

**Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины**

Физический факультет

«Архитектура и ПО вычислительных систем»

Лекция – Структура современной ВС (Оперативная память)

Лектор – ст. преподаватель Грищенко В.В.

Оперативная память - это рабочая область для процессора компьютера, в которой во время работы компьютера хранятся программы и данные. Оперативная память часто рассматривается как временное хранилище, потому что данные и программы в ней сохраняются только при включенном компьютере или до нажатия кнопки сброса (reset).

Перед выключением или нажатием кнопки сброса все данные, подвергнутые изменениям во время работы, необходимо сохранить на запоминающем устройстве, которое может хранить информацию постоянно (обычно это жесткий диск). При новом включении питания сохраненная информация опять может быть загружена в память.

Иногда люди путают оперативную память с памятью на диске, поскольку емкость устройств памяти обоих типов выражается в одинаковых единицах - мега- или гигабайтах. Попытаемся объяснить связь между оперативной памятью и памятью на диске с помощью следующей простой аналогии.



Элементарной единицей памяти всех современных компьютеров является байт, состоящий из восьми двоичных разрядов. Каждый байт имеет свой адрес. В наиболее распространенной 32-разрядной архитектуре адреса байтов изменяются от 0 до $2^{32} - 1$ с шагом 1. Память, с логической точки зрения, можно рассматривать как массив байтов: можно прочесть или записать байт с заданным адресом. Содержимое байта трактуется либо как неотрицательное целое число в диапазоне от 0 до 255, либо как число со знаком в диапазоне от -128 до 127.

Однако физически при работе с памятью по шине передаются не отдельные байты, а машинные слова. В 32-разрядной архитектуре машинное слово - это четыре подряд идущих байта, при этом адрес младшего байта кратен четырем. (В 64-разрядной архитектуре машинное слово состоит из восьми байтов.) Машинное слово - это наиболее естественный элемент данных для процессора. Машинное слово содержит целое число, которое можно рассматривать либо как беззнаковое в диапазоне от 0 до $2^{32} - 1$, либо как знаковое в диапазоне от -2^{31} до $2^{31} - 1$. Адрес памяти также представляет собой машинное слово.

Принято нумеровать биты внутри машинного слова (как и внутри байта) справа налево, начиная с нуля и кончая 31. Младший бит имеет нулевой номер, старший, или знаковый, бит - номер 31. Младшие биты числа находятся в младших битах машинного слова.

ЭВМ **первого** поколения можно считать ещё полуэкспериментальными, поэтому в них использовалось множество разновидностей и конструкций запоминающих устройств, основанных на различных физических принципах: *на электромагнитных реле; на акустических линиях задержки; на электронно-лучевых трубках; на электростатических трубках.*

Второе поколение требовало более технологичных, дешёвых и быстродействующих ОЗУ. Наиболее распространённым видом ОЗУ в то время стала память на магнитных сердечниках.

Начиная с **третьего** поколения большинство электронных узлов компьютеров стали выполнять на микросхемах, в том числе и ОЗУ.

Наибольшее распространение получили два вида ОЗУ:

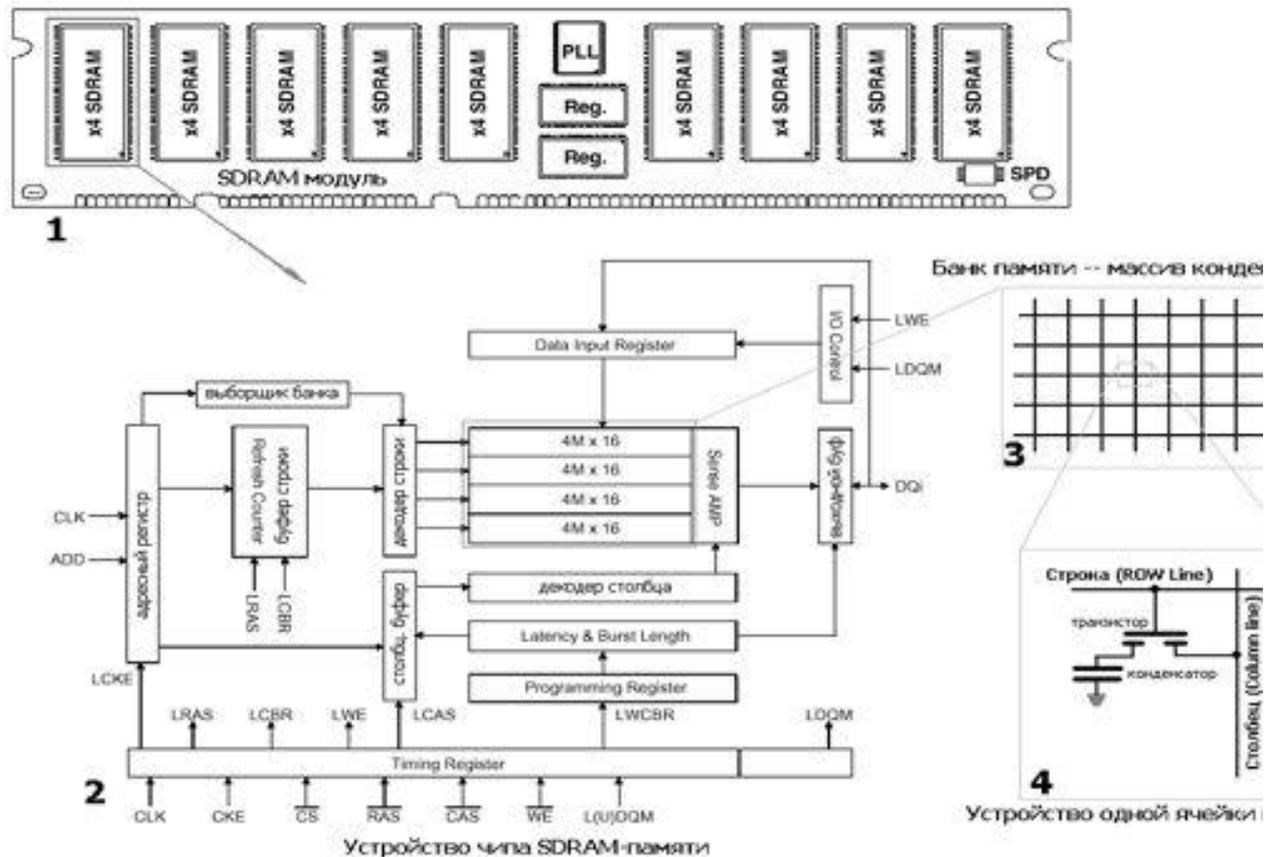
- динамическая память; информация сохраняется с помощью заряда конденсаторов;
- статическая память; информация сохраняется с помощью триггеров.

Статическая и динамическая память не сохраняли информацию при отключении питания. Сохранять информацию при отключении питания способна энергонезависимая память.

Сейчас применяются три основных вида ОЗУ:

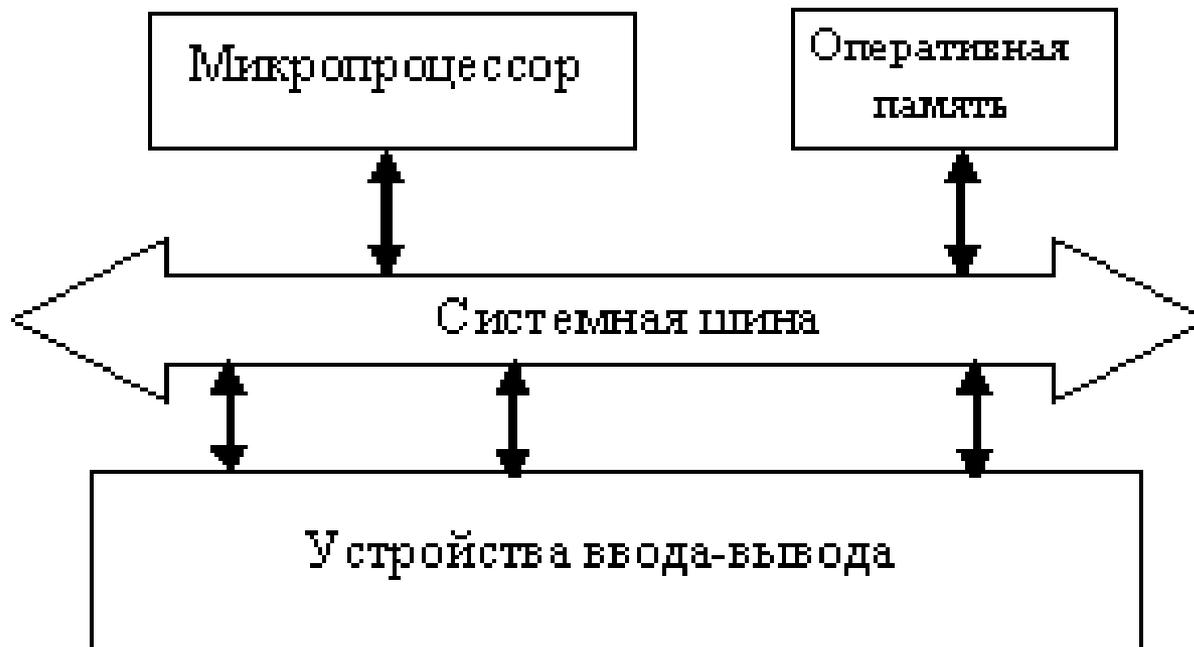
- статическое (SRAM); память в виде массивов триггеров;
- динамическое (DRAM); память в виде массивов конденсаторов;
- основанном на изменении фазы (PRAM).

DRAM хранит бит данных в виде заряда конденсатора. Однобитовая ячейка памяти содержит конденсатор и транзистор. Конденсатор заряжается до более высокого или низкого напряжения (логические 1 или 0). Транзистор выполняет роль ключа, подключающего конденсатор к схеме управления, расположенного на том же чипе. Схема управления позволяет считывать состояние заряда конденсатора или изменять его.



Схематическое изображение модуля оперативной памяти (1); микросхемы памяти (2); матрицы (3) и ячейки памяти (4)

Простейшая схема взаимодействия оперативной памяти с ЦП.



В ранних ОС управление памятью сводилось просто к загрузке программы и ее данных из некоторого внешнего накопителя (перфоленты, магнитной ленты или магнитного диска) в ОЗУ. При этом память разделялась между программой и ОС. На рис. 6.3 показаны три варианта такой схемы. Первая модель раньше применялась на мэйнфреймах и мини-компьютерах. Вторая схема сейчас используется на некоторых карманных компьютерах и встроенных системах, третья модель была характерна для ранних персональных компьютеров с MS-DOS.



Ниже приводится классификация методов распределения памяти, в которой выделено два класса методов – с перемещением сегментов процессов между ОП и ВП (диском) и без перемещения, т.е. без привлечения внешней памяти.



Следует различать классификацию памяти и классификацию запоминающих устройств (ЗУ). Первая классифицирует память по функциональности, вторая же — по технической реализации. Здесь рассматривается первая — таким образом, в неё попадают как аппаратные виды памяти (реализуемые на ЗУ), так и структуры данных, реализуемые в большинстве случаев программно.

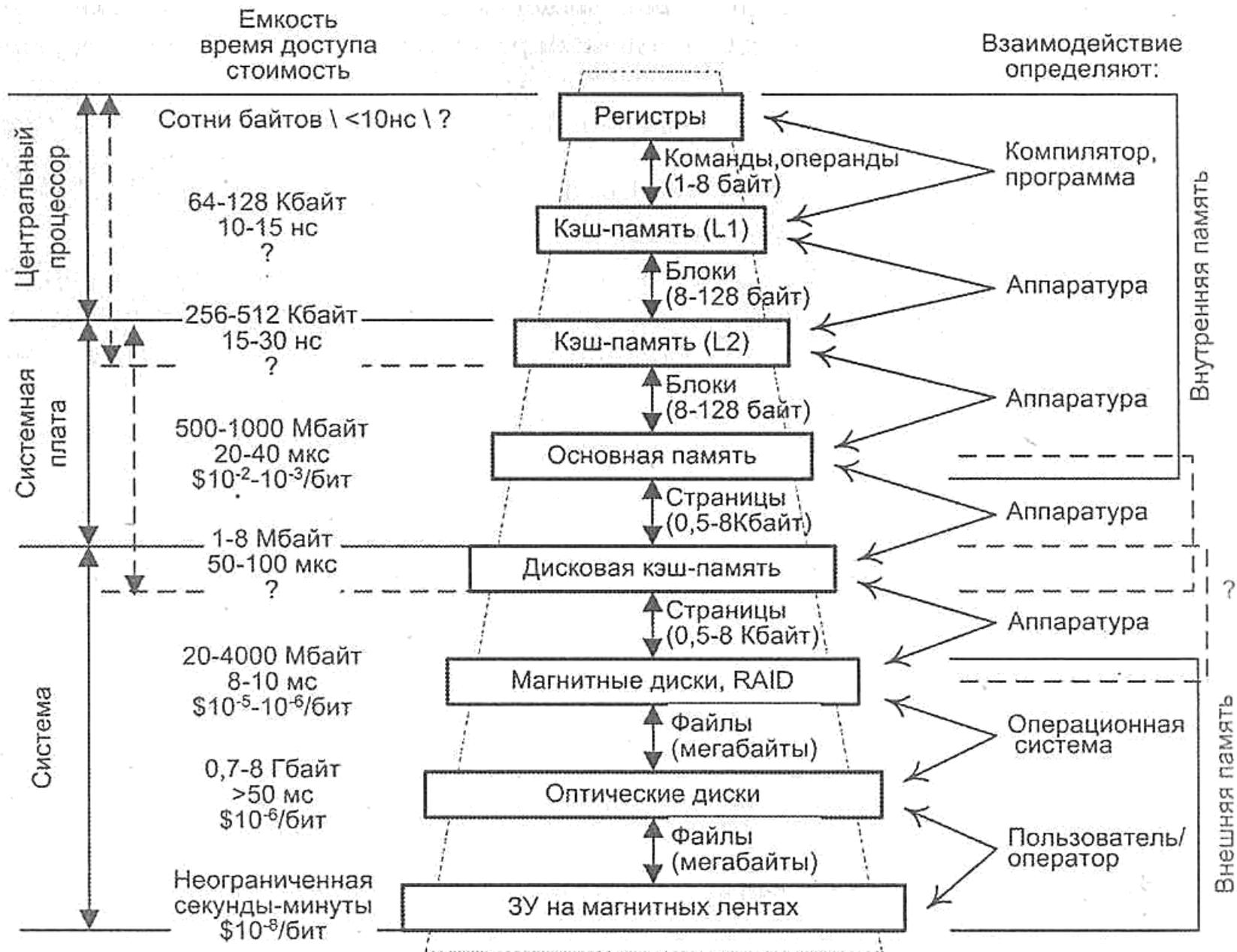
Доступные операции с данными:

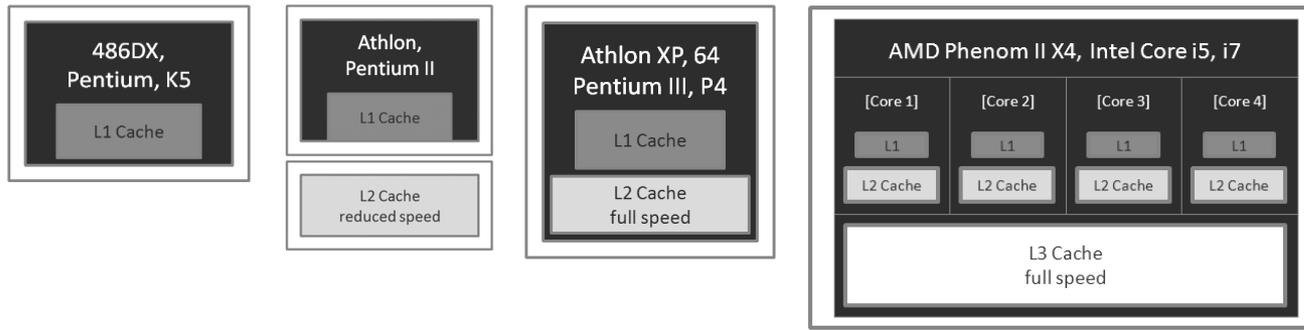
- Память только для чтения (read-only memory, ROM)
- Память для чтения/записи
- Память на программируемых и перепрограммируемых ПЗУ (ППЗУ и ПППЗУ) не имеет общепринятого места в этой классификации. Её относят либо к подвиду памяти «только для чтения», либо выделяют в отдельный вид.

Также предлагается относить память к тому или иному виду по характерной частоте её перезаписи на практике: к RAM относить виды, в которых информация часто меняется в процессе работы, а к ROM — предназначенные для хранения относительно неизменных данных.

Метод доступа:

- Последовательный доступ (англ. sequential access memory, SAM) — ячейки памяти выбираются (считываются) последовательно, одна за другой, в очерёдности их расположения. Вариант такой памяти — стековая память.
- Произвольный доступ (англ. random access memory, RAM) — вычислительное устройство может обратиться к произвольной ячейке памяти по любому адресу.





Термин «кэширование» подразумевает буферизацию между более быстродействующим и менее быстродействующим устройством. За счет непрерывного поступления данных с меньшей скоростью и прогнозирования блоков данных, которые могут понадобиться для ближайших операций, поддерживается эффективная скорость работы более быстродействующих устройств.

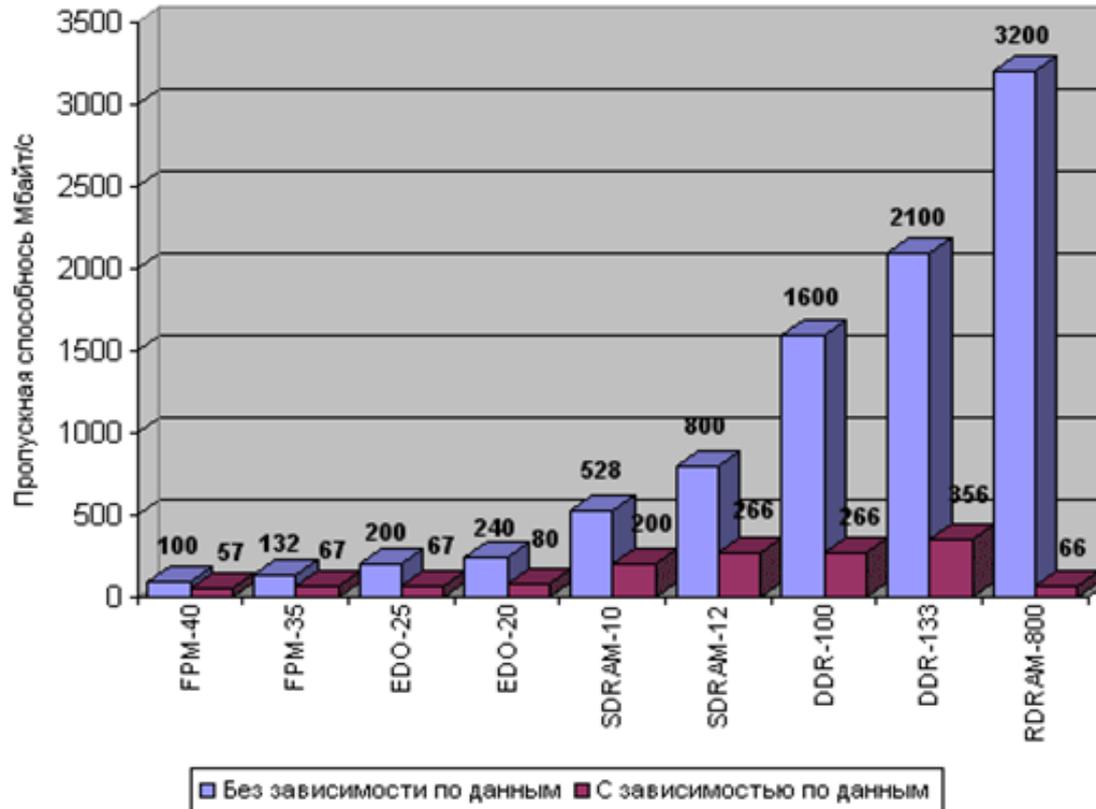
Регистр процессора — блок ячеек памяти, образующий сверхбыструю оперативную память (СОЗУ) внутри процессора; используется самим процессором и большей частью недоступен программисту: например, при выборке из памяти очередной команды она помещается в регистр команд (англ.), к которому программист обратиться не может.

Имеются также регистры, которые, в принципе, программно доступны, но обращение к ним осуществляется из программ операционной системы, например, управляющие регистры и теневые регистры дескрипторов сегментов. Этими регистрами пользуются в основном разработчики операционных систем.

Существуют также так называемые регистры общего назначения (РОН), представляющие собой часть регистров процессора, использующихся без ограничения в арифметических операциях, но имеющие определенные ограничения, например, в строковых РОН, не характерные для эпохи мейнфреймов типа IBM/370 стали популярными в микропроцессорах архитектуры X86 — Intel 8085, Intel 8086 и последующих.

Специальные регистры содержат данные, необходимые для работы процессора — смещения базовых таблиц, уровни доступа и т. д. Часть специальных регистров принадлежит устройству управления, которое управляет процессором путём генерации последовательности микрокоманд.

История развития максимально достижимой пропускной способности основных типов памяти при наличии зависимости по данным и при отсутствии таковой представлена на рисунке.



| Тип памяти | Рабочая частота, МГц | Разрядность, бит | Время доступа, нс. | Время рабочего цикла, нс. | Пропускная способность, Мбайт/с |
|------------|----------------------|------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| FPM | 25, 33 | 32 | 70, 60 | 40, 35 | 100, 132 |
| EDO | 40, 50 | 32 | 60, 50 | 25, 20 | 160, 200 |
| SDRAM | 66, 100, 133 | 64 | 40, 30 | 10, 7.5 | 528, 800, 1064 |
| DDR | 100, 133 | 64 | 30, 22.5 | 5, 3.75 | 1600, 2100 |
| RDRAM | 400, 600, 800 | 16 | „,30 | „,2.5 | 1600, 2400, 3200 |

Характеристика ОЗУ по *временным задержкам* (тайминги) для краткости записывают в виде трех чисел, по порядку: CAS Latency, RAS to CAS Delay и RAS Precharge Time. От них в значительной степени зависит пропускная способность участка «процессор-память» и, как следствие, быстродействие системы. Мера таймингов - такт. Таким образом, каждая цифра в формуле 2-2-2 означает задержку сигнала для обработки, измеряемая в тактах системной шины.

Иногда формула таймингов для памяти может состоять из четырёх цифр, например у DDR3-2800 - 16-18-18-36. Последний параметр называется «DRAM Cycle Time Tras/Trc». Он определяет отношение интервала, в течение которого строка открыта для переноса данных (tRAS – RAS Active time), к периоду, в течение которого завершается полный цикл открытия и обновления ряда (tRC – Row Cycle time), также называемого циклом банка (Bank Cycle Time).

Не так давно был опубликован стандарт на DDR4 SDRAM – оперативную память нового поколения.

DDR4 модуль 8Gb x4 обычно состоит из 4 групп банков, по 4 банка в каждой группе. Каждый банк такого чипа содержит 131 072 (2^{17}) строк (rows), по 512 байтов каждая. Для сравнения 8Gb x4 DDR3 чип содержит 8 независимых банков, 65 536 (2^{16}) строк на банк, по 2048 байтов в каждой строке. При равном объеме, у DDR4 чипа в два раза больше банков и гораздо короче строки памяти. Это означает, что новая память может переключаться между банками памяти гораздо быстрее, чем это делает DDR3. В частности, для 8Gb x4 DDR4 чипов, заявленных как 1600 MT/s compatible, показатель tFAW(Four-bank Activation Window) равен 20ns, что вдвое меньше, чем у DDR3 (40ns). Это означает, что DDR4 чипы памяти могут открывать произвольные строки в разных банках в два раза быстрее, чем DDR3.

Вслед за увеличением производительности улучшались и показатели энергоэффективности новой памяти.



Зависимость производительности компьютера от объема оперативной памяти.

Иногда случается так, что больший объём памяти лишь повредит производительности вашего компьютера. Модули памяти объёмом 256 Мб, как правило, выполняются однобанковыми и чипы памяти напаяны на них с одной стороны. Модули памяти объёмом 512 Мб, как правило, производятся на тех же чипах памяти, что и 256-мегабайтными, но установленными с двух сторон (двухбанковые модули). А вот большие по объёму 1024 мегабайтные и 2048 мегабайтные модули производятся на более ёмких чипах памяти. И для работы на заявленных частотах в эти чипы устанавливаются большие задержки. В итоге получается, что частота у DDR400 512 Мб и DDR400 1024 Мб может быть и одинаковая, но из-за разных задержек, 1024-мегабайтные модули будут работать медленнее. Этот фактор надо учитывать при апгрейде памяти.