

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 Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 27.08.2025

Рабочая программа дисциплины

Архитектура вычислительных систем

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Системное программирование

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.11 Архитектура вычислительных систем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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
ПК-3: Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники	<p>ПК-3.1: Знает методы анализа и исследования математических моделей в области фундаментальной информатики и информационных технологий</p> <p>ПК-3.2: Умеет определять ключевые свойства и ограничения системы</p>	<p>ПК-3.1: ЗНАТЬ уровни абстракции вычислительной системы; архитектуру современных ЭВМ; архитектуру системы команд; микроархитектуру центрального процессора; архитектуру системы памяти; архитектуру подсистемы ввода-вывода.</p> <p>ПК-3.2: УМЕТЬ оценивать производительность реализаций алгоритмов и объяснять причины наблюдаемых показателей. анализировать код программы на языке ассемблера. ВЛАДЕТЬ навыками работы с кодом на языке ассемблера и эффективного использования возможностей вычислительной системы при программировании на языках высокого уровня.</p>	Контрольная работа	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-ТОП_11: Способен разрабатывать, оптимизировать и	ПК-ТОП_11.1: Разрабатывает низкоуровневый код для встраиваемых систем и	ПК-ТОП_11.1: УМЕТЬ Писать и читать(понимать) код на языке ассемблера.	Контрольная работа	Зачёт: Контрольные

отлаживать системное программное обеспечение	<p>драйверов</p> <p>ПК-ТОП_11.2: Оптимизирует код под ограниченные ресурсы</p> <p>ПК-ТОП_11.3: Работает с ОС, загрузчиками и аппаратурой</p> <p>ПК-ТОП_11.4: Отлаживает системное ПО без ОС</p>	<p>ВЛАДЕТЬ</p> <p>навыками работы с кодом на языке ассемблера.</p> <p>ПК-ТОП_11.2:</p> <p>ЗНАТЬ</p> <p>причины потерь производительности и некоторые методы повышения производительности программ.</p> <p>УМЕТЬ</p> <p>выявлять причины низкой производительности.</p> <p>ПК-ТОП_11.3:</p> <p>ЗНАТЬ</p> <p>Принципы выполнения кода на ЦПУ, взаимодействия ЦПУ с оперативной памятью и внешними устройствами.</p> <p>ПК-ТОП_11.4:</p> <p>ЗНАТЬ методы анализа bare-metal сбоев.</p> <p>ЗНАТЬ форматы бинарных файлов, работу с памятью.</p> <p>УМЕТЬ отлаживать код через специализированные отладчики системного программного обеспечения.</p> <p>УМЕТЬ анализировать дампы памяти, дизассемблированный код.</p>		вопросы
--	---	---	--	---------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	23

Промежуточная аттестация	0 Зачёт
--------------------------	------------

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			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
1. Основные понятия и определения.	11	2	2	4	7
2. Архитектура системы команд	9	2	4	6	3
3. Однопортовый упорядоченный конвейер команд.	9	2	4	6	3
4. Параллелизм уровня инструкций (ILP).	7	2	3	5	2
5. Динамическое планирование	10	2	6	8	2
6. Дополнительные свойства ЦП	5	1	2	3	2
7. Динамическое предсказание ветвлений.	8	2	4	6	2
8. Архитектура памяти.	9	2	5	7	2
9. Архитектура системы ввода-вывода	3	1	2	3	0
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	32	49	23

Содержание разделов и тем дисциплины

Цели и задачи курса:

Целями освоения дисциплины «Архитектура вычислительных систем» являются:

- ознакомление с организацией структуры и функционированием вычислительных машин и систем
- ознакомление с традиционными и перспективными решениями в области компьютерной техники.
- привитие навыков работы в команде;
- развитие способностей к самоорганизации и самообразованию.

Содержание 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.

Типы бенчмарков. Целевая нагрузка, тесты SPEC, тестовые ядра, микробенчмарки. Уравнение производительности ЦП.

2. Архитектура системы команд.

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

CISC и RISC. Архитектура системы команд Risc-V.

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. Параллелизм уровня цикла (LLP).

5. Динамическое планирование.

Принципы реализации динамического планирования. Использование табло, его структура и контролируемые параметры. Алгоритм Томасуло, особенности конвейера, его использующего. Примеры выполнения программ при использовании алгоритмов Табло и Томасуло.

6. Дополнительные свойства ЦП.

Суперскалярность. Динамическое планирование при суперскалярности. Длинное машинное слово (VLIW). Векторные расширения.

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.

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.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 2 ч.

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.

– А.В. Кудин, А.В. Линёв. Архитектура и операционные системы параллельных вычислительных систем. Нижний Новгород, 2007. <http://www.unn.ru/books/resources.html>

– С.Бастраков, В.Гергель, А.Горшков, Е.Козинов, А.Линев, И.Мееров, А.Сиднев, А.Сысоев. Введение в принципы функционирования и применения современных мультиядерных архитектур (на примере Intel Xeon Phi).

<http://www.intuit.ru/studies/courses/10611/1095/info>

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

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

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

– 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 ПК-3:

Задание 1. Постройте временную диаграмму выполнения на упорядоченном конвейере заданной программы. Характеристики конвейера: число ступеней – 5 (IF/ID/EX/МЕМ/WB), пересылка – отсутствует, ранняя обработка инструкции условного перехода – отсутствует, предсказание направления перехода – отсутствует.

```
Код программы на языке программирования С
int i = 2; double Res = 1.0, term = 2.0;
for( i = 2; i < 5; i ++ ){
    Res = Res + term;
    term = term * 2.0;
}
```

Карта памяти

```
1000: i=2
1004: 5
1008: Res=1.0
1016: term=2.0
1024: 2.0
```

Код программы на ассемблере-подобном языке программирования

```
00: LD [1000], R1
04: LD [1004], R2
08: LD [1008], F1
12: LD [1016], F2
16: LD [1024], F3
20: FADD F1, F2, F1
24: FMUL F2, F3, F2
28: INC R1
32: CMP R1, R2
36: JL [-20]
40: ST F1, [1008]
44: ST F2, [1016]
448: ST R1, [1000]
```

Задание 2. Постройте временную диаграмму выполнения на упорядоченном конвейере заданной программы. Характеристики конвейера: число ступеней – 5 (IF/ID/EX/МЕМ/WB), пересылка – есть, ранняя обработка инструкции условного перехода – есть, предсказание направления перехода – переход не произойдет.

```
Код программы на языке программирования С
int i = 2; double Res = 1.0, term = 2.0;
```

```

for( i = 2; i < 5; i ++ ){
  Res = Res + term;
  term = term * 2.0;
}

```

Карта памяти

```

1000: i=2
1004: 5
1008: Res=1.0
1016: term=2.0
1024: 2.0

```

Код программы на ассемблере-подобном языке программирования

```

00: LD [1000], R1
04: LD [1004], R2
08: LD [1008], F1
12: LD [1016], F2
16: LD [1024], F3
20: FADD F1, F2, F1
24: FMUL F2, F3, F2
28: INC R1
32: CMP R1, R2
36: JL [-20]
40: ST F1, [1008]
44: ST F2, [1016]
448: ST R1, [1000]

```

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-ТОП_11:

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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 ПК-3

1. Фон Неймановская модель компьютера.
2. Этапы обработки инструкций в ЦП.
3. Уравнение производительности ЦП.
4. Метрики производительности вычислительной системы.
5. Кодирование инструкций.
6. CISC и RISC.
7. Принцип конвейерной обработки инструкций.
8. Структурные конфликты в конвейере ЦП. Конфликты управления.
9. Конфликты данных в конвейере ЦП.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-ТОП_11

1. Классификация архитектур систем команд по типу программируемых мест хранения.
2. Режимы адресации ЦП.
3. [Конвейер с поддержкой операций с вещественными числами.](#)
4. [Динамическое планирование. алгоритм Томасуло.](#)
5. [Иерархия памяти ЭВМ. Архитектура кэша.](#)

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении

Оценка	Критерии оценивания
	стандартных задач.

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

Основная литература:

1. Максимов Николай Вениаминович. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем : учеб. для студентов учреждений сред. проф. образования, обучающихся по группе специальностей "Информатика и вычисл. техника". - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Форум, 2010. - 512 с. : ил. - (Профессиональное образование). - На обл. и корешке кн. загл.: Архитектура ЭВМ и вычислительные системы. - ISBN 978-5-91134-374-3 : 169.95., 14 экз.

Дополнительная литература:

1. Паттерсон Дэвид. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем = Computer Organization and Design. - 4-е изд. - СПб. : Питер, 2012. - 784 с. : ил. - (Классика Computer Science). - ISBN 978-5-459-00291-1 : 500.00., 1 экз.

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

3. 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>.

4. 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., Козинев 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 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Линев Алексей Владимирович.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25.06.2025, протокол № Протокол №11.