

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

# ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Утверждено  
Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2014

УДК 004.31-181.48(075.8)

Э 949

Коллектив авторов

*В.П. Маркова, С.Е. Киреев, М.Б. Остапкевич, В.А. Перепелкин*

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, *Я.И. Фет*

канд. техн. наук, доцент *В.Д. Корнеев*

Работа подготовлена

на кафедре параллельных вычислительных технологий

Э 949     **Эффективное программирование современных микропроцессоров:** учеб. пособие / В.П. Маркова, С.Е. Киреев, М.Б. Остапкевич, В.А. Перепелкин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 148 с.

ISBN 978-5-7782-2391-2

Пособие посвящено изучению особенностей архитектуры современных микропроцессоров, которые влияют на скорость выполнения прикладных программ. Для закрепления теоретического материала по курсу «Архитектура ЭВМ и ВС» предлагаются практические работы. Их цель – сформировать практические навыки разработки эффективных программ с учетом организации иерархической памяти, наличия векторных расширений и других особенностей архитектуры.

Учебное пособие предназначено для студентов I курса факультета ФПМИ направлений 010400.62 «Прикладная математика и информатика» и 010500.62 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем».

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ**

**Учебное пособие**

Редактор *И.Л. Кескевич*

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*

Корректор *И.Е. Семенова*

Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*

Компьютерная верстка *А.В. Сухарева*

---

Подписано в печать 07.02.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 200 экз.  
Уч.-изд. л. 8,6. Печ. л. 9,25. Изд. № 180/13. Заказ № 238. Цена договорная

---

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

**УДК 004.31-181.48(075.8)**

**ISBN 978-5-7782-2391-2**

© Коллектив авторов, 2014

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Введение в архитектуру компьютера.....</b>	<b>3</b>
1.1. Определение архитектуры и организации компьютера .....	3
1.2. Архитектурные принципы построения компьютера фон Неймана.....	5
1.3. Компьютер фон Неймана, его узкие места и усовершенствования .....	6
1.4. Основные компоненты современного компьютера .....	10
Контрольные вопросы .....	12
<b>2. Организация подсистемы памяти .....</b>	<b>13</b>
2.1. Типичная схема иерархии памяти в современном компьютере .....	16
2.2. Организация кэш-памяти .....	18
2.2.1. Аппаратная и программная предвыборка.....	20
2.2.2. Алгоритмы отображения адресов оперативной памяти в строки кэш-памяти .....	23
2.3. Примеры работы с кэш-памятью.....	29
2.3.1. Обработка матриц по строкам .....	29
2.3.2. Обработка матриц по столбцам с буксованием .....	31
2.3.3. Обработка матриц по столбцам без буксования .....	33
2.4. Виртуальная память .....	34
Контрольные вопросы .....	37
<b>3. Введение в параллельную обработку .....</b>	<b>39</b>
3.1. Конвейерное выполнение.....	39
3.2. Пространственный параллелизм .....	45
3.2.1. Параллелизм на уровне данных.....	45
3.2.2. Параллелизм на уровне команд.....	49
3.2.3. Параллелизм на уровне потоков.....	54
3.3. Пример процессора с различными видами параллелизма .....	56
Контрольные вопросы .....	58
<b>4. Инструментальные средства разработки программ .....</b>	<b>59</b>
4.1. Оптимизирующий компилятор.....	59
4.1.1. Уровни оптимизации компилятора GCC.....	61
4.1.2. Примеры оптимизирующих преобразований в компиляторе GCC .....	63
4.2. Инструментальные средства отладки программ.....	66
4.2.1. Принципы работы отладчика.....	66

4.2.2. Отладчик GNU GDB .....	69
4.3. Средства для измерения времени выполнения программы .....	72
4.3.1. Методика измерения времени выполнения прикладной программы.....	72
4.3.2. Системные таймеры.....	76
4.3.3. Способы получения показаний некоторых таймеров.....	78
Контрольные вопросы .....	82
<b>5. Рекомендации по эффективному программированию с учетом особенностей подсистемы памяти.....</b>	<b>83</b>
5.1. Роли программиста, компилятора и компьютера в оптимизации программ и их выполнения.....	83
5.2. Эффективное программирование с учетом памяти .....	86
5.2.1. Данные на границе блоков памяти.....	87
5.2.2. Разреженное размещение данных в памяти .....	89
5.2.3. Данные, смещенные на величину, кратную размеру банка кэш-памяти .....	92
5.2.4. Нарушение локальности во времени обращений к памяти .....	96
5.2.5. Неупорядоченный обход данных в памяти .....	97
Контрольные вопросы .....	99
<b>Приложение 1. Средства разработки программ.....</b>	<b>101</b>
П1.1. Определение времени работы прикладных программ.....	101
П1.2. Изучение оптимизирующего компилятора.....	103
<b>Приложение 2. Эффективное программирование .....</b>	<b>105</b>
П2.1. Влияние кэш-памяти на время обработки массивов.....	105
П2.2. Измерение степени ассоциативности кэш-памяти.....	110
П2.3. Устранение буксования кэш-памяти .....	114
П2.4. Совместный доступ нескольких потоков к данным в общей памяти .....	118
<b>Приложение 3. Введение в архитектуру x86/x86-64 .....</b>	<b>123</b>
<b>Приложение 4. Векторизация вычислений .....</b>	<b>128</b>
Список терминов.....	135
Библиографический список .....	145