

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

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Архитектура вычислительных систем

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

09.03.04 - Программная инженерия

Направленность образовательной программы

Разработка программно-информационных систем

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11 Архитектура вычислительных систем относится к обязательной части образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-3: Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;	ОПК-3.1: Знает принципы, методы и средства решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности ОПК-3.2: Умеет решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности ОПК-3.3: Имеет навыки подготовки обзоров, аннотаций, составления рефератов, научных докладов, публикаций, и библиографии по научно-исследовательской работе с учетом требований информационной	ОПК-3.1: ЗНАТЬ уровни абстракции вычислительной системы; архитектуру современных ЭВМ; микроархитектуру центрального процессора; архитектуру системы памяти. ОПК-3.2: УМЕТЬ оценивать производительность реализаций алгоритмов и объяснять причины наблюдаемых показателей. ОПК-3.3: ВЛАДЕТЬ навыками анализа, эффективного использования и документирования возможностей вычислительной системы при программировании на языках высокого уровня.	Контрольная работа	Экзамен: Контрольные вопросы

	безопасности			
ПК-4: Способен применять методологии и средствами разработки программного обеспечения	ПК-4.1: Знает современные методологии и технологии разработки ПО ПК-4.2: Умеет использовать современные технологии и средства разработки ПО ПК-4.3: Имеет навыки использования современных технологий разработки ПО	ПК-4.1: ЗНАТЬ понятие и состав архитектуры системы команд. ПК-4.2: УМЕТЬ анализировать код программы на языке ассемблера. ПК-4.3: ВЛАДЕТЬ навыками работы с кодом на языке ассемблера с использованием источников по конкретной архитектуре системы команд.	Контрольная работа	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	58
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора	Всего	

			торные работы), часы		
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
1. Основные понятия и определения. Уровни абстракции электронной вычислительной системы. Фон-Неймановская модель компьютера. Этапы обработки инструкций в ЦП. Микрооперации. Метрики производительности и их применимость. Уравнение производительности ЦП.	14	3	1	4	10
2. Архитектура системы команд. Программируемые места хранения. Режимы адресации. Типы инструкций. Кодирование инструкций. CISC и RISC.	12	5	1	6	6
3. Однопортовый упорядоченный конвейер команд. Принцип конвейерной обработки инструкций. Пример конвейера. Производительность CPU с конвейером. Структурные конфликты. Конфликты данных, их классификация. Пересылка данных (Forwarding). Статическое планирование инструкций. Конфликты управления. Статические методы обработки условных переходов. Статическое предсказание переходов. Расширение конвейера для обработки вещественных операций.	12	4	2	6	6
4. Параллелизм уровня инструкций (ILP). Базовый блок инструкций. Статическая оптимизация с разворачиванием циклов. Зависимости между инструкциями по данным, по именам, по управлению. Граф зависимостей.	11	3	2	5	6
5. Динамическое планирование. Принципы реализации динамического планирования. Использование табло, его структура и контролируемые параметры. Алгоритм Томасуло, особенности конвейера, его использующего.	12	4	2	6	6
6. Дополнительные свойства ЦП. Суперскалярность. Динамическое планирование при суперскалярности. Векторные расширения.	12	4	2	6	6
7. Динамическое предсказание ветвлений. Буфер целей переходов. Буфер предсказания ветвлений. Алгоритм Смита. Двухуровневый механизм динамического предсказания ветвлений с учетом корреляции. Схема MCFarling'a gshare. Гибридные предсказатели.	12	4	2	6	6
8. Архитектура памяти. Уровни иерархии памяти. Кеширование. Принцип локальности. Кэш прямого отображения. Проецирующая функция. Наборно-ассоциативный кэш. Полностью ассоциативный кэш. Политика замещения в кэше. Уменьшение кэш-промахов. Стратегии записи в кэш. Обеспечение когерентности кэш памяти в многопроцессорных системах.	11	3	2	5	6
9. Архитектура системы ввода-вывода. Отображение устройств ввода-вывода в память. Последовательный ввод-вывод. Исключения и прерывания. Обработка исключений. Точные исключения.	10	2	2	4	6
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	32	16	50	58

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные понятия и определения.

Уровни абстракции электронной вычислительной системы. Фон-Неймановская модель компьютера. Этапы обработки инструкций в ЦП. Микрооперации. Метрики производительности и их применимость. Уравнение производительности ЦП.

2. Архитектура системы команд.

Программируемые места хранения. Режимы адресации. Типы инструкций. Кодирование инструкций.

CISC и RISC.

3. Однопортовый упорядоченный конвейер команд.

Принцип конвейерной обработки инструкций. Пример конвейера. Производительность CPU с конвейером. Структурные конфликты. Конфликты данных, их классификация. Пересылка данных (Forwarding). Статическое планирование инструкций. Конфликты управления. Статические методы обработки условных переходов. Статическое предсказание переходов. Расширение конвейера для обработки вещественных операций.

4. Параллелизм уровня инструкций (ILP).

Базовый блок инструкций. Статическая оптимизация с разворачиванием циклов. Зависимости между инструкциями по данным, по именам, по управлению. Граф зависимостей.

5. Динамическое планирование.

Принципы реализации динамического планирования. Использование табло, его структура и контролируемые параметры. Алгоритм Томасуло, особенности конвейера, его использующего.

6. Дополнительные свойства ЦП.

Суперскалярность. Динамическое планирование при суперскалярности. Векторные расширения.

7. Динамическое предсказание ветвлений.

Буфер целей переходов. Буфер предсказания ветвлений. Алгоритм Смита. Двухуровневый механизм динамического предсказания ветвлений с учетом корреляции. Схема MCFarling's gshare. Гибридные предсказатели.

8. Архитектура памяти.

Уровни иерархии памяти. Кеширование. Принцип локальности. Кэш прямого отображения.

Проецирующая функция. Наборно-ассоциативный кэш. Полностью ассоциативный кэш. Политика замещения в кэше. Уменьшение кэш-промахов. Стратегии записи в кэш. Обеспечение когерентности кэш памяти в многопроцессорных системах.

9. Архитектура системы ввода-вывода.

Отображение устройств ввода-вывода в память. Последовательный ввод-вывод. Исключения и прерывания. Обработка исключений. Точные исключения.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "Архитектура вычислительных систем"

(<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=5342>).

Иные учебно-методические материалы: 1. А.В. Кудин, А.В. Линёв. Архитектура и операционные системы параллельных вычислительных систем. Нижний Новгород, 2007.

<http://www.unn.ru/books/resources.html>

2. С.Бастраков, В.Гергель, А.Горшков, Е.Козинов, А.Линев, И.Мееров, А.Сиднев, А.Сысоев. Введение в принципы функционирования и применения современных мультимедийных архитектур (на примере Intel Xeon Phi). <http://www.intuit.ru/studies/courses/10611/1095/info>

3. В.Гуров, В.Чуканов. Архитектура и организация ЭВМ.

<http://www.intuit.ru/studies/courses/60/60/info>

4. В.Гуров. Архитектура микропроцессоров. <http://www.intuit.ru/studies/courses/604/460/info>

5. Д.Северов. Архитектура вычислительных систем и язык ассемблера.

<http://www.intuit.ru/studies/courses/535/391/info>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

Задание 1. Напишите на С и псевдоассемблере код, решающий следующую задачу.

Из двух данных чисел выбрать наименьшее.

Задание 2. Напишите на С и псевдоассемблере код, решающий следующую задачу.

Найти максимальное значение в массиве

Задание 3. Напишите на С и псевдоассемблере код, решающий следующую задачу.

Дано целое число. Возвести его в квадрат, если оно отрицательное, в третью степень, если положительные.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Задание 1. Рассчитайте время выполнения предлагаемого варианта программы и предложите ее улучшенный вариант

Характеристики конвейера

Количество стадий: 5

Пересылка: нет

Степень вычисления адреса перехода: EX (доступен после стадии MEM)

Предсказание условного перехода: не производится

int i,sum,a[10];	200	i
sum=0;	204	sum
for(i=0;i<10;i++){	208	a[0]
sum += a[i];	...	
}	244	a[9]

Предлагаемый вариант

0	MOV R0, 0
4	ST R0, [204]
8	ST R0, [200]
12	CMP R0, 40
16	JGE 44
20	LD R1, [204]
24	LD R2, [R0+208]
28	ADD R1, R2
32	ST R1, [204]
36	ADD R0, 4
40	JMP 12
44	No Operation

Задание 2. Рассчитайте время выполнения предлагаемого варианта программы и предложите ее улучшенный вариант

Характеристики конвейера

Количество стадий: 5

Пересылка: да

Степень вычисления адреса перехода: ID (доступен после стадии ID)

Предсказание условного перехода: "переход произойдет"

```
int i,sum,a[10];           200    i
sum=0;                     204    sum
for(i=0;i<10;i++){        208    a[0]
    sum += a[i];           ...
}                           244    a[9]
```

Предлагаемый вариант

```
0      MOV R0, 0
4      ST R0, [204]
8      ST R0, [200]
12     CMP R0, 40
16     JGE 44
20     LD R1, [204]
24     LD R2, [R0+208]
28     ADD R1, R2
32     ST R1, [204]
36     ADD R0, 4
40     JMP 12
44     No Operation
```

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент получил верный ответ во всех заданиях. При этом студент продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент получил верный ответ во всех заданиях.
очень хорошо	Студент получил верный ответ в большинстве заданий.
хорошо	Студент решил большую часть задач с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент решил большую часть задач с существенными недочетами.
неудовлетворительно	Студент допускает грубые ошибки в решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 несущественными 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 базовых навыков. 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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

сформированности компетенции ПК-3

1. Фон Неймановская модель компьютера.
2. Этапы обработки инструкций в ЦП.
3. Уравнение производительности ЦП.
4. Метрики производительности.
5. Классификация архитектур систем команд по типу программируемых мест хранения.
6. Режимы адресации ЦП.
7. Кодирование инструкций.
8. CISC и RISC.
9. Принцип конвейерной обработки инструкций.
10. Структурные конфликты в конвейере ЦП.
11. Конфликты данных в конвейере ЦП.
12. Конфликты управления в конвейере ЦП.
13. Статические методы обработки условных переходов.
14. Параллелизм уровня инструкций.

15. Обработка исключения конвейером.

16. Расширение конвейера для обработки вещественных операций.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Динамическое планирование с использованием Табло.
2. Динамическое планирование с использованием алгоритма Томасуло.
3. Суперскалярность.
4. Векторные расширения.
5. Буфер целей переходов. Буфер предсказания ветвлений. Алгоритм Смита.
6. Двухуровневый механизм динамического предсказания ветвлений с учетом корреляции.
7. Уровни иерархии памяти. Кеширование.
8. Принцип локальности. Два вида локальности.
9. Виды кеша по типу отображения.
10. Политики замещения в кэше.
11. Стратегии записи в кэш.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент дал развернутый ответ на все вопросы и при этом продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент дал развернутый ответ на все вопросы.
очень хорошо	Студент дал ответ на все вопросы, возможно с незначительными недочетами.
хорошо	Студент ответил на большую часть вопросов с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент ответил на большую часть вопросов с существенными недочетами.
неудовлетворительно	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Кудин А. В. Архитектура и операционные системы параллельных вычислительных систем : учебно-методические материалы по программе повышения квалификации "Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике" : учебно-методическое пособие / А. В. Кудин, А. В. Линев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Образовательно-научный центр "Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое

обеспечение". - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 73 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=825118&idb=0>.

2. Архитектура микропроцессоров / Гуров В.В. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=662831&idb=0>.

3. Новожилов О. П. Архитектура ЭВМ и систем в 2 ч. Часть 1 : учебное пособие / О. П. Новожилов. - Москва : Юрайт, 2023. - 276 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-07717-9. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=847398&idb=0>.

4. Новожилов О. П. Архитектура ЭВМ и систем в 2 ч. Часть 2 : учебное пособие / О. П. Новожилов. - Москва : Юрайт, 2023. - 246 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-07718-6. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=843376&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Введение в принципы функционирования и применения современных мультиядерных архитектур (на примере Intel Xeon Phi) / Гергель В.П., Мееров И.Б., Бастраков С.И., Горшков А.В., Козинов Е.А., Линев А.В., Сиднев А.А., Сысоев А.В. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=662900&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Операционные системы семейства Microsoft Windows, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
Среда разработки семейства Microsoft Visual Studio, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
Microsoft Office (лицензия)
<http://www.intuit.ru>
<http://www.unn.ru/books/resources.html>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 09.03.04 - Программная инженерия.

Автор(ы): Линев Алексей Владимирович.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.