

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Основные архитектурные принципы ЭВМ

Конспект лекций по курсу «Организация ЭВМ и ВС»

Санкт-Петербург

2014

Глава 1. Архитектура и организация ЭВМ, их виды и основные элементы.

1.1. Понятие ЭВМ

Существует множество различных формулировок понятия ЭВМ (электронная вычислительная машина)¹ от достаточно простых и понятных до вычурных, многие из которых, однако, схожи по своей сути.

1. *Компьютер* – это прибор, способный производить вычисления и принимать решения в миллионы или даже в миллиарды раз быстрее человека. Компьютеры обрабатывают данные под управлением наборов команд, называемых компьютерными программами [\[13\]](#).
2. *Цифровой компьютер* – это машина, которая может решать задачи, выполняя данные ей команды. Последовательность команд, описывающих решение определенной задачи, называется программой [\[16\]](#).
3. *ЭВМ* – комплекс электронного оборудования, выполняющий интерпретацию программ в виде физических процессов, назначением которых является реализация математических операций над информацией, представляемой в цифровой форме [\[2\]](#).
4. *ЭВМ* – искусственная (инженерная) система, предназначенная для выполнения вычислений на основе алгоритмов. Принципы построения ЭВМ определяются с одной стороны назначением ЭВМ и с другой – элементной базой (набором элементов, которые используются для создания ЭВМ). Основным назначением ЭВМ является выполнение вычислений на основе алгоритмов, и поэтому свойства алгоритмов предопределяют принципы построения ЭВМ или, точнее, ее

¹ В дальнейшем изложении термины «ЭВМ» и «компьютер» используются как синонимы.

архитектуру (организацию) [\[4\]](#).

Краткие сведения о составе ЭВМ

Независимо от принадлежности любой ЭВМ к некоторому классу или типу, ее в первом приближении можно разделить на две части: центральную и периферийную.

Центральная часть образует ядро ЭВМ и включает в себя центральный процессор, основную память и, возможно, каналы (процессоры) ввода-вывода.

Периферийная часть предназначена для связи ядра ЭВМ с внешним миром (пользователями, объектами управления и т. п.) и представляет собой набор разнообразных периферийных устройств (ПУ).

Организация обмена между ядром ЭВМ и ПУ возлагается на систему ввода-вывода, которая представляет собой совокупность аппаратных (hardware) и программных (software) средств. К аппаратным средствам системы ввода-вывода в первую очередь относятся контроллеры (адаптеры) ПУ. Основным назначением контроллеров является управление ПУ и организация взаимодействия между конкретными ПУ и центральной частью ЭВМ. Основу программных средств системы ввода-вывода составляют драйверы ПУ, которые входят в состав системного программного обеспечения (ПО) ЭВМ.

1.2. Понятие архитектуры и организации ЭВМ

В силу неоднозначности трактовки термина «архитектура ЭВМ», а также многообразия различных элементов, включаемых в это понятие, необходимо привести для сравнения несколько формулировок различных авторов.

1. Сложность современных вычислительных машин закономерно привела

к понятию *архитектуры вычислительной машины*, охватывающей комплекс общих вопросов ее построения, существенных в первую очередь для пользователя, интересующегося главным образом возможностями машины, а не деталями ее технического исполнения.

Круг вопросов, подлежащих решению при разработке архитектуры ЭВМ можно условно разделить на вопросы общей структуры, организации вычислительного процесса и общения пользователя с машиной, вопросы логической организации представления, хранения и преобразования информации и вопросы логической организации совместной работы различных устройств, а также аппаратных и программных средств машины[8].

2. *Архитектура* – описание вычислительной системы на некотором общем уровне, включающее описание пользовательских возможностей программирования, системы команд и средств пользовательского интерфейса, организации памяти и системы адресации, операций ввода-вывода и управления и т.д. Общность архитектур разных ЭВМ обеспечивает их совместимость с точки зрения пользователя. [7]
3. *Архитектура* – общий термин, обозначающий структуру компьютерной системы или некоторой ее части. Кроме того, к данному понятию относится структура системы программного обеспечения (например, операционной системы), а также комбинация аппаратного и базового программного обеспечения, поддерживающего объединение компьютеров в сеть. Под *архитектурой* компьютера понимается как его общая структура в целом, так и организация его отдельных элементов, необходимые для обеспечения его работоспособности. Таким образом, данный термин охватывает и компьютер, и кристаллы схемы и системные программы – кроме, как правило, приложений, нужных для выполнения конкретных задач [11].
4. *Архитектура ЭВМ* – абстрактное представление или определение

физической системы (микропрограммы и комплекса аппаратных средств) с точки зрения программиста, разрабатывающего программы на машинно-ориентированном языке, или разработчика компилятора.² Архитектура определяет принципы организации вычислительной системы и функции процессора и не отражает такие проблемы, как управление и передача данных внутри процессора, конструктивные особенности логических схем и специфика технологии их производства [5].

5. Ранее под термином «архитектура компьютера» подразумевалось описание структуры данных и регистров, необходимое для уяснения системы команд ЭВМ и интерпретации команд. Иначе говоря, этим понятием охватывались те минимальные знания, которые могли понадобиться программисту для составления программы на машинном языке. Однако распространение виртуальной памяти, а также расширение многообразия и повышение эффективности средств управления вводом-выводом явились причиной расширения блоков компьютера, знание которых становилось необходимым для эффективного составления программ. В настоящее время под *архитектурой* обычно понимается структурная организация компьютера в виде совокупности функциональных модулей и определенных связей между ними [6].

6. *Архитектура ЭВМ* – это абстрактное представление ЭВМ, которое отражает ее структурную, схемотехническую и логическую организацию. Понятие архитектуры является комплексным и включает в себя:

- структурную схему ЭВМ;
- средства и способы доступа к элементам структурной схемы (точнее

² *Компилятор* – программа, осуществляющая преобразование пользовательских программ с языков высокого уровня на машинный язык, язык системы команд.

говоря, структуры³) ЭВМ;

- организацию и разрядность интерфейсов ЭВМ;
- набор и доступность регистров;
- организацию и способы адресации памяти;
- способы представления и форматы данных ЭВМ;
- набор машинных команд ЭВМ;
- форматы машинных команд;
- обработку нештатных ситуаций (прерываний).

Как видно, понятие архитектуры включает в себя практически всю необходимую для программиста информацию о компьютере [\[12\]](#).

Исходя из вышеизложенного, сделаем обобщение понятия «архитектура ЭВМ». Под *архитектурой ЭВМ* обычно понимается ее представление и описание возможностей с точки зрения пользователя, разрабатывающего программы на машинно-ориентированном языке (ассемблере). Архитектура, как правило, отображает те аспекты структуры и принципов функционирования ЭВМ, которые являются видимыми для пользователя⁴ и, следовательно, для разрабатываемых им программ.

Термины *архитектура ЭВМ* и *организация ЭВМ* во многом являются подобными, в связи с чем многие специалисты используют их как синонимы. Одним из сторонников такого подхода является Э. Таненбаум: «Архитектура связана с аспектами, которые видны программисту. Например, сведения о том, сколько памяти можно использовать при написании программы, - часть архитектуры. Аспекты разработки (например, какая технология используется при создании памяти) не являются частью архитектуры. Изучение того, как разрабатываются те части компьютерной системы, которые видны

³ Ред. П. С. Довгого.

⁴ В дальнейшем изложении под *пользователем* будем понимать *программиста, разрабатывающего программы на машинно-ориентированном языке (ассемблере)*.

программистам, называется изучением компьютерной архитектуры. Термины «компьютерная архитектура» и «компьютерная организация» означают в сущности одно и то же». [16] Однако, существует и другой подход, при котором эти понятия, если не противопоставляются, то, по крайней мере, различаются. Это различие состоит в том, что если понятие *архитектура ЭВМ* определяет возможности ЭВМ, то понятие *организация ЭВМ* определяет, как эти возможности реализованы в рамках конкретных моделей ЭВМ. Одним из сторонников такого подхода является В. Столлингс:

«При описании компьютерных систем принято различать их *структурную организацию* и *архитектуру*. Хотя точное определение этим понятиям дать довольно трудно, среди специалистов существует общепринятое мнение о смысле этих понятий и различий между ними.

Термин *архитектура компьютерной системы* (или компьютера) относится к тем характеристикам системы, которые доступны извне, т. е. со стороны программы, или, с другой точки зрения, оказывают непосредственное влияние на логику выполнения программы. Под термином *структурная организация компьютерной системы* подразумевается совокупность операционных блоков (устройств) и их взаимосвязей, обеспечивающая реализацию спецификаций, заданных архитектурой компьютера. В число характеристик архитектуры входят набор машинных команд, формат разрядной сетки для представления данных разных типов, механизм обращения к средствам ввода-вывода и метод адресации памяти. Характеристики структурной организации включают скрытые от программиста детали аппаратной реализации системы – управляющие сигналы, аппаратный интерфейс между компьютером и периферийным оборудованием, технологию функционирования памяти.» [15]

Понятие *организация ЭВМ* используется в двух аспектах: структурная организация и функциональная организация [4]. *Структурная организация* определяет, как устроена ЭВМ, т.е. определяет ее структуру на уровне

устройств, входящих в состав ЭВМ, и организации связей между этими устройствами (аппаратные интерфейсы). *Функциональная организация* определяет, в свою очередь, принципы функционирования ЭВМ, т.е. как в ней протекают вычислительные процессы при решении различных задач. При совместном рассмотрении обоих аспектов принято говорить о *структурно-функциональной организации ЭВМ*.

В связи с тем, что возможности ЭВМ постоянно развиваются и совершенствуются, то и понятие «архитектура ЭВМ» включает в себя все большее число аспектов, отражающих принципы построения и функционирования ЭВМ.

1.3. Виды архитектуры ЭВМ и их составные элементы

Одним из подходов к уровням представления архитектуры ЭВМ является ее разделение на два вида (класса):

- *программная архитектура*, которая включает в себя аспекты, видимые программистом.
- *аппаратная архитектура*, которая включает в себя аспекты, невидимые программистом (прозрачные как для программиста, так и для программ).

Одним из сторонников подобного подхода к классификации архитектуры является В. Л. Григорьев [\[10\]](#).

В связи с принятым во всем мире делением программистов на прикладных и системных, программную архитектуру также можно разделить на два уровня: *прикладную* и *системную*.

К основным элементам (аспектам) прикладной архитектуры ЭВМ, как правило, относятся:

- 1) типы, форматы и способы представления данных, аппаратно поддерживаемые в ЭВМ;

- 2) регистровая структура процессора;
- 3) адресная структура основной памяти и принципы размещения информации в ней, принципы формирования физического адреса;
- 4) режимы адресации;
- 5) структуры и форматы машинных команд;
- 6) система команд.

Все аспекты прикладной архитектуры естественным образом входят и в системную архитектуру.

К дополнительным аспектам системной архитектуры, как правило, относятся:

- 1) организация прерываний;
- 2) организация ввода/вывода;
- 3) организация виртуальной памяти (сегментная и страничная), принципы преобразования логического (виртуального) адреса в физический;
- 4) организация защиты памяти;
- 5) организация многозадачного (многопрограммного) режима работы ЭВМ, организация переключения задач (программ);
- 6) поддержка механизмов отладки программ на аппаратном уровне;
- 7) поддержка механизмов проверки (тестирования) отдельных блоков процессора на аппаратном уровне.

К основным аспектам аппаратной архитектуры, как правило, относятся:

- 1) структурная организация ЭВМ, включающая в себя номенклатуру устройств, входящих в состав ЭВМ, и организацию связей между устройствами на уровне аппаратных интерфейсов;
- 2) структурная организация процессора, включающая в себя реализацию

конвейера команд и арифметико-логического устройства и принципы построения блока микропрограммного управления;

- 3) организация кэш–памяти;
- 4) организация основной памяти на физическом уровне и, в частности, принципы построения многомодульной памяти с расслоением обращений (чередованием адресов);
- 5) представление аппаратного интерфейса на физическом уровне.

В соответствии с рассмотренным выше принципом разделения понятий *архитектура ЭВМ* и *организация ЭВМ*, а также с разделением архитектуры ЭВМ на программную и аппаратную, можно сопоставить понятия *аппаратная архитектура ЭВМ* и *структурная организация ЭВМ*.

Основные элементы архитектуры и структурной организации представлены на рис 1.

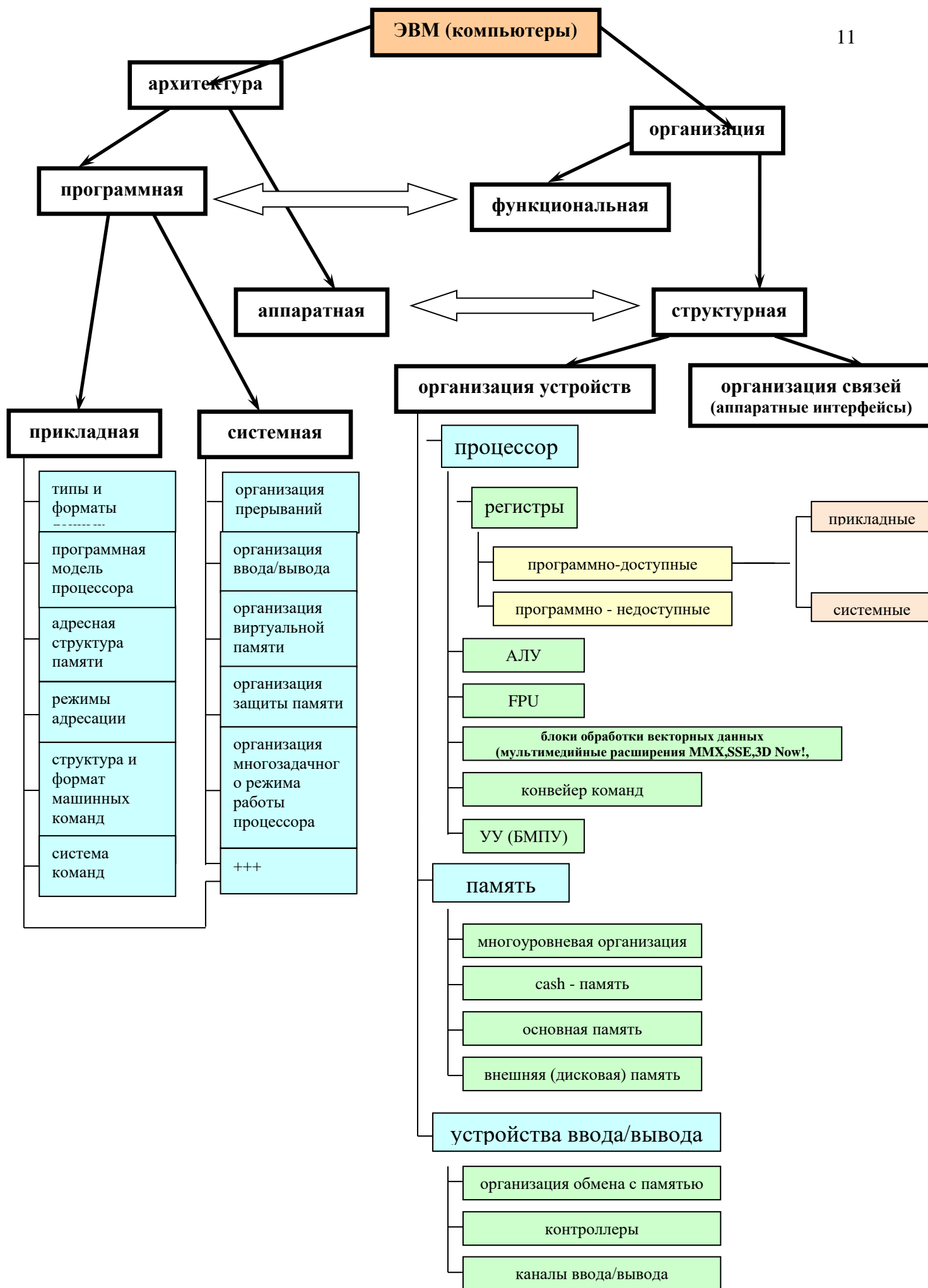


Рис.1.Обобщенное представление архитектуры, организации ЭВМ и их элементов.

1.4.1. Типы, форматы и способы представления данных, аппаратно поддерживаемые в ЭВМ

Для многих компьютерных систем основной задачей является обработка данных различного типа, которые внутри компьютера должны быть представлены в определенных форматах.

Под *форматом данных* понимают внутреннее представление данных: разрядность и назначение битов. Например, для знаковых чисел крайний левый бит формата отводится для знака (0 соответствует знаку «+», 1 соответствует знаку «-»).

Для обозначения форматов *стандартной* длины принято использовать следующие наименования:

- *байт* (*B* – byte) – 8 бит;
- *слово* (*W* – word) – 16 бит;
- *двойное слово* (*DW* – double word) – 32 бита.

Одним из важных вопросов в отношении представления данных в ЭВМ является вопрос о том, существует ли аппаратная поддержка для конкретного типа данных. Под *аппаратной поддержкой* подразумевается наличие в системе команд ЭВМ некоторого множества машинных команд, предназначенных для обработки данных определенного типа, представленных в соответствующих форматах.

К основным типам данных, используемых в ЭВМ, относятся *числовые данные* (числа), *символьные данные* и *логические значения*.

Основными видами числовых данных являются *целые числа* – числа, представленные в формате с фиксированной точкой (Fixed Point), и *действительные числа* – числа, представленные в формате с плавающей точкой (Floating Point).

Целые числа, в свою очередь, могут быть представлены как *знаковые* и *беззнаковые*. Отличительной особенностью представления знаковых целых чисел в ЭВМ является использование дополнительного кода. Аппаратная поддержка целых чисел реализуется на уровне арифметических команд. При этом для их представления используются стандартные форматы (B, W, DW). Например, в системе команд процессоров Intel 80x86 имеются специальные парные команды умножения – MUL / IMUL и деления – DIV / IDIV, для выполнения операций над беззнаковыми (MUL, DIV) и знаковыми (IMUL, IDIV) числами.

В формате чисел с плавающей точкой выделяются: бит знака, поле мантиссы, поле порядка. Аппаратная поддержка чисел с плавающей точкой реализована на уровне арифметических команд блока FPU⁵. Числа с плавающей точкой представляются в трех различных форматах:

- короткий – 32 бита;
- длинный – 64 бита;
- расширенный – 80 бит.

Для представления символьных данных каждый символ (цифра, буква, знак и т. д.) кодируется с помощью одного байта. В настоящее время преимущественное распространение получил код ASCII⁶.

1.4.2. Регистровая структура процессора

Регистровая структура процессора включает в себя набор программно доступных регистров. Достаточно часто этот аспект прикладной архитектуры называется *программной моделью процессора*. Фактически рассмотрение этого аспекта связано с перечнем программно доступных регистров процессора и описанием их назначения. Программная доступность регистра означает, что со стороны программы с использованием специальных команд

⁵ FPU – Floating Point Unit.

⁶ ASCII – American Standard Code for Information Interchange.

может осуществляться обращение к этому регистру либо по чтению, либо по записи.

Практически любой процессор современных ЭВМ содержит внутреннюю память для хранения операндов и адресов, а также результатов выполняемых операций. Внутреннюю память обычно называют регистровой, т. к. она состоит из отдельных прямо адресуемых регистров, или сверхоперативной, т. к. время доступа к ней намного меньше, чем к оперативной.

В программной модели процессора Intel 8086 регистровая память включает в себя восемь 16-ти разрядных регистров для хранения операндов и адресов, называемых регистрами общего назначения (РОН). В старших моделях, включая Pentium, число РОН не изменилось, но увеличилась их разрядность до 32 бит.

Кроме того, в программную модель входит регистр состояний, в котором отражается текущее состояние процессора. В процессорах Intel 80x86 регистр состояний называется регистром флагов в связи с тем, что отдельные биты этого регистра называются флагами.

Одним из важнейших регистров, входящих в программную модель любого процессора, является счетчик команд (программный счетчик). В терминологии фирмы Intel этот регистр называется указателем команды (Instruction Pointer – IP). С помощью этого регистра осуществляется управление порядком следования команд при выполнении программы. При выполнении текущей команды в IP находится адрес следующей команды программы.

Общее число программно доступных регистров в процессоре Intel 8086 – 14, в последующих моделях процессора Intel 80x86 их число увеличивается практически в два раза за счет появления системных регистров.

1.4.3. Адресная структура основной памяти и принципы размещения информации в ней. Принципы формирования физического адреса

Иначе этот аспект определяется в виде: «Память, как она видна программисту». Минимальная адресуемая единица в памяти – байт, в связи с этим для программы память представляется в виде массива последовательно адресуемых байтов.

При размещении байтов, составляющих некоторое слово или двойное слово, в адресном пространстве памяти во всех ПК на базе процессоров Intel 80x86 реализован следующий принцип: «Байт с меньшей значимостью размещается по меньшему адресу». В соответствии с этим принципом, адрес любой единицы информации фиксированной длины, например, слова или двойного слова, задается адресом крайнего правого (младшего) байта (рис. 1).

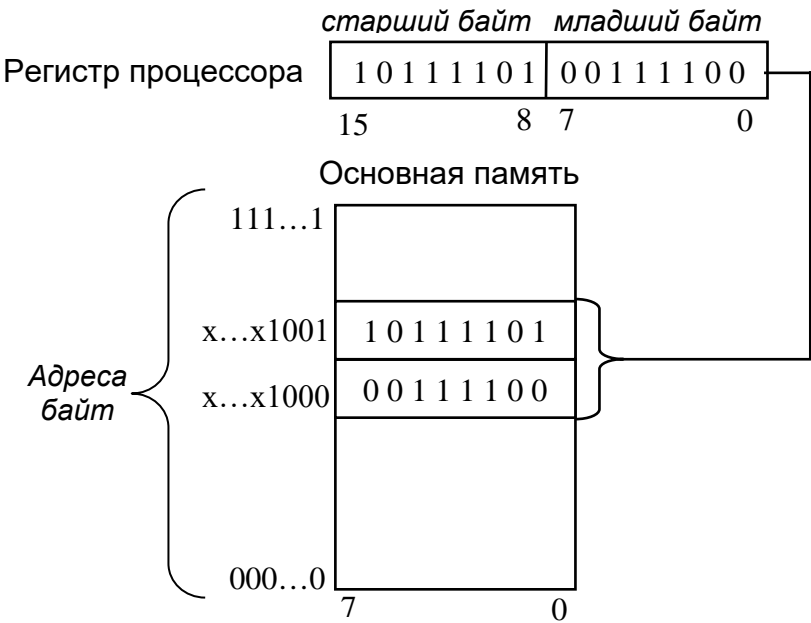


Рис.1

Под физическим адресом понимается адрес, по которому производится обращение к физической памяти. Этот адрес (физический), как правило, формируется из программного адреса на основе механизмов сегментации и, возможно, страничного преобразования. В процессоре Intel 8086

используется простейшая модель сегментированной памяти, на основе которой физический адрес формируется из двух компонент: базового адреса сегмента (выбирается из соответствующего сегментного регистра) и внутрисегментного смещения (программного адреса).

1.4.4. Режимы адресации

При выполнении любой машинной команды, производящей заданное действие (сложение, вычитание, ...), числа, над которыми производится операция, называются операндами и задаются своими адресами. С помощью адреса определяется местоположение операнда в памяти (основной или регистровой). Режимы адресации определяют способ формирования программного адреса операнда (результата) на основе информации, находящейся в адресной части команды.

Структура машинной команды, как правило, состоит из двух основных частей: операционной (обязательной) и адресной (необязательной).

Операционная часть команды определяет тип операции, инициируемой в процессоре, а точнее в АЛУ, при выполнении данной машинной командой. В связи с этим операционная часть команды обычно называется кодом операции (OpC – Operation Code). Отдельные биты или поля кода операций могут задавать длину (формат) операндов, местоположение результата операции (по первому или второму адресу) и т.п. В простейшем случае машинная команда состоит из единственного кода операции.

Разрядность кода операции определяется мощностью системы команд, реализуемой в рамках данного процессора. Так, например, в системе команд процессоров семейства Intel 80X86 код операции обычно занимает в команде один байт, хотя есть команды с двухбайтным кодом операции.

В *адресной части* команды задается информация, определяющая местоположение операндов и, возможно, результата данной операции. По

информации в адресной части команды с использованием того или иного режима адресации определяются так называемые программные адреса операндов и результата, которые в дальнейшем преобразуются в физические адреса. Для команд переходов адресная часть команды задает адрес перехода.

Простейшими режимами адресации являются прямая и косвенная. При использовании прямой адресации, в адресной части команды задается собственно адрес операнда. При использовании косвенной адресации в адресной части команды задается адрес адреса операнда, т. е. адрес ячейки памяти или регистра, в которой (котором) находится собственно адрес операнда.

1.4.5. Структуры и форматы машинных команд

Структура машинной команды задает основные части команды и определяет их назначение. В свою очередь, формат машинной команды определяет разрядность как всей команды, так и ее отдельных частей (полей).

В зависимости от количества адресов, используемых в машинной команде, команды разделяются на:

- безадресные;
- одноадресные;
- двухадресные;
- трехадресные.

В зависимости от преимущественного использования некоторого числа адресов в машинных командах, системы команд и, соответственно, сами ЭВМ, их использующие, также разделяются на:

- нуль – адресные;
- одноадресные;
- двухадресные;

- трехадресные.

Систему команд процессоров Intel 80x86 принято относить к двухадресным системам команд.

В двухадресной команде для адресации результата операции используется адрес одного из операндов, называемого приемником (destination – dst). Второй операнд команды называется источником (source – src). В соответствии с этим любая двухадресная команда представляется в виде: $dst = dst * src$ (* – знак операции).

Для процессора Intel 8086 длина машинной команды может составлять от 1 до 6 байт. Однобайтная машинная команда содержит единственный байтный код операции.

1.4.6. Система команд

Основной характеристикой системы команд любой ЭВМ является ее мощность, т. е. число разнообразных машинных команд, которые можно использовать при программировании на ассемблере. Все машинные команды, образующие систему команд процессора, принято разделять на отдельные классы по их функциональному назначению. К основным классам машинных команд относятся:

- арифметические;
- логические;
- команды управления программой (переходы, циклы, вызовы, возвраты);
- команды пересылки данных и адресов.

Система команд базовой модели Intel 8086 включает в себя 113 различных мнемкокодов. С учетом последующих расширений системы команд в процессорах Pentium ее мощность составляет для модели Pentium IV более 500 команд [\[14\]](#).

В зависимости от мощности используемой системы команд выделяют два вида процессоров:

- CISC⁷;
- RISC⁸.

Процессоры семейства Intel 80x86 представляют собой классическое направление компьютеров с CISC–архитектурой.

При зарождении RISC–архитектуры (начало 70-х годов) она действительно соответствовала своему наименованию (мощность системы команд составляла не более 100 различных типов команд, в то время как CISC–архитектура имела мощность системы команд до 300 команд). Современные модели RISC–процессоров имеют мощность системы команд, не уступающую CISC. В настоящее время основным признаком RISC–архитектуры является не столько сокращение набора команд, сколько стремление к выполнению подавляющего большинства команд за один машинный такт⁹.

Под *машинным тактом* понимается интервал времени между двумя последовательными синхросигналами, поступающими от генератора и задающими темп работы основных схем процессора. Принято считать, что элементарные действия, выполняемые процессором за один такт, лишь в простейшем случае соответствуют одной машинной команде, и носят название *микрооперации*. К простейшим микрооперациям можно отнести пересылку между двумя регистрами, сложение (вычитание) в АУ и т.п.

В процессорах с RISC–архитектурой понятие микрооперация (микрокоманда) становится фактически тождественной понятию машинной

⁷ Complex Instruction Set Computer – компьютер с полным набором команд. Подробнее см. в главе 7.

⁸ Reduced Instruction Set Computer – компьютер с сокращенным набором команд. Подробнее см. в главе 7.

⁹ Длительность машинного такта – величина, обратная тактовой частоте. Тактовая частота является одной из основных характеристик процессора и определяет его быстродействие.

операции (команды).

Литература

1. Дж. Айлиф Принципы построения базовой машины./ Пер с англ. – М.: «Мир», 1973.
2. Майоров С. А., Новиков Г. И. Принципы организации цифровых машин. – Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1974.
3. Королев Л. Н. Структуры ЭВМ и их математическое обеспечение. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. лит., 1978.
4. Майоров С. А., Новиков Г. И. Структура электронных вычислительных машин. – Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1979.
5. Майерс Г. Архитектура современных ЭВМ: В 2-х кн. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985.
6. Компьютеры на СБИС: В 2-х кн. Пер. с японск. / Мотоока Т., Томита С., Танака Х. и др. – М.: Мир, 1988.
7. Толковый словарь по вычислительным системам / Под ред. В. Иллинуорта и др.: Пер. с англ. А. К. Белоцкого и др.; Под ред. Е. К. Масловского. – М.: Машиностроение, 1990.
8. Каган Б. М. Электронные вычислительные машины и системы: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
9. Амамия М., Танака Ю. Архитектура ЭВМ и искусственный интеллект: Пер. с японск. – М.: Мир, 1993.
10. Григорьев В. Л. Микропроцессор i486. Архитектура и программирование: В 4-х кн. – М.: ГРАНАЛ, 1993.
11. Microsoft Press Толковый словарь по вычислительной технике / Пер. с англ. – М.: Издательский отдел «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1995.

12. В. Юров Assembler – СПб.: Питер, 2000.
13. Харви Дейтел, Пол Дейтел Как программировать на C++: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Изд-во БИНОМ», 2000.
14. Гук М., Юров В. Процессоры Pentium 4, Athlon и Duron. – СПб.: Питер, 2001.
15. Столлингс Вильям Структурная организация и архитектура компьютерных систем, 5-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2002.
16. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. – СПб.: Питер, 2002.
17. Von Neumann J., Brucks, Goldstine “Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument”, 1946.