифметических операций. Понятие верной и значащей цифр / Absolute and relative errors of the approximate number. Determination and determination of the error of arithmetic operations. The concept of a true and significant number.	ОПК-1
3. Общая постановка задачи приближенного вычисления функции / General statement of the problem of approximate calculation of a function.	ОПК-1
4. Интерполяционный полином Лагранжа. Равноотстоящий и неравноотстоящий случаи расположения узлов. Схема Эйткена / The interpolation polynomial of Lagrange. Equal and unequal distribution of nodes. Aitken's scheme.	ОПК-1
5. Разделенные разности. Определение, свойства, примеры / Divided differences. Definition, properties, examples.	ОПК-1
6. Интерполяционный полином Ньютона. Неравноотстоящий случай расположения узлов / Newton interpolation polynomial. The unequal distribution of nodes.	ОПК-1
7. Конечные разности. Определение, свойства, примеры / Finite differences. Definition, properties, examples.	ОПК-1
8. Интерполяционные полиномы Ньютона, Гаусса / The interpolation polynomials of Newton and Gauss	ОПК-1
9. Погрешность интерполяции. Способы ее уменьшения. / Error of interpolation. Ways to reduce it.	ОПК-1
10. Погрешность интерполяции. Способы ее уменьшения. Сходимость интерполяционного процесса. Достаточные условия сходимости. / Error of interpolation. Ways to reduce it. Convergence of the interpolation process. Sufficient conditions for convergence.	ОПК-1
11. Интерполяция с кратными узлами. Полином Эрмита. / Interpolation with multiple nodes. Hermite's polynomial.	ОПК-1
12. Сплайн-функции. Определение, свойства. Примеры. / Spline functions. Definition, properties. Examples.	ОПК-1
13. Сплайн-интерполяция. Построение для различных краевых условий. / Spline interpolation. Construction for various boundary conditions.	ОПК-1
14. Задача численного дифференцирования. Построение формул численного дифференцирования, погрешность. Некорректность задачи численного дифференцирования. /	ОПК-1

The problem of numerical differentiation. Construction of formulas for numerical differentiation, error. Incorrectness of the problem of numerical differentiation.	
15. Задача численного интегрирования. Простейшие квадратурные формулы. / The problem of numerical integration. The simplest quadrature formulas.	ОПК-1
16. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса. Примеры. / Quadrature formulas of Newton-Cotes. Examples.	ОПК-1
17. Уточнение квадратурных формул. Правило Рунге. / Refinement of quadrature formulas. Runge rule.	ОПК-1
18. Квадратурные формулы Гаусса. / Quadrature formulas of Gauss.	ОПК-1
19. Составные квадратурные формулы. Оценка погрешности. / Composite quadrature formulas. Error estimation.	ОПК-2
20. Интегрирование функций многих переменных. Кубатурные формулы. / Integration of functions of several variables. Cubature formulas.	ОПК-2
21. Метод Монте-Карло интегрирования функций многих переменных. / The Monte Carlo method of integrating functions of several variables.	ОПК-2
22. Метод прогонки для трех диагональных систем. / Sweep method for three diagonal systems.	ОПК-2
23. Частичная проблема собственных значений. Метод итераций. / Partial eigenvalue problem. Method of iterations.	ОПК-2
24. Частичная проблема собственных значений. Метод исчерпывания. / Partial eigenvalue problem. Method of exhaustion.	ОПК-2
25. Приведение матриц к квазитреугольному виду. / Reduction of matrices to a quasitriangular form.	ОПК-2
26. QR, QL – алгоритмы / QR, QL algorithms	ОПК-2
27. Задача Коши. Простейшие методы решения. Примеры. / The Cauchy problem. The simplest methods of solution. Examples.	ОПК-2
28. Методы типа Рунге-Кутты. Примеры. / Methods of Runge-Kutta type. Examples.	ОПК-2
29. Многошаговые методы решения задачи Коши. Экстраполяционная и интерполяционная формулы Адамса. / Multistep methods for solving the Cauchy problem. Extrapolation and interpolation formulas Adams.	ОПК-2
30. Метод дифференциальной прогонки (быстрый случай). / The method of differential sweep (fast case).	ОПК-2
31. Метод дифференциальной прогонки (точный случай). / The method of differential sweep (the exact case).	ОПК-2
32. Краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод сеток. Аппроксимация области. Определение аппроксимации разностной схемой дифференциальной задачи / Boundary value problems for ordinary differential equations. Method of nets. Approximation of the region. Definition of approximation by the difference scheme of the differential problem	ОПК-2
33. Метод ортогональной прогонки. / The method of orthogonal sweep.	ОПК-2
34. Вариационно-проекционные методы. Построение линейно независимых систем пробных функций. Метод Галеркина. / Variational projection methods. Construction of linearly independent systems of trial functions. Galerkin's method.	ОПК-2
35. Вариационно-проекционные методы. Метод Ритца. / Variational projection methods. The Ritz method.	ОПК-2
36. Вариационно-проекционные методы. Метод наименьших квадратов. / Variational projection methods. Least square method.	ОПК-2

5.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задание 1. Докажите, что уравнение $f(t)=0$ имеет единственный вещественный корень. Укажите промежуток длиной 1, содержащий этот корень. Запишите уравнение в виде $t = (t)$. Организуйте итерационный процесс и укажите число итераций, которое потребуется для вычисления корня с точностью 0.01. Найдите указанное приближение

$$1. \quad f(t) = 2t^3 + 3t^2 + 6t + 1 \qquad 2. \quad f(t) = 2t^3 + 3t^2 + 6t - 1$$

Задание 2. Систему линейных уравнений преобразуйте так, чтобы ее можно было решить итерационным методом. Исследуйте характер приближения к решению

$$\begin{array}{ll}
1. \begin{cases} 2x_1 + x_2 = 3, \\ x_1 - 3x_2 = -2; \end{cases} & 2. \begin{cases} 3x_1 + x_2 = 7, \\ x_1 + 2x_2 = 4; \end{cases} \\
3. \begin{cases} 10x_1 + x_2 = 11, \\ x_1 + 5x_2 = 6; \end{cases} & 4. \begin{cases} x_1 + 10x_2 = 1, \\ 10x_1 + 2x_2 = 10. \end{cases} \\
5. \begin{cases} 3x_1 + x_2 = 4, \\ 2x_1 - 3x_2 = -1; \end{cases} & 6. \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 = 7, \\ 4x_1 + 1x_2 = 9; \end{cases}
\end{array}$$

Задание 3. Построить интерполяционный полином Лагранжа и Ньютона.

1. $y(-1) = -1, y(0) = 1, y(1) = 3, y(2) = 11.$
2. $y(-1) = -2, y(0) = 1, y(1) = 4, y(2) = 12.$
3. $y(-1) = -2, y(0) = 1, y(1) = 4, y(2) = 19.$
4. $y(-1) = 0, y(0) = 1, y(1) = 4, y(2) = 15.$

Задание 4. Решите численно задачу Коши для линейного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами:

1. $u'' + 5u' + 4u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -1.$
2. $u'' + 3u' + 2u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -1.$
3. $u'' + 8u' + 12u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -2.$
4. $u'' + 4u' + 4u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -2.$

Task 1. Prove that the equation $f(t) = 0$ has a unique real root. Specify a length of 1 that contains this root. Write the equation in the form $t = \varphi(t)$. Organize the iterative process and specify the number of iterations required to calculate the root with an accuracy of 0.01. Find the indicated approximation.

1. $f(t) = 2t^3 + 3t^2 + 6t + 1$
2. $f(t) = 2t^3 + 3t^2 + 6t - 1$

Task 2. Transform the system of linear equations so that it can be solved by an iterative method. Investigate the nature of the approach to the solution

$$\begin{array}{ll}
1. \begin{cases} 2x_1 + x_2 = 3, \\ x_1 - 3x_2 = -2; \end{cases} & 2. \begin{cases} 3x_1 + x_2 = 7, \\ x_1 + 2x_2 = 4; \end{cases} \\
3. \begin{cases} 10x_1 + x_2 = 11, \\ x_1 + 5x_2 = 6; \end{cases} & 4. \begin{cases} x_1 + 10x_2 = 1, \\ 10x_1 + 2x_2 = 10. \end{cases} \\
5. \begin{cases} 3x_1 + x_2 = 4, \\ 2x_1 - 3x_2 = -1; \end{cases} & 6. \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 = 7, \\ 4x_1 + 1x_2 = 9; \end{cases}
\end{array}$$

Task 3. Construct the interpolation polynomial of Lagrange and Newton.

1. $y(-1) = -1, y(0) = 1, y(1) = 3, y(2) = 11.$
2. $y(-1) = -2, y(0) = 1, y(1) = 4, y(2) = 12.$
3. $y(-1) = -2, y(0) = 1, y(1) = 4, y(2) = 19.$
4. $y(-1) = 0, y(0) = 1, y(1) = 4, y(2) = 15.$

Task 4. Solve the Cauchy problem for the linear differential equation numerically second order with constant coefficients:

1. $u'' + 5u' + 4u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -1.$
2. $u'' + 3u' + 2u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -1.$
3. $u'' + 8u' + 12u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -2.$

104. $u'' + 4u' + 4u = 0, u(0) = 1, u'(0) = -2.$

5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задание 1. Найти численно определенный интеграл по формуле «левых прямоугольников» и формуле Симпсона. Сравнить и оценить погрешности.

$$\int_0^{\pi} \sin x dx ; 2. \int_0^4 x^4 dx ; 3. \int_0^6 x dx ; 4. \int_0^4 (x^2 + x) dx .$$

Задание 2. Зависимость порядка интерполяционного полинома Эрмита от количества начальных точек

Задание 3. Создание «дружелюбного» интерфейса программы

Задание 4. Зависимость коэффициентов канонических полиномов от количества заданных точек

Задание 5. Экстремальное свойство кубического сплайна

Task 1. Find the numerically defined integral by the formula of "left rectangles" and Simpson's formula. Compare and evaluate the errors.

$$\int_0^{\pi} \sin x dx ; 2. \int_0^4 x^4 dx ; 3. \int_0^6 x dx ; 4. \int_0^4 (x^2 + x) dx .$$

Task 2. Dependence of the order of the Hermite interpolation polynomial on the number of initial points

Task 3. Creating a "friendly" interface program

Task 4. Dependence of the coefficients of canonical polynomials on the number of given points

Task 5. Extremal property of a cubic spline

5.2.4. Пример экзаменационного билета

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского

Институт/факультет Информационных технологий математики и механики

Кафедра Математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий

Дисциплина Вычислительная математика

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Интерполяция. Формула Лагранжа.

2. Методы нахождения собственных значений матрицы и теоремы о них.

1. Interpolation. The Formula Of Lagrange.

2. Methods for finding eigenvalues of a matrix and theorems about them.

Зав. кафедрой _____

Экзаменатор _____

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. R. L. Burden, J. D. Faires. Numerical Analysis. Brooks Cole, 2000. — 895 p. . — Режим доступа: http://fac.ksu.edu.sa/sites/default/files/textbook-9th_edition.pdf
2. J. Stoer, R. Bulirsch. Introduction to numerical analysis. Springer-Verlag, 1993. — 672 p. . — Режим доступа:
[http://www.math.uni.wroc.pl/~olech/metnum2/Podreczniki/\(eBook\)%20Introduction%20to%20Numerical%20Analysis%20-%20J.Stoer,R.Bulirsch.pdf](http://www.math.uni.wroc.pl/~olech/metnum2/Podreczniki/(eBook)%20Introduction%20to%20Numerical%20Analysis%20-%20J.Stoer,R.Bulirsch.pdf)
3. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery. Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press. 2002. — 949 p. . — Режим доступа:
https://www2.units.it/ipl/students_area/imm2/files/Numerical_Recipes.pdf

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):
Numerical Computing with C And C++. <https://qmplus.qmul.ac.uk/course/view.php?id=8742>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и семинарского типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО /ОС ННГУ _____.

Автор _____ К.А. Баркалов

Рецензент _____

Зав. кафедрой _____ Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 01.12.2021 года, протокол № 2.