

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Наименование образовательной программы: Цифровые технологии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
МАШИННАЯ АРИФМЕТИКА В РАЦИОНАЛЬНЫХ ЧИСЛАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.07.01.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	1 семестр - 32 часа;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	1 семестр - 32 часа;
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	1 семестр - 43,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	1 семестр - 0,3 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Оцоков Ш.А.
	Идентификатор	R1955ce2a-OtsokovSha-1e5b4243

Ш.А. Оцоков


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Вишняков С.В.
	Идентификатор	R35b26072-VishniakovSV-02810d9

С.В. Вишняков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Вишняков С.В.
	Идентификатор	R35b26072-VishniakovSV-02810d9

С.В. Вишняков

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение традиционных и нетрадиционных систем счисления и арифметик над полем рациональных чисел для ускорения вычислительных операций и повышение их точности

Задачи дисциплины

- Ознакомление магистрантов с современными направлениями развития компьютерной арифметики;
- Демонстрация особенностей работы с числами формата с плавающей точкой, прямого и обратного анализа ошибок округления;
- Получение практических навыков применения интервальных вычислений;
- Изучение достоинств и недостатков модулярной арифметики, арифметики с переменной точностью, адаптивной арифметики, знакоразрядной арифметики и других арифметик над полем рациональных чисел;
- Изучение обобщенной интервальной арифметики.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен осуществлять проектирование вычислительных комплексов и систем, включая разработку аппаратного, программного обеспечения, системную интеграцию, ввод в эксплуатацию	ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует знание принципов проектирования ЭВМ, микропроцессорных систем и вычислительных систем	знать: - Особенности формата с плавающей точкой, приводящие к резкой потере точности. уметь: - Анализировать распространение вычислительных погрешностей, проводить прямой и обратный анализ.
ПК-1 Способен осуществлять проектирование вычислительных комплексов и систем, включая разработку аппаратного, программного обеспечения, системную интеграцию, ввод в эксплуатацию	ИД-3 _{ПК-1} Осуществляет разработку аппаратных и программных средств различного назначения в соответствии с техническим заданием	знать: - Теорию интервальных вычислений; - CORDIC арифметику и другие арифметики; - Алгоритмы ускоренного выполнения арифметических операций. уметь: - проводить вычисления в модулярной арифметике; - Определять вычислительные аномалии в программах, реализующих вычислительные алгоритмы формата с плавающей точкой.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровые технологии (далее – ОПОП), направления подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Необходимо знать основы программирования на языке высокого уровня
- уметь Разрабатывать расчётные программы на языке высокого уровня

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания		
				Контактная работа							СР					
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль			
КПР	ГК	ИККП	ТК													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	Особенности машинной арифметики с плавающей точкой	13	1	4	4	-	-	-	-	-	-	5	-	<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Особенности машинной арифметики с плавающей точкой" материалу.</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Особенности машинной арифметики с плавающей точкой и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности машинной арифметики с плавающей точкой"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 38-50 [4], стр. 356-362</p>		
1.1	Особенности машинной арифметики с плавающей точкой	13		4	4	-	-	-	-	-	-	5	-			
2	Анализ ошибок округления в формате с плавающей точкой	13		3	4	-	-	-	-	-	-	-	6		-	<p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 50-56</p>
2.1	Анализ ошибок округления в формате	13		3	4	-	-	-	-	-	-	-	6		-	

	с плавающей точкой													
3	Модулярная система счисления	16	5	5	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Модулярная система счисления" материалу.</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Модулярная система счисления и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 271-291 [5], стр. 12-118</p>	
3.1	Модулярная система счисления	16	5	5	-	-	-	-	-	-	6	-		
4	Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами	10	3	4	-	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 13-60</p>	
4.1	Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами	10	3	4	-	-	-	-	-	-	3	-		
5	Достоверные вычисления	11	3	4	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 362-371</p>	
5.1	Достоверные вычисления	11	3	4	-	-	-	-	-	-	4	-		
6	CORDIC алгоритмы	9	3	2	-	-	-	-	-	-	4	-		
6.1	CORDIC алгоритмы	9	3	2	-	-	-	-	-	-	4	-		
7	Высокопроизводительная арифметика	9	3	2	-	-	-	-	-	-	4	-		
7.1	Высокопроизводительная арифметика	9	3	2	-	-	-	-	-	-	4	-		
8	Интервальная арифметика	15.7	5	4	-	-	-	-	-	-	6.7	-	<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе</p>	

8.1	Интервальная арифметика	15.7		5	4	-	-	-	-	-	-	6.7	-	необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Интервальная арифметика" материалу. <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Интервальная арифметика и подготовка к контрольной работе <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 34-37
9	Высокоточные вычисления в модулярной арифметике	11		3	3	-	-	-	-	-	-	5	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [6], стр. 8-32
9.1	Высокоточные вычисления в модулярной арифметике	11		3	3	-	-	-	-	-	-	5	-	
	Зачет с оценкой	0.3		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	108.0		32	32	-	-	-	-	-	0.3	43.7	-	
	Итого за семестр	108.0		32	32	-	-	-	-	-	0.3	43.7	-	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Особенности машинной арифметики с плавающей точкой

1.1. Особенности машинной арифметики с плавающей точкой

Числа с плавающей точкой. Ansi/IEEE формат чисел с плавающей точкой. Основные алгоритмы арифметики с плавающей точкой. Схемы округления. Логарифмическая система счисления. Округления и исключения. Источники ошибок округления. Нарушение законов алгебры. Резкая потеря точности компьютерных вычислений. Причины..

2. Анализ ошибок округления в формате с плавающей точкой

2.1. Анализ ошибок округления в формате с плавающей точкой

Прямой и обратный анализ ошибок округления. Хорошо и плохо обусловленные вычислительные задачи. Примеры. Число обусловленности. Обращение матрицы Гилберта, Адамара.

3. Модулярная система счисления

3.1. Модулярная система счисления

Представление чисел в модулярной системе счисления. Алгоритмы модулярной арифметики. Способы выбора модулей. Прямое и обратное преобразование чисел в молекулярную систему счисления. Модульные и немодульные операции. Достоинства и недостатки модулярной системы счисления. Направления развития модулярной системы счисления. Применения модулярной арифметики. Помехозащищенное кодирование в модулярной арифметике.

4. Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами

4.1. Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами

Вычисление с исключением ошибок округления на основе приведения дробей и модулярной арифметики. Дроби Фарея. Многомодульные вычисления. Ошибка псевдопереполнения. Рост разрядности операндов. Высокоточные начисления по нескольким модулям..

5. Достоверные вычисления

5.1. Достоверные вычисления

Достоверные вычисления. Модулярная арифметика для обнаружения и исправления вычислительных ошибок.

6. CORDIC алгоритмы

6.1. CORDIC алгоритмы

Повороты и псевдоповороты. Основные Cordic итерации. Аппаратная реализация Cordic алгоритмов. Обобщение Cordic алгоритмов. Возможности применения. Деление и умножение чисел на основе Cordic метода.

7. Высокопроизводительная арифметика

7.1. Высокопроизводительная арифметика

Вычислительный конвейер. Мульти-конвейерные вычисления и арифметические выражение. Разрядно- параллельные вычислительные устройства. Энергоэффективные вычислительные устройства.

8. Интервальная арифметика

8.1. Интервальная арифметика

Арифметика интервалов. Достоинства и недостатки интервальных вычислений. Неопределенность результатов интервальных вычислений. Решения систем линейных уравнений в интервальной арифметике с помощью метода Гаусса Зейделя. Вычисление значения полинома в интервальной арифметике.

9. Высокоточные вычисления в модулярной арифметике

9.1. Высокоточные вычисления в модулярной арифметике

Высокоточные вычисления по схеме с отложенным округлением. Распараллеливание высокоточных вычислений по нескольким модулям. Обнаружение выхода за пределы допустимого диапазона. Вычислительные эксперименты на CUDA и на многоядерном процессоре..

3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

1. Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами по одному модулю;
2. Исследование эффективности вычислений с исключение ошибок округления по нескольким модулям;
3. Изучение интервальной арифметики;
4. Изучение работы со специальными числами и длинной арифметики;
5. Реализация целочисленных арифметических операций с длинными числами;
6. Потеря точности при вычислениях с плавающей точкой с числами сильно отличающимися друг от друга.

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)									Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Знать:												
Особенности формата с плавающей точкой, приводящие к резкой потере точности	ИД-1ПК-1	+										Контрольная работа/Вычислительные аномалии Контрольная работа/Плавающая арифметика
Алгоритмы ускоренного выполнения арифметических операций	ИД-3ПК-1			+	+							Лабораторная работа/Исследование эффективности вычислений с исключением ошибок округления по нескольким модулям Лабораторная работа/Реализация целочисленных арифметических операций с длинными числами
CORDIC арифметику и другие арифметики	ИД-3ПК-1						+					Контрольная работа/Высокоточные вычисления
Теорию интервальных вычислений	ИД-3ПК-1					+		+	+	+		Лабораторная работа/Изучение интервальной арифметики
Уметь:												
Анализировать распространение вычислительных погрешностей, проводить прямой и обратный анализ	ИД-1ПК-1		+									Контрольная работа/Вычислительные аномалии Контрольная работа/Плавающая арифметика
Определять вычислительные аномалии в программах, реализующих вычислительные алгоритмы формата с плавающей точкой	ИД-3ПК-1		+									Контрольная работа/Вычислительные аномалии
проводить вычисления в модулярной арифметике	ИД-3ПК-1			+								Контрольная работа/Высокоточные вычисления Лабораторная работа/Исследование эффективности вычислений с исключением ошибок округления по нескольким модулям

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Реализация целочисленных арифметических операций с длинными числами (Лабораторная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Высокоточные вычисления (Контрольная работа)
2. Вычислительные аномалии (Контрольная работа)
3. Изучение интервальной арифметики (Лабораторная работа)
4. Исследование эффективности вычислений с исключением ошибок округления по нескольким модулям (Лабораторная работа)
5. Модулярная арифметика (Контрольная работа)
6. Плавающая арифметика (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №1)

Оценка выставляется по совокупности оценок по отдельным вопросам и задаче

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Грегори, Р. Безошибочные вычисления. Методы и приложения : пер. с англ. / Р. Грегори, Е. Кришнамурти . – М. : Мир, 1988 . – 207 с.;
2. Пospelов, Д. А. Арифметические основы вычислительных машин дискретного действия : учебное пособие для вузов / Д. А. Пospelов . – М. : Высшая школа, 1970 . – 308 с.;
3. Иорданский М. А.- "Компьютерная арифметика", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2020 - (76 с.)
<https://e.lanbook.com/book/132256>;
4. Прикладной интервальный анализ. С примерами по оцениванию параметров и состояний, робастному управлению и роботехнике : пер. с англ. / Л. Жолен, и др. – М. : Ин-т компьют. исслед., 2005 . – 468 с. - ISBN 5-939723-84-5 .;
5. Н. И. Червяков, А. А. Коляда, П. А. Ляхов, М. Г. Бабенко, И. Н. Лавриненко, А. В. Лавриненко- "Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях", Издательство: "Физматлит", Москва, 2017 - (400 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485237>;
6. Оцоков, Ш. А. Структурно-алгоритмические методы организации высокоточных вычислений на основе теоретических обобщений в модулярной системе счисления: 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления; 05.13.15 -

Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети : автореферат диссертации доктора технических наук / Ш. А. Оцоков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М., 2010 . – 39 с. <http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1896>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Visual Studio.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
11. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
13. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
14. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
15. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - [Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/](Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/)

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-501, Лаборатория осветительных приборов и прототипирования каф. "Светотехники"	стол преподавателя, стол, стул, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-517, Лаборатория моделирования и исследования световой среды каф. "Светотехники"	
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения	Е-505, Лаборатория основ светотехники каф.	

промежуточной аттестации	“Светотехники”	
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	Е-517, Лаборатория моделирования и исследования световой среды каф. “Светотехники”	
	Е-519, Лаборатория спектральных и колориметрических измерений каф. “Светотехники”	стол преподавателя, стул, компьютер персональный
	Е-522, Лаборатория физических основ источников оптического излучения каф. “Светотехники”	стол преподавателя, стул
Помещения для консультирования	Е-402, Кабинет сотрудников "ВМСС"	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-403, Склад	стол для работы с документами, шкаф, шкаф для документов, книги, учебники, пособия, дипломные и курсовые работы студентов

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Машинная арифметика в рациональных числах

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Плавающая арифметика (Контрольная работа)
- КМ-2 Вычислительные аномалии (Контрольная работа)
- КМ-3 Модулярная арифметика (Контрольная работа)
- КМ-4 Реализация целочисленных арифметических операций с длинными числами (Лабораторная работа)
- КМ-5 Высокоточные вычисления (Контрольная работа)
- КМ-6 Исследование эффективности вычислений с исключением ошибок округления по нескольким модулям (Лабораторная работа)
- КМ-7 Изучение интервальной арифметики (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	3	7	9	11	12	13	14
1	Особенности машинной арифметики с плавающей точкой								
1.1	Особенности машинной арифметики с плавающей точкой		+	+					
2	Анализ ошибок округления в формате с плавающей точкой								
2.1	Анализ ошибок округления в формате с плавающей точкой		+	+					
3	Модулярная система счисления								
3.1	Модулярная система счисления				+	+	+	+	
4	Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами								
4.1	Вычисления с исключением ошибок округления с рациональными числами					+		+	
5	Достоверные вычисления								
5.1	Достоверные вычисления								+
6	CORDIC алгоритмы								
6.1	CORDIC алгоритмы						+		

7	Высокопроизводительная арифметика							
7.1	Высокопроизводительная арифметика							+
8	Интервальная арифметика							
8.1	Интервальная арифметика							+
9	Высокоточные вычисления в модулярной арифметике							
9.1	Высокоточные вычисления в модулярной арифметике							+
Вес КМ, %:		25	20	10	10	10	10	15