© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Лекция 19

14 апреля

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

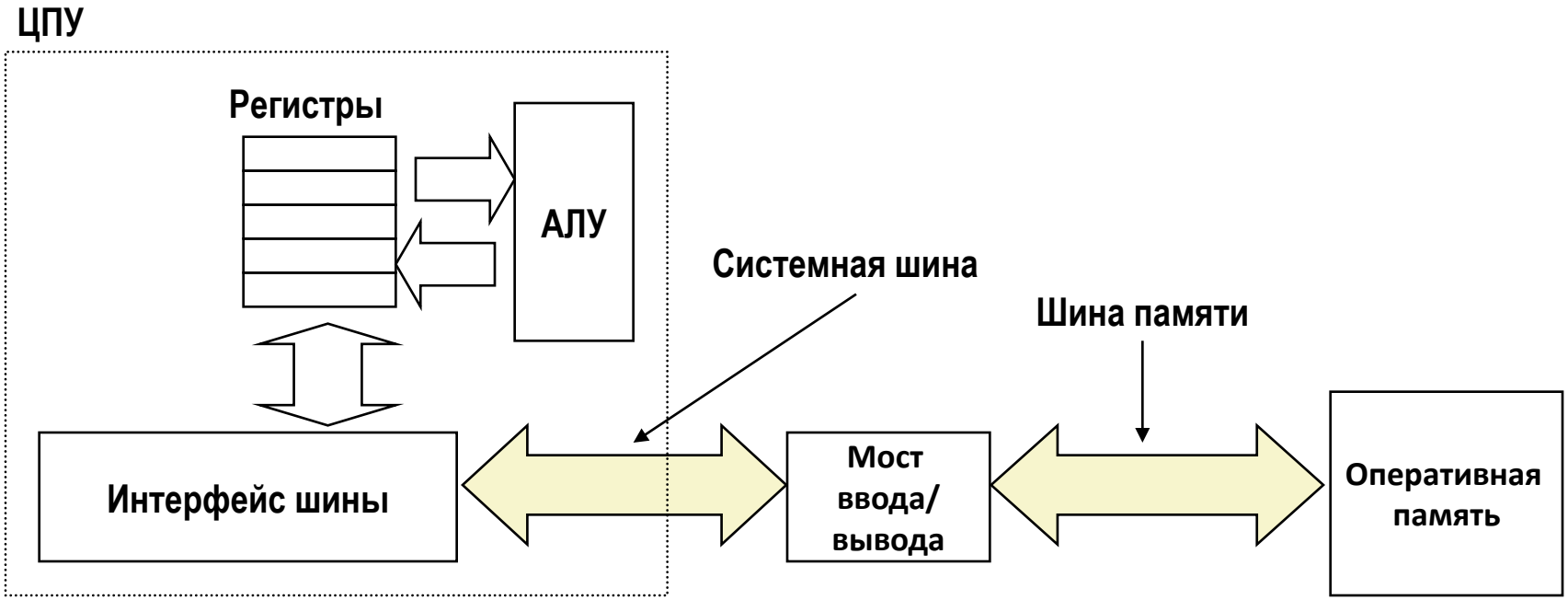
Энергонезависимая память

- DRAM и SRAM – энергозависимы
  - Информация теряется при отключении электропитания.
- Энергонезависимая память сохраняет свое состояние даже при отключении питания
  - ROM: программируется на этапе производства
  - Программируемая ROM (PROM): может быть запрограммирована пользователем один раз
  - Стираемая PROM (EPROM): может быть стерта (УФ, рентген)
  - Электрически стираемая PROM (EEPROM): стирание происходит через подачу электрического сигнала
  - Флеш-память: EEPROM с частичной возможностью стирания (по секторам)
    - Выдерживает порядка 100,000 циклов перезаписи.
- Сфера применения энергонезависимой памяти
  - Встраиваемые программы размещаются в ROM (BIOS, контроллеры дисков, сетевых и графических адаптеров, аппаратно-криптографические средства,…)
  - Твердотельные диски (заменяют обычные диски в переносных накопителях, смартфонах, плеерах, и т.д.)
  - Кеш в обычных дисковых накопителях.

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Типовое соединение ЦПУ и оперативной памяти

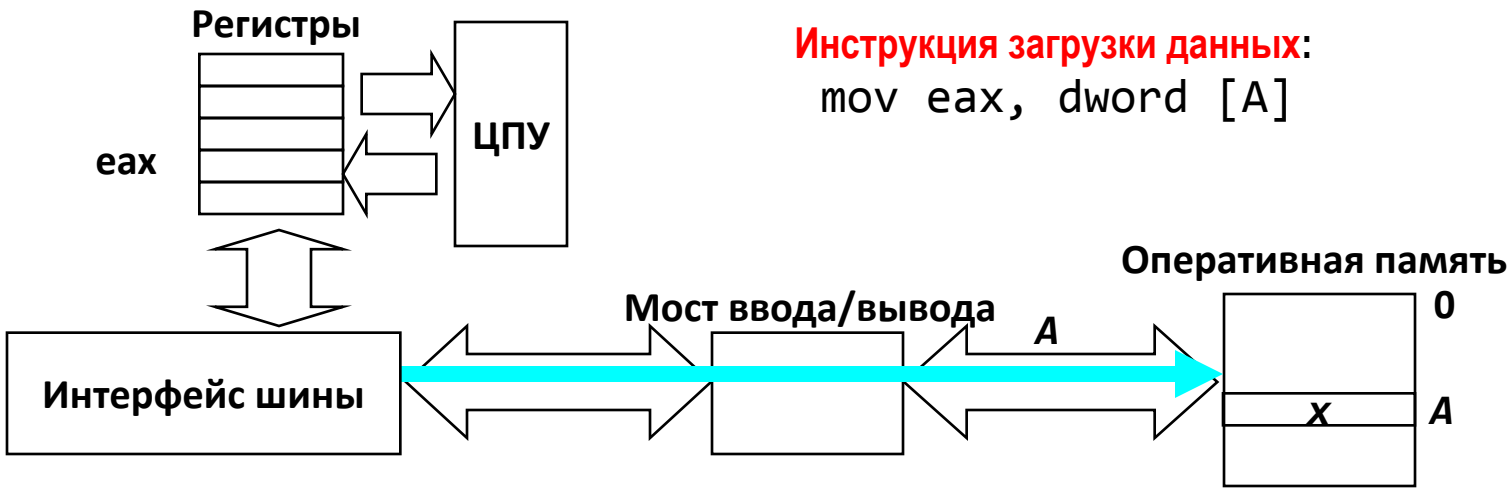
- Шина – набор проводов используемых для передачи данных, адресов, управляющих сигналов.
- Шины, как правило, используются несколькими устройствами.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Чтение данных из памяти (1)

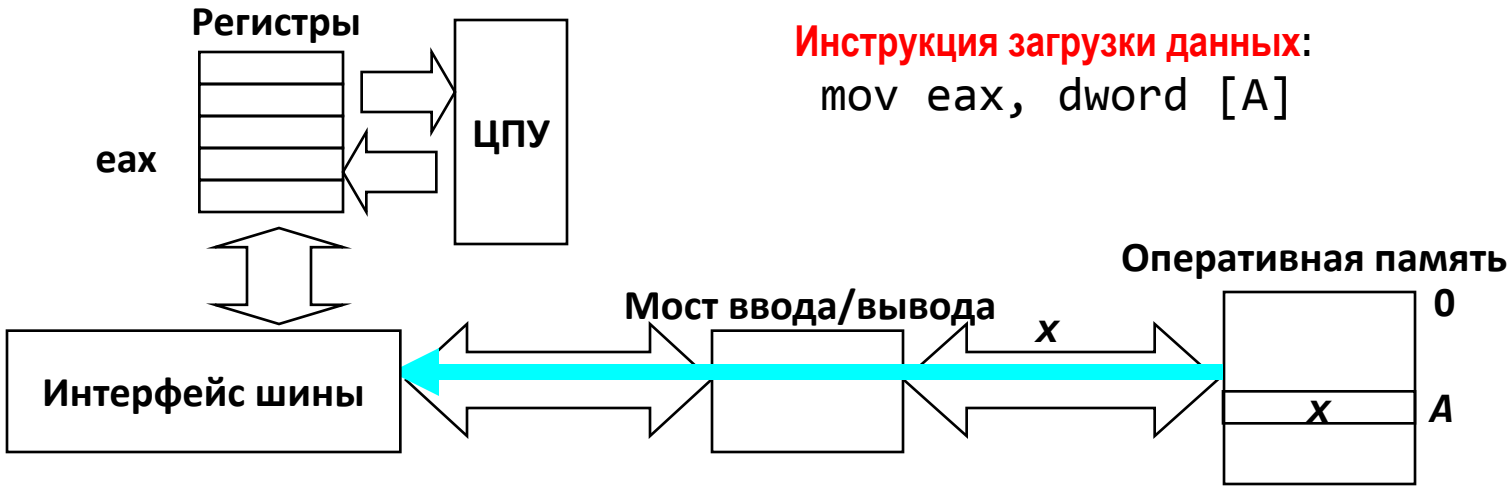
- ЦПУ передает адрес A интерфейсу шины памяти.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Чтение данных из памяти (2)

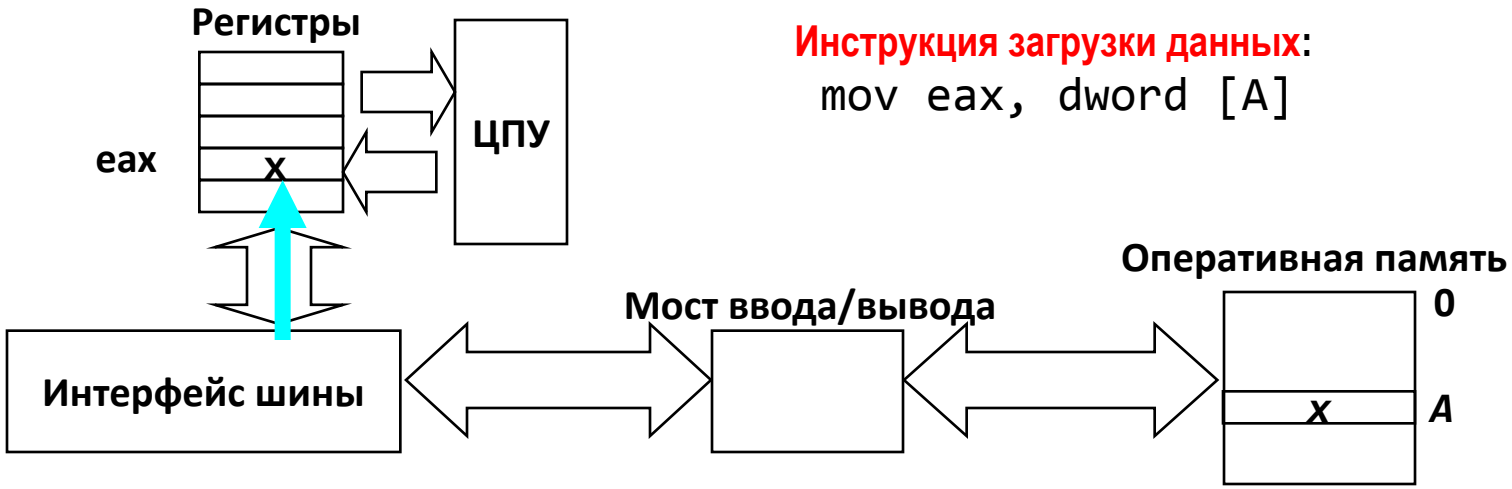
- Оперативная память получает запрос на выборку данных по адресу A из шины, осуществляет выборку значения x, и отправляет его назад, в шину.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Чтение данных из памяти (3)

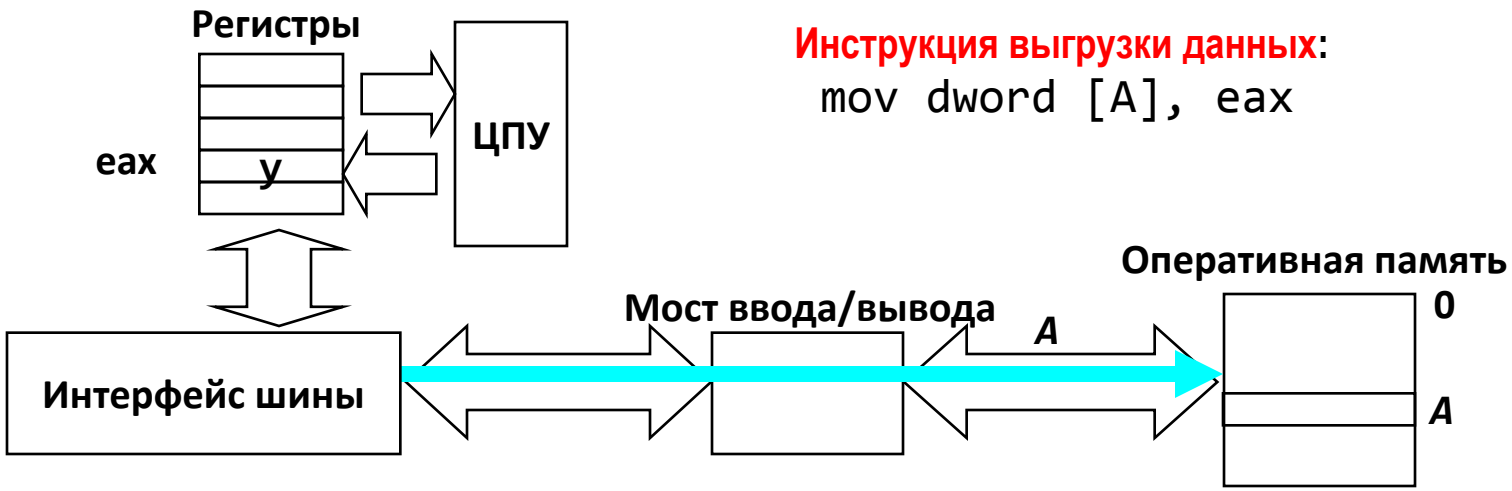
- ЦПУ считывает двойное слово x из шины и пересылает его в регистр eax.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Запись данных в память (1)

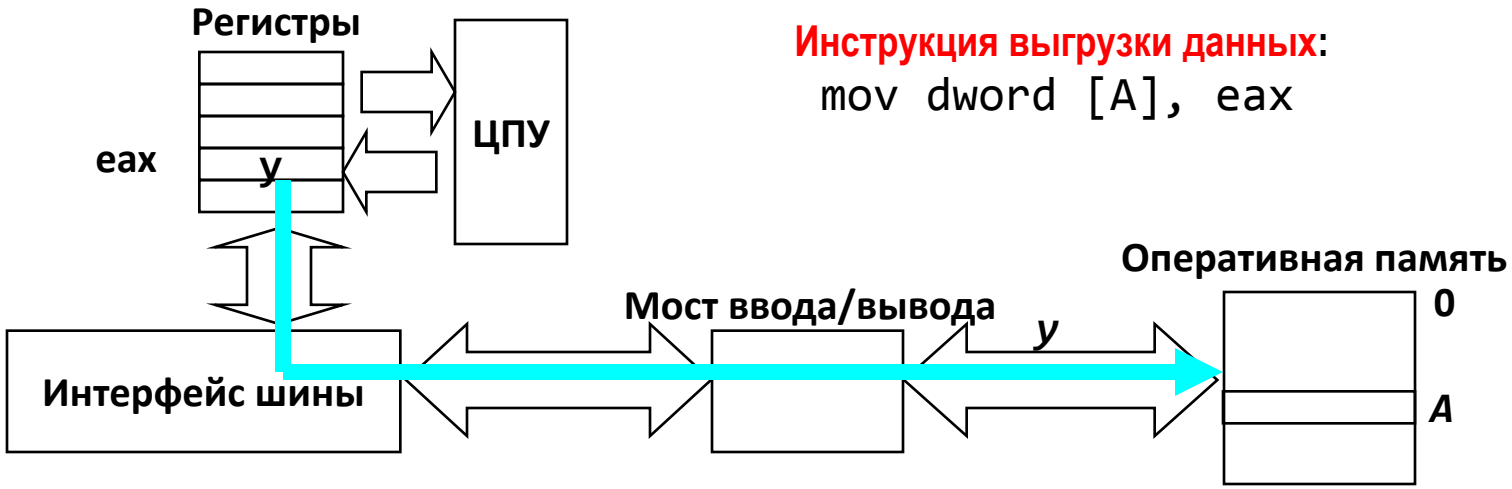
- ЦПУ передает адрес A интерфейсу шины. Оперативная память считывает адрес и ждет посылки соответствующего значения.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Запись данных в память (2)

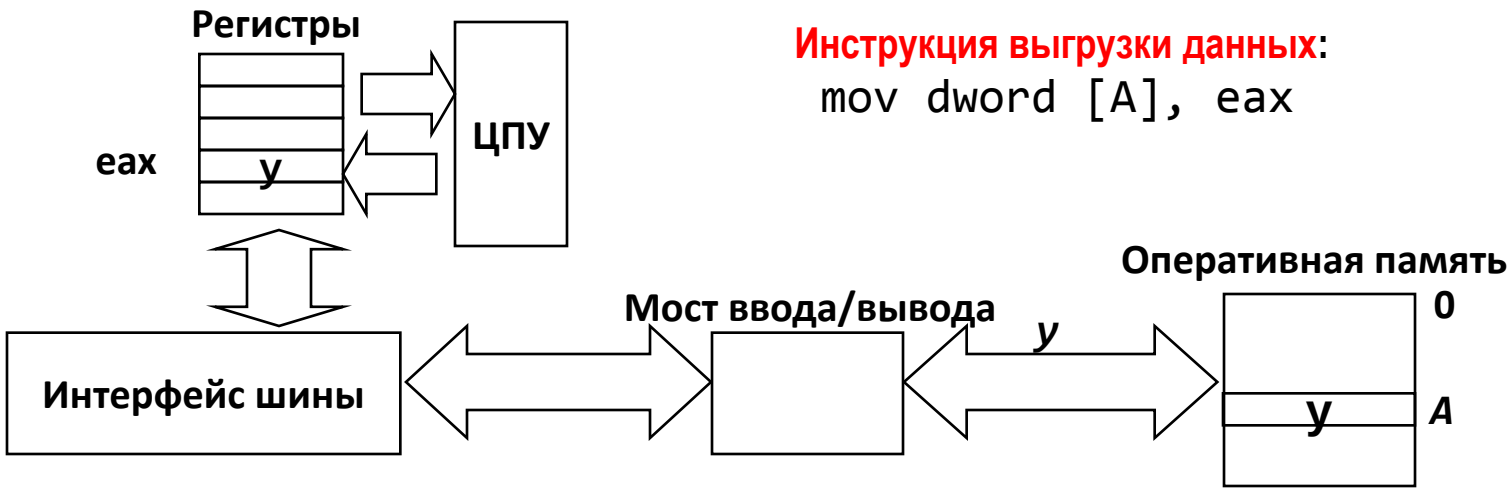
- ЦПУ передает значение y интерфейсу шины.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Запись данных в память (3)

- Оперативная память получает двойное слово y из шины и сохраняет его по адресу A.

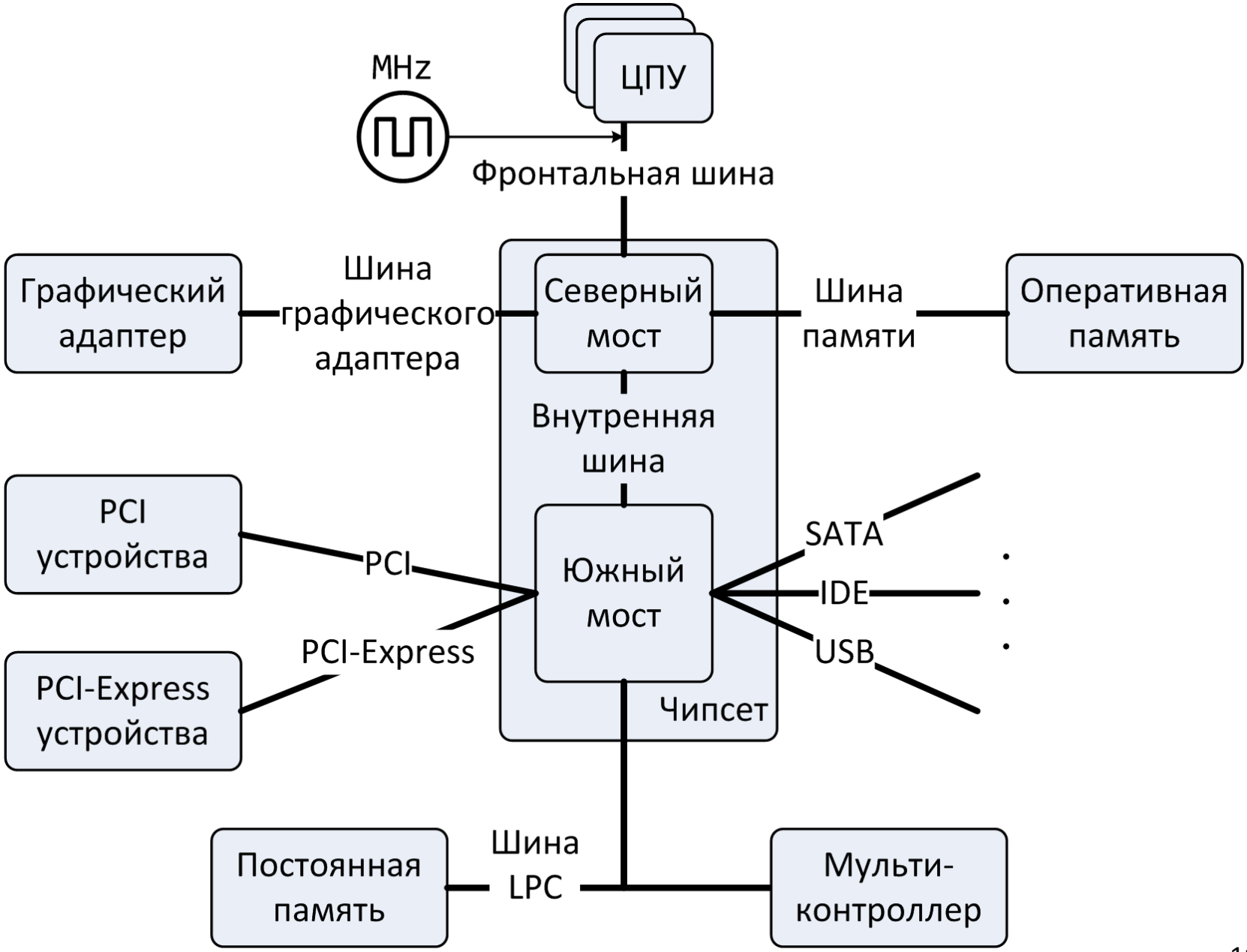


© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Характеристики шин

- Ширина
  - Количество линий
- Частота
- Пиковая пропускная способность
  - Ширина (байты или биты) × Частота (1/сек)
- Арбитраж
  - Централизованный
    - Линии запроса и захвата шины
  - Децентрализованный
- Возможность горячей замены устройства
- Физическая организация
  - Выделенные линии данных, адресов, команд
  - Мультиплексированные линии
  - Топология связей
  - Синхронная/асинхронная
  - Ограничения по длине линии

© 2012 МГУ/ВМиК/СП



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Примеры шин (1/3)

- Фронтальная шина
  - HyperTransport (HT), апрель 2001, AMD. Открытый стандарт - HyperTransport Technology
    - 2 – 32 разряда, двунаправленная
    - 200 – 2600 MHz, DDR
  - QuickPath Interconnect (QPI), ноябрь 2008, Intel
    - 20 линий, двунаправленная, 4 такта = 64 бита
    - 2.4, 2.93, 3.2 GHz, DDR
  - Соединение точка-точка.
    - Гарантированные физические каналы: один отправитель – один приемник.
    - Не требуется арбитраж.

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Примеры шин (2/3)

- Общая шина ввода/вывода для подключения периферийных устройств Peripheral component interconnect (PCI), 1992, Intel, открытый стандарт.
  - PCI 1.0 / 2.0
    - Топология - общая шина, децентрализованный арбитраж
    - 32 линии, общие для адресов и данных
      - Передача данных транзакциями, возможна приостановка
    - Частота 33 MHz
  - Расширения
    - PCI 64, PCI 66, PCI 64/66, PCI-X (266 и 533 МГц)
  - PCI Express (PCI-E), июль 2002, Intel
    - Топология – звезда.

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Примеры шин (3/3)

- AGP
  - Непосредственный доступ к оперативной памяти
- USB
  - Топология – звезда, до 127 устройств, разветвители, оконечные точки (15/15 + 1/1 управляющие).
  - 4 типа передач: управляющие, поточные, прерывания, изохронные
  - Open Host Controller Interface
    - Сам контроллер является PCI-устройством
- Serial ATA
  - 7 линий, 2 – прием, 2 – передача.
  - 1.5, 3, 6 GBit/s
  - Возможность горячей замены

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Внутреннее устройство HDD

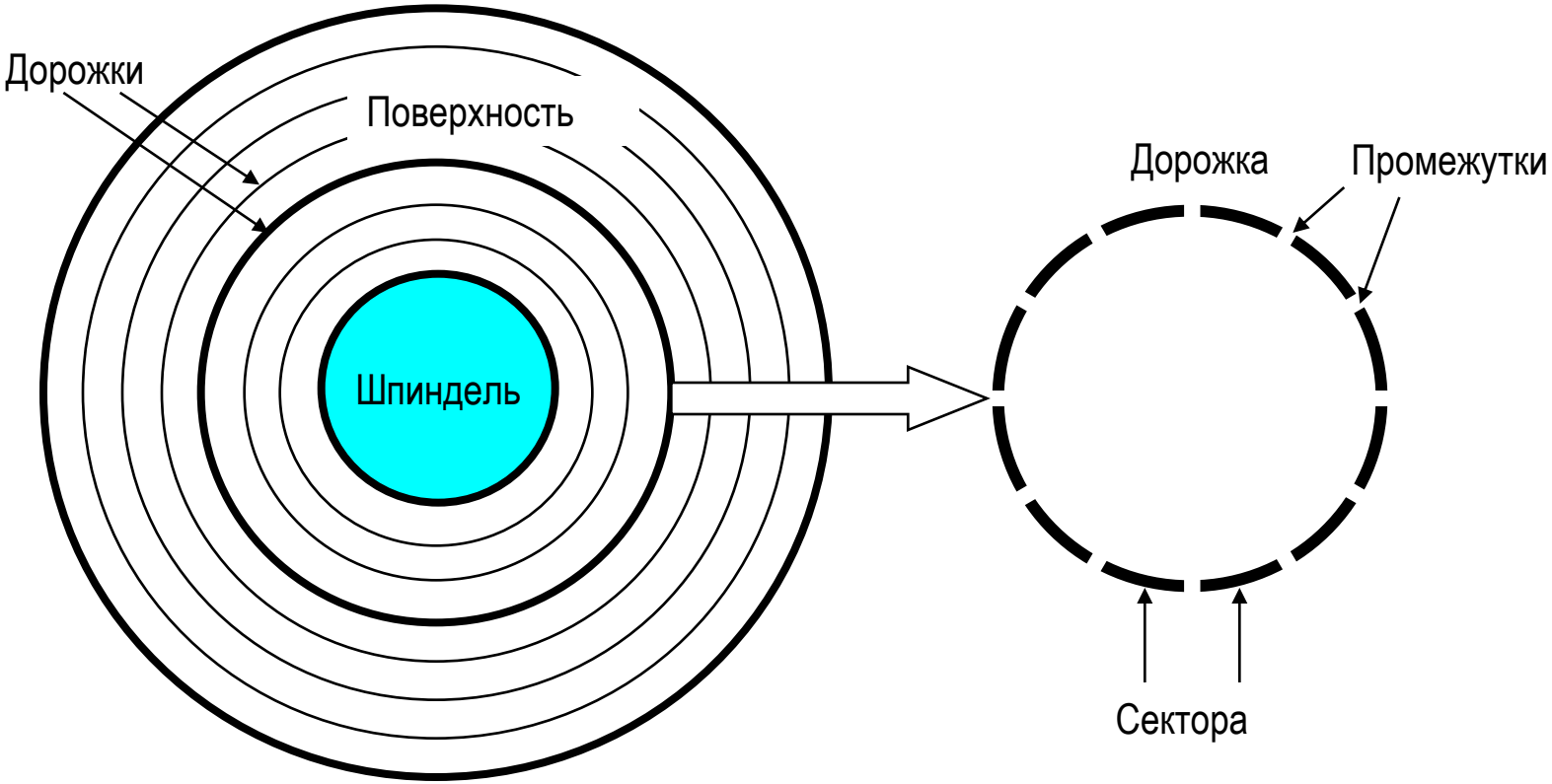
+ различная электроника, включая процессор и память

Изображение является собственностью Seagate Technology

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Геометрия диска

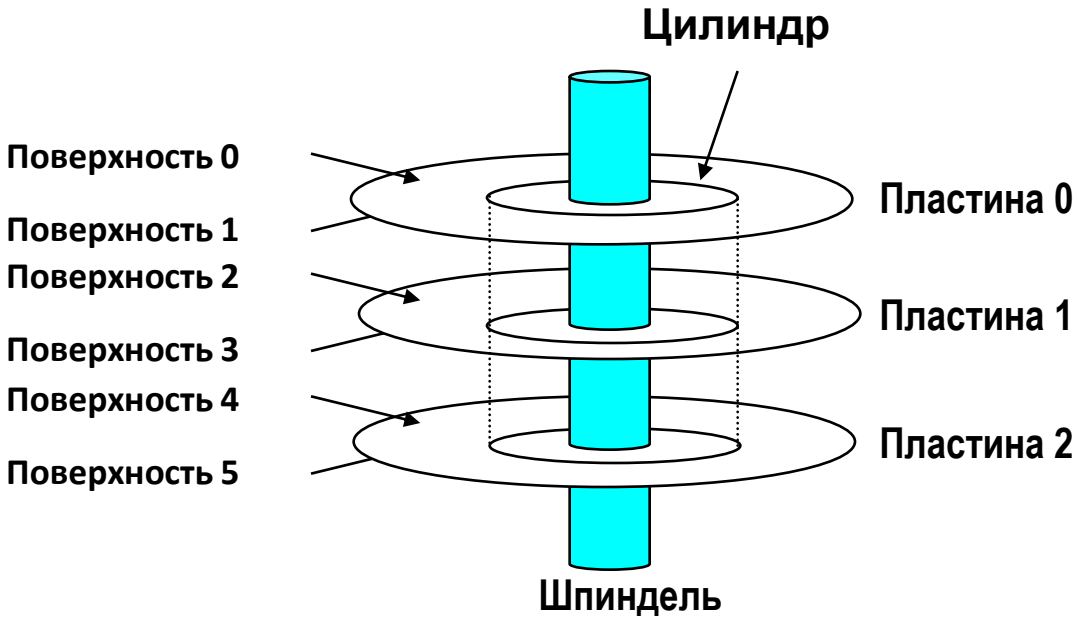
- Диск состоит из пластин, каждая обладает двумя поверхностями.
- Каждая поверхность состоит из концентрических кругов, называемых дорожки.
- Каждая дорожка состоит из секторов, разделенных промежутками.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Геометрия диска (несколько пластин)

- Равноудаленные от шпинделя дорожки образуют цилиндр.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Емкость диска

- Емкость: максимальное количество сохраняемых бит.
  - Производители выражают емкость в «необычных» гигабайтах, 1 ГБ = 10^9 байтам.
- Емкость определяется следующими технологическими факторами:
  - Плотность записи / линейная плотность (биты/дюймы – BPI): сколько битов может быть размещено на одном дюйме дорожки.
  - Трековая плотность (треки/дюйм – TPI): сколько треков может быть размещено на одном дюйме радиуса.
  - Поверхностная плотность (биты/дюймы^2): произведение линейной плотности на трековую плотность.
- Современные диски группируют дорожки в несколько зон записи
  - Каждая дорожка в зоне состоит из одного и того же количества секторов, определяемого длиной самой короткой дорожки.
  - У каждой зоны различное количество дорожек/секторов

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Вычисление емкости диска

Емкость = (#байт/сектор) x (среднее # сектор/дорожка) x (# дорожка/поверхность) x (# поверхность/пластина) x (# пластина/диск)

Пример:

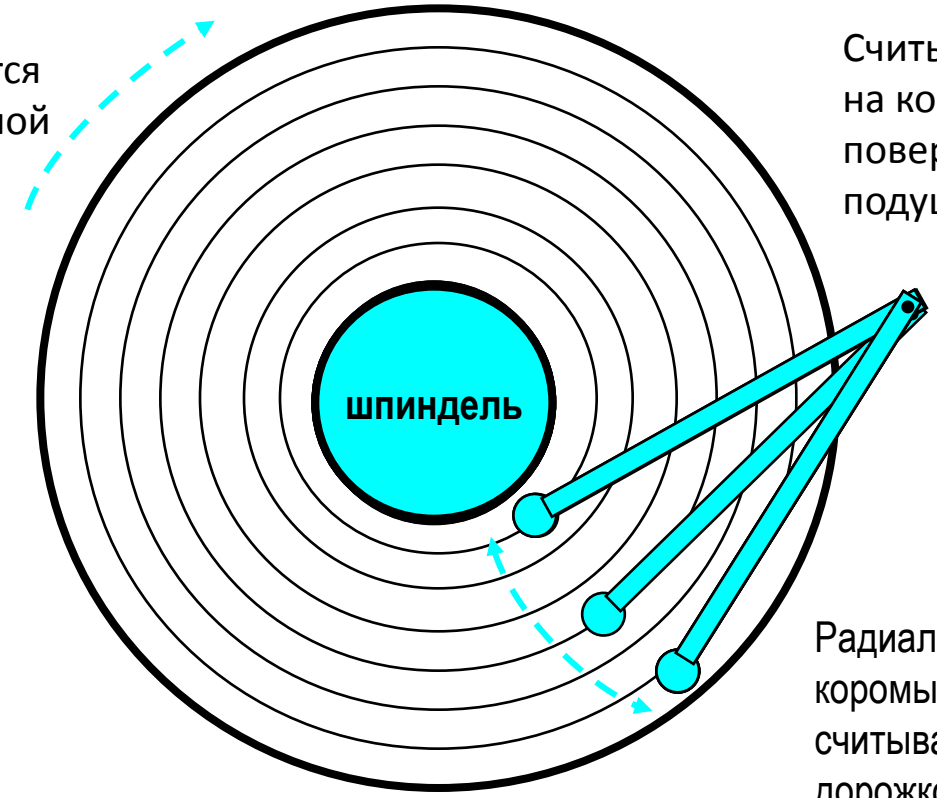
- 512 байт/сектор
- 300 сектор/дорожка (в среднем)
- 20,000 дорожка/поверхность
- 2 поверхность/пластина
- 5 пластина/диск

Емкость = 512 x 300 x 20000 x 2 x 5 = 30,720,000,000 = 30.72ГБ

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Работа с диском (одна пластина)

Поверхность диска вращается с фиксированной скоростью.

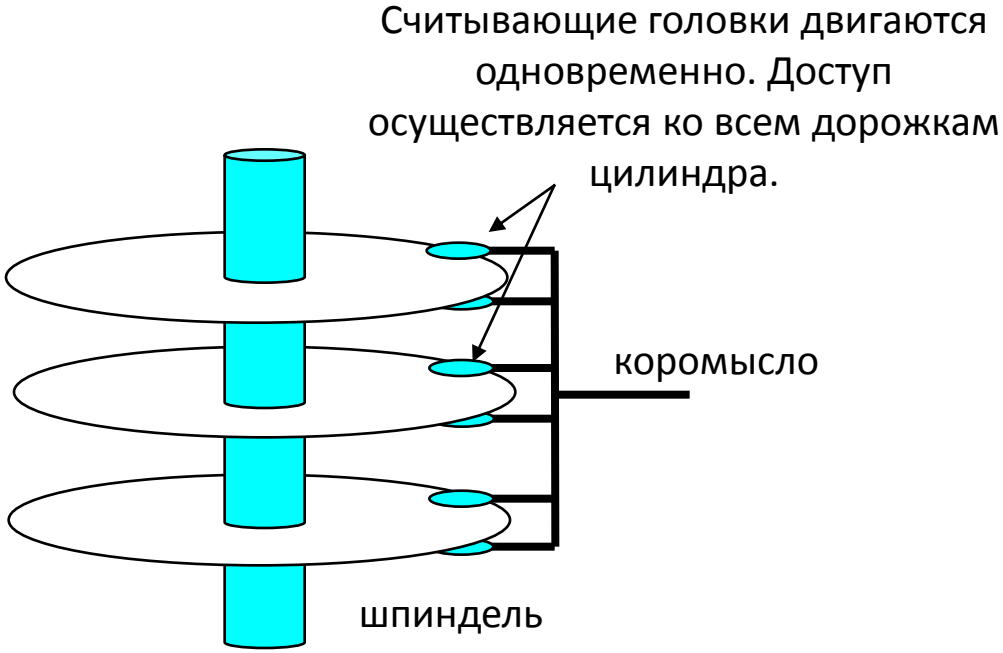


Считывающая головка закреплена на конце коромысла и парит над поверхностью на тонкой воздушной подушке.

Радиально перемещаясь, коромысло может выставить считывающую головку над любой дорожкой.

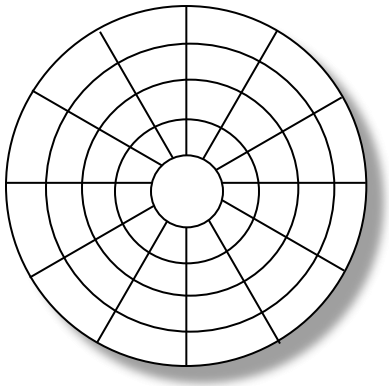
© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Работа с диском (несколько пластин)



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Структура диска – вид сверху на одну пластину

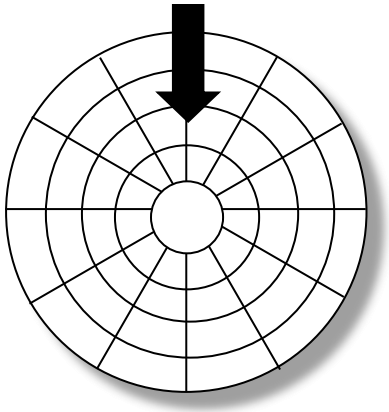


Поверхность разбита на дорожки

Дорожки разделены на сектора

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

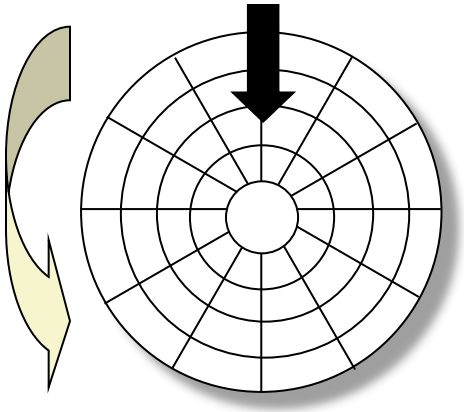
Доступ к диску



Считывающая головка в указанной позиции над диском

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

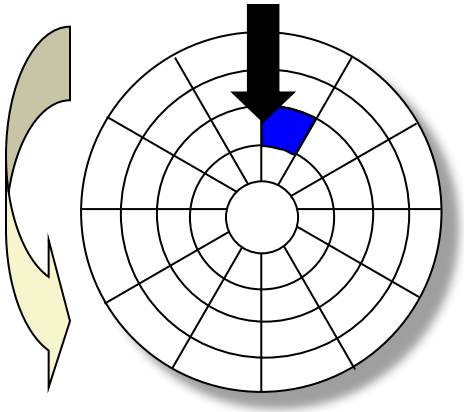
Доступ к диску



Направление вращения – против часовой стрелки

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

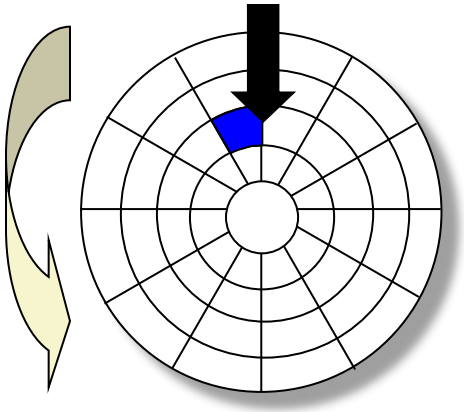
Доступ к диску – Чтение



Перед чтением синего сектора

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Доступ к диску – Чтение

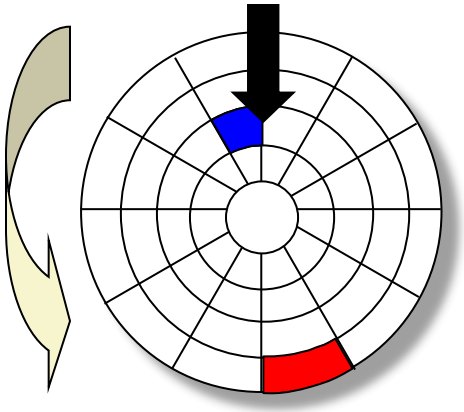


Синий сектор считан

После чтения синего сектора

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Доступ к диску – Чтение

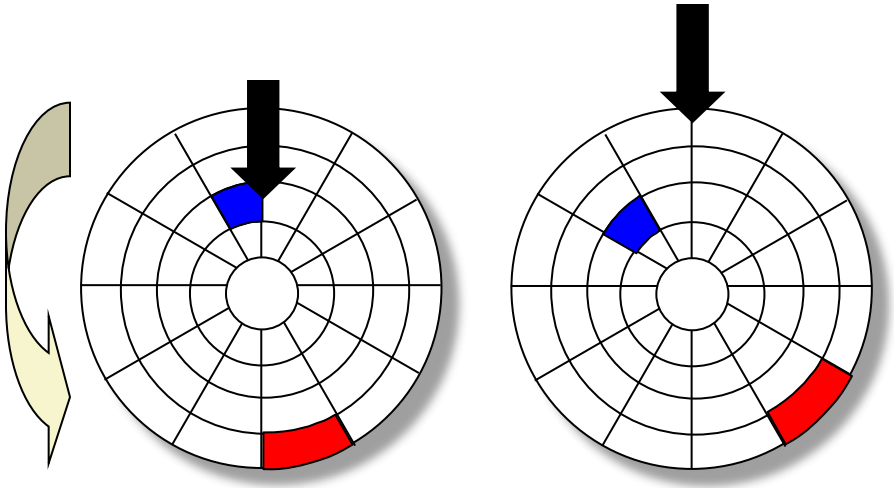


Синий сектор считан

Поступил запрос на чтение красного сектора

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Disk Доступ к диску – Поиск



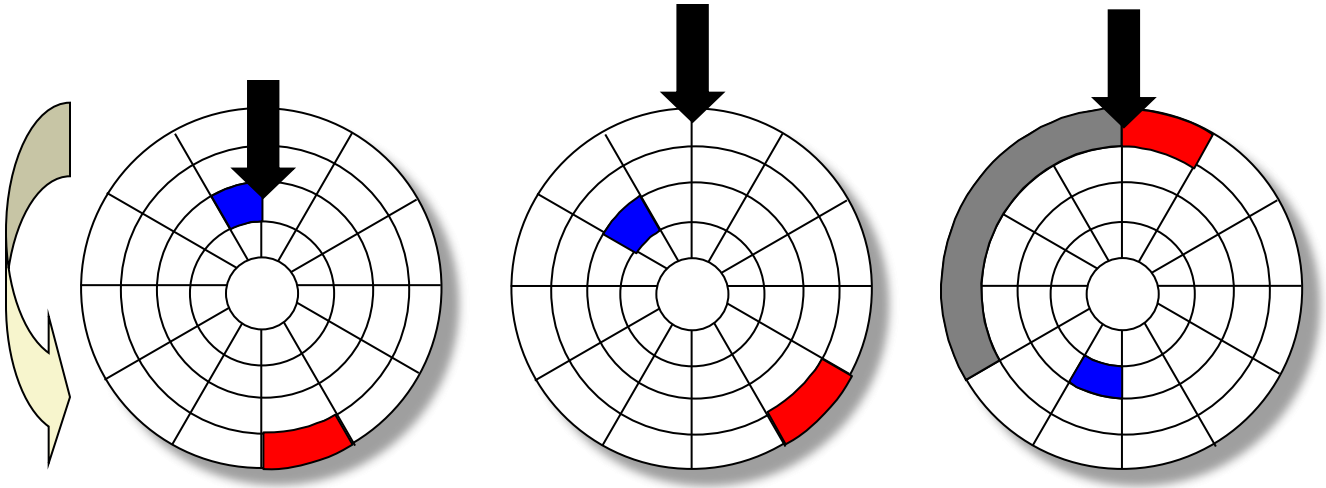
Синий сектор считан

Поиск Красного сектора

Ищем дорожку на которой расположен красный сектор

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Доступ к диску – временная задержка из-за вращения

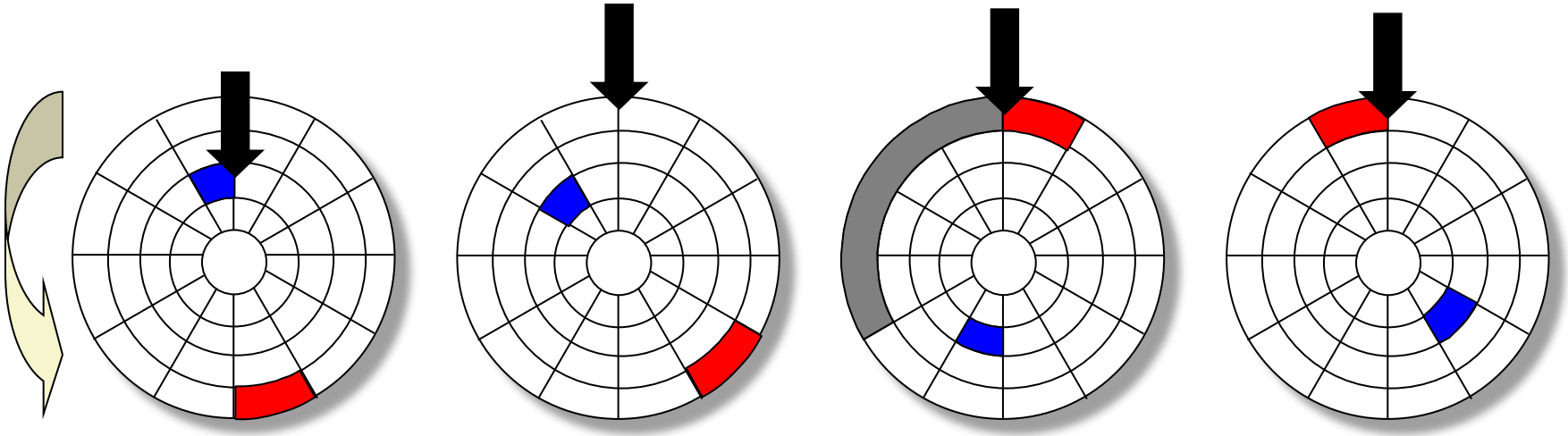


Синий сектор считан | **Поиск Красного сектора** | **Латентность вращения**

Вынужденное ожидание того момента, когда красный сектор достигнет считывающей головки

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Доступ к диску – Чтение

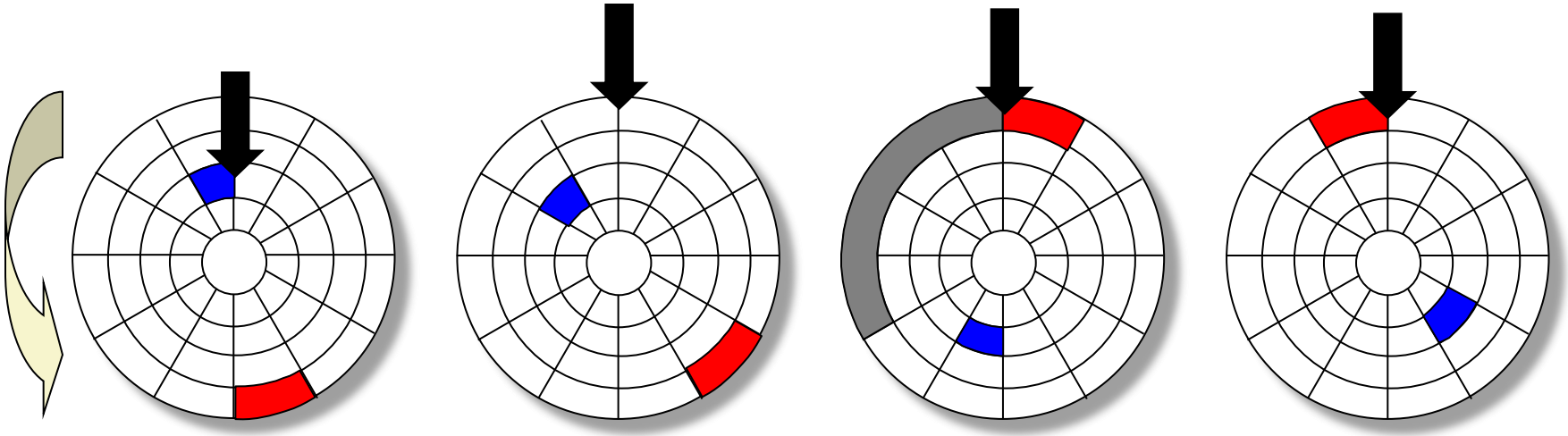


Синий сектор считан | **Поиск Красного сектора** | **Латентность вращения** | **Красный сектор считан**

Чтение красного сектора завершено

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Доступ к диску – распределение времени



Синий сектор считан

Передача данных

Поиск Красного сектора

Поиск

Латентность вращения

Латентность вращения

Красный сектор считан

Передача данных

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Время доступа к диску

- $T_{доступа} = T_{ср.\ поиск} + T_{ср.\ вращения} + T_{ср.\ передача}$
- Время поиска ($T_{ср.\ поиск}$)
  - Время, требуемое для перемещения считывающей головки в цилиндр, содержащий требуемый сектор.
  - Как правило $T_{ср.\ поиск}$ занимает 3—9 мс.
- Латентность вращения ($T_{ср.\ вращения}$)
  - Время ожидания момента, когда первый бит запрашиваемого сектора достигнет считывающей головки.
  - $T_{ср.\ вращения}$ = 1/2 x 1/RPM x 60 с / 1 мин
  - Типичная скорость вращения – 7200 RPM. $T_{ср.\ вращения} \approx$ 4 мс.
- Время передачи ($T_{ср.\ передача}$)
  - Время чтения содержимого сектора.
  - $T_{ср.\ передача}$ = 1/RPM x 1/(ср. # секторов на дорожке) x 60 с./1 мин.

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Пример оценки времени доступа

- Исходные характеристики:
  - Скорость вращения = 7,200 RPM
  - Среднее время поиска = 9 мс.
  - Среднее # секторов на дорожке = 400.
- Оцениваем слагаемые и общую сумму:
  - $T_{ср.\ вращения}$ = 1/2 x (60 с/7200 RPM) x 1000 мс = 4 мс.
  - $T_{ср.\ передача}$ = 60/7200 RPM x 1/400 с/дорожка x 1000 мс = 0.02 мс
  - $T_{доступа}$ = 9 мс + 4 мс + 0.02 мс
- Выводы:
  - Время передачи существенно меньше остальных слагаемых.
  - Считать первый бит из сектора – «дорогая» операция, считывание остальных битов – «дешево».
  - Время доступа SRAM ≈ 4 нс для двойного слова, DRAM ≈ 60 нс
    - Диск медленнее SRAM в 40,000 раз, и …
    - … в 2,500 раз, чем DRAM.

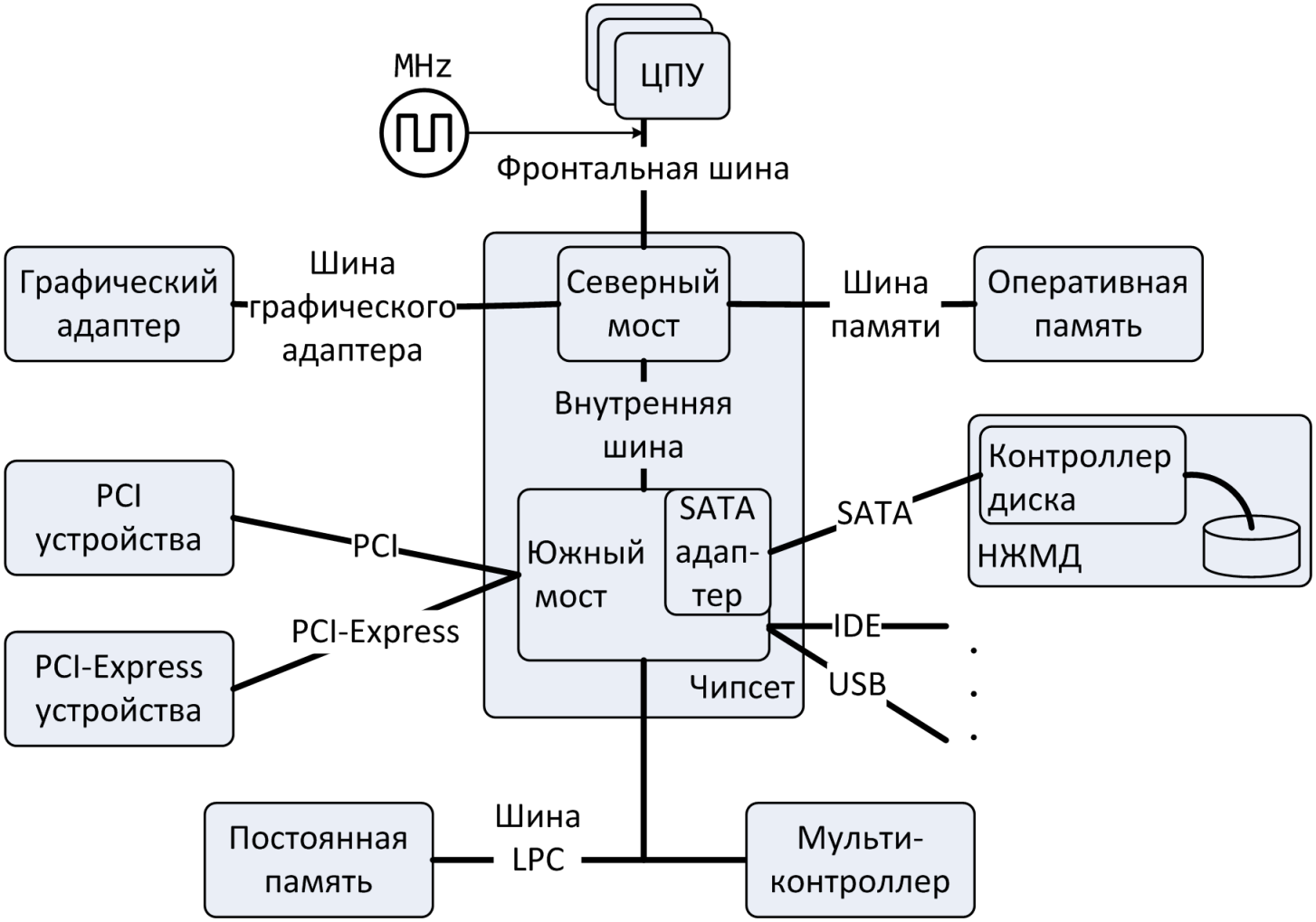
© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Логические блоки

- Более простой метод обращения к данным:
  - Сектора рассматриваются как последовательность логических блоков (0, 1, 2, ...)
- Соответствие между логическими блоками и (физическими) секторами
  - Отображение поддерживается аппаратурой + «прошивкой» – контроллером диска.
  - Номер логического блока → (поверхность, дорожка, сектор).
- Защита от выхода из строя отдельных цилиндров. Каждая зона записи содержит запасные цилиндры.
  - Размер диска после форматирования становится ощутимо меньше.

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

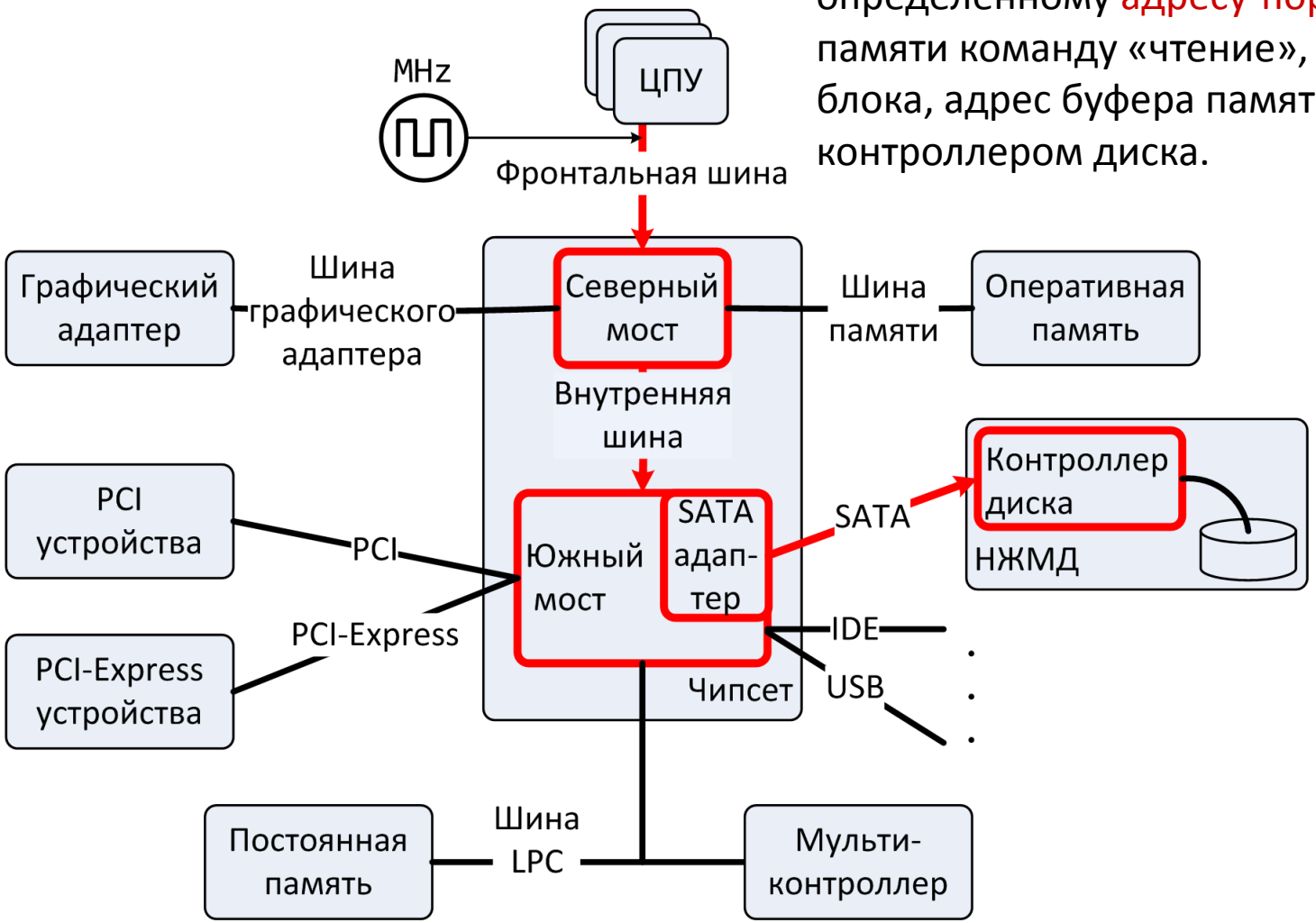
SATA: шина ввода/вывода



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Чтение сектора (1)

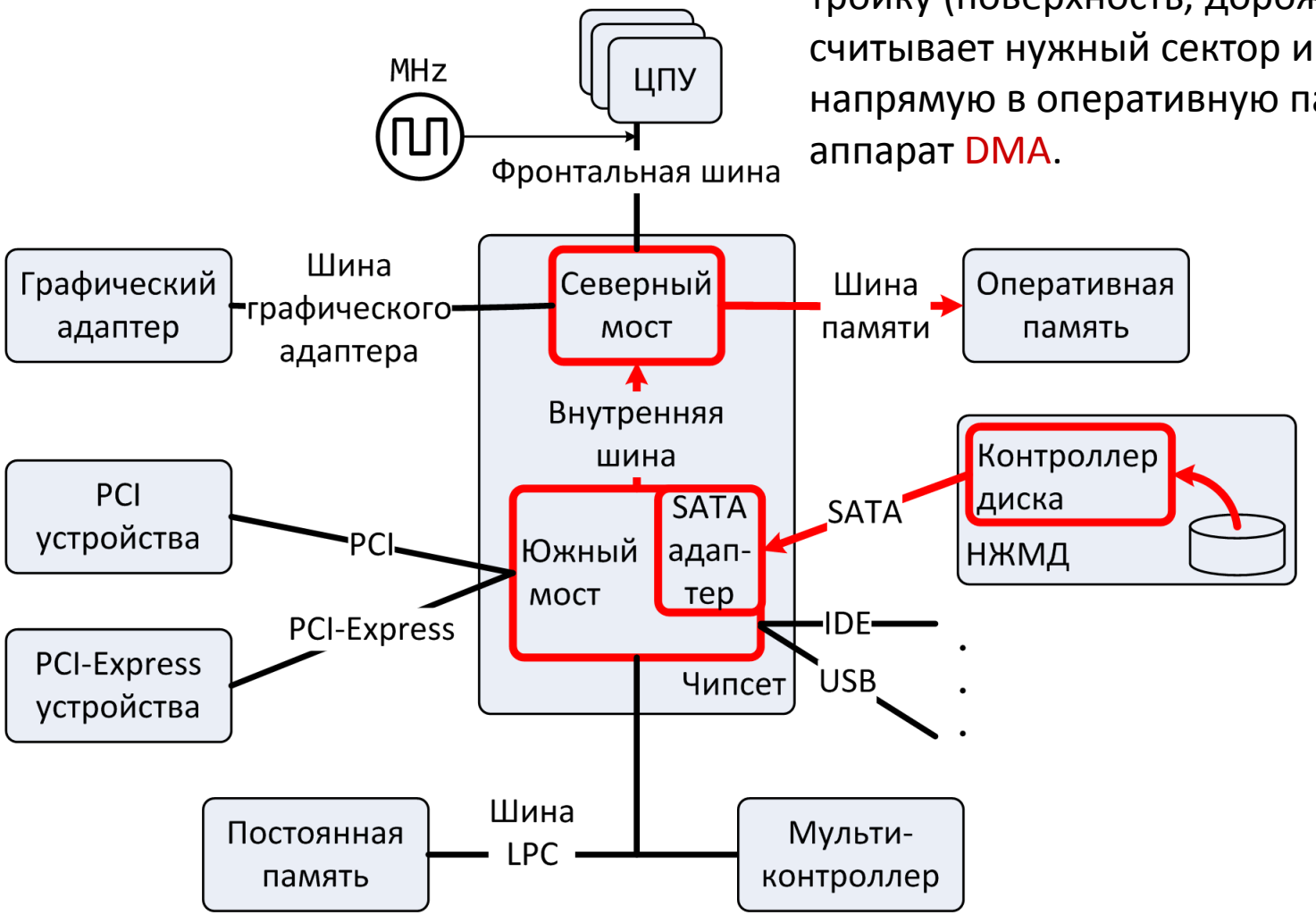
ЦПУ запускает чтение диска, записав по определенному адресу-порту оперативной памяти команду «чтение», номер логического блока, адрес буфера памяти. Порт связан с контроллером диска.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Чтение сектора (2)

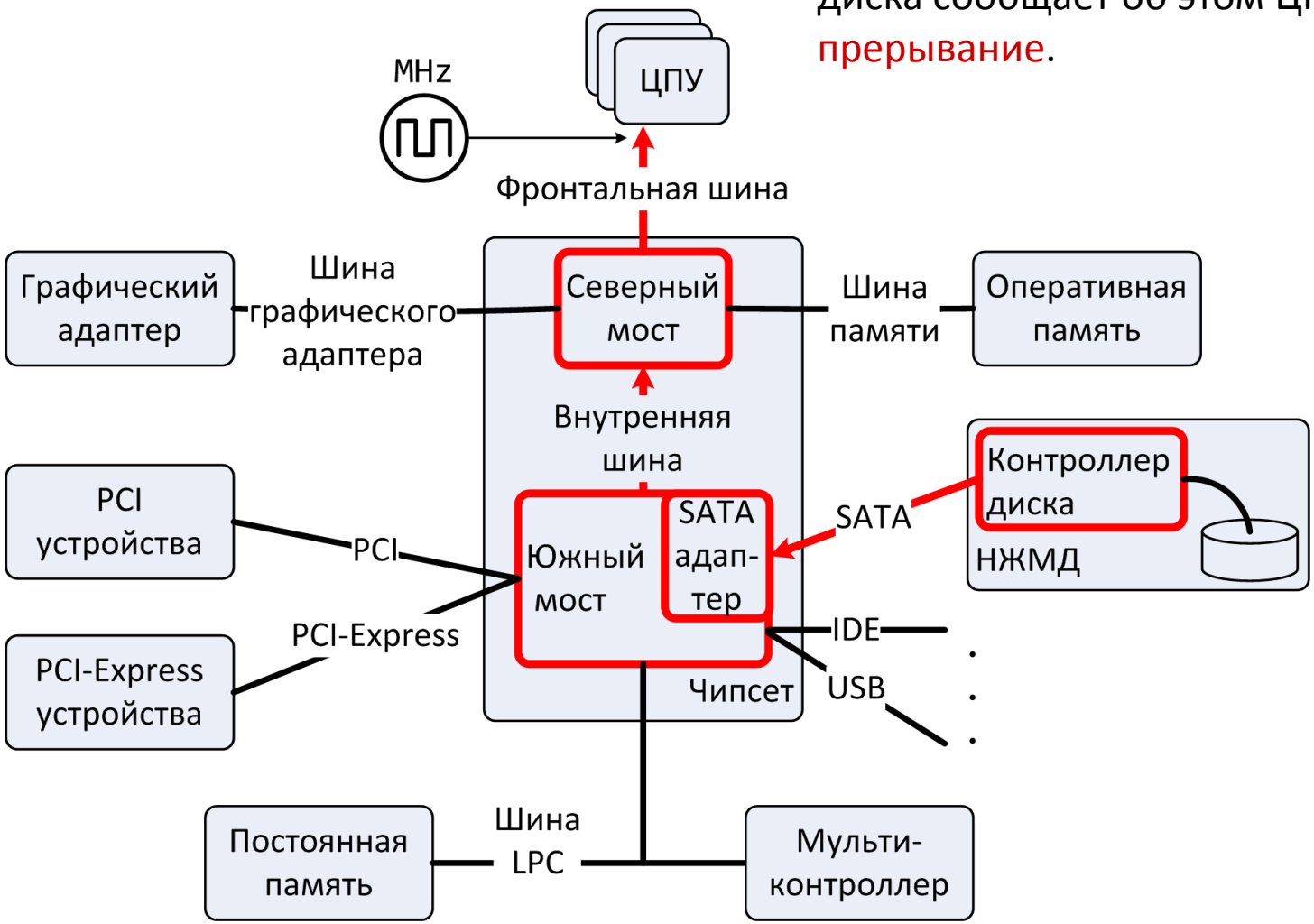
Контроллер диска преобразует номер блока в тройку (поверхность, дорожка, сектор), считывает нужный сектор и передает его напрямую в оперативную память, используя аппарат DMA.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Чтение сектора (3)

Когда DMA-трансферт закончен, контроллер диска сообщает об этом ЦПУ, вызывая прерывание.



© 2012 МГУ/ВМиК/СП

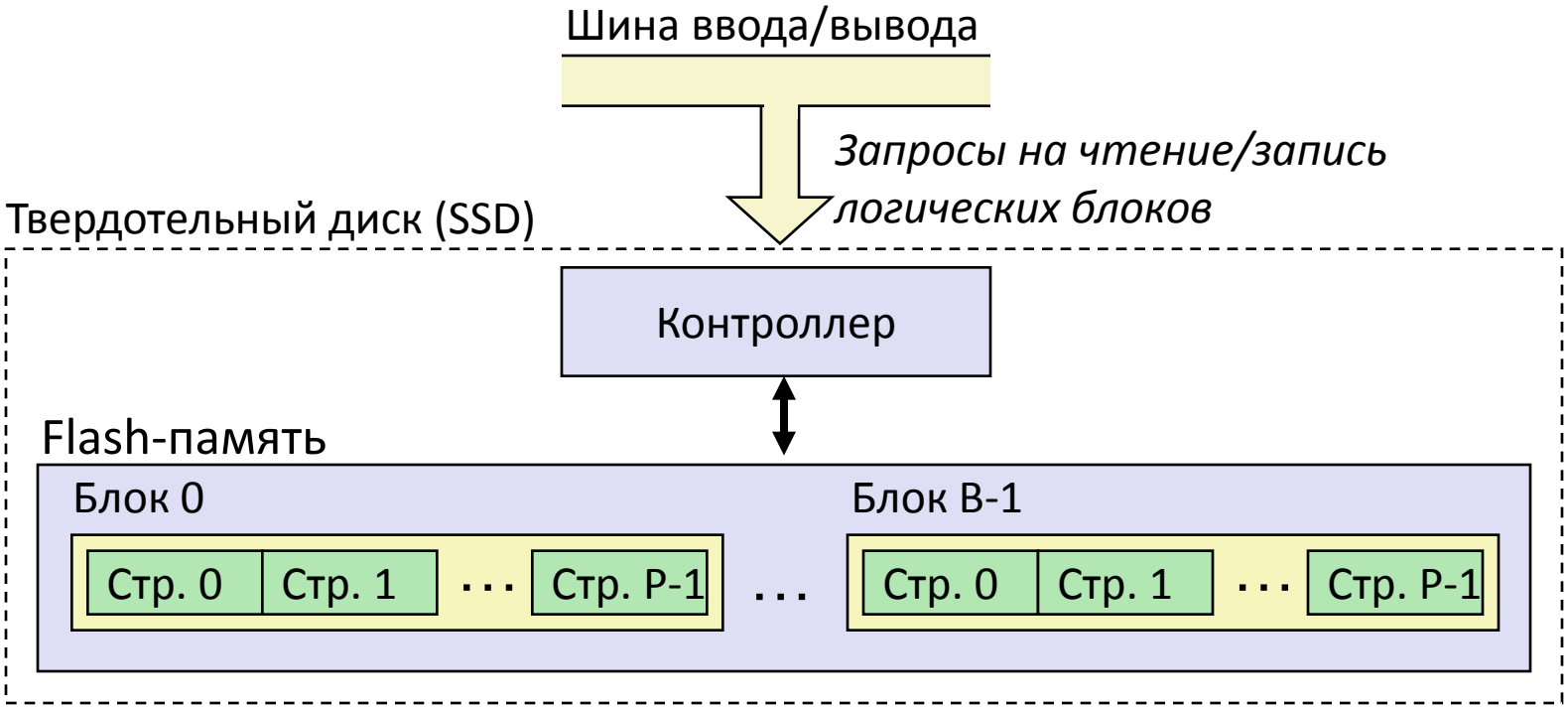
Port IO vs. Memory Mapped IO

- Port IO: помимо пространства памяти вводится дополнительное пространство портов ввода/вывода
  - Работа с периферией: команды in и out
    - Все данные проходят через ЦПУ
  - Удобно при небольшом размере памяти

- Memory Mapped IO: все управляющие регистры устройств отображаются на определенные адреса оперативной памяти
  - Требуется программировать контроллер памяти/северный мост
  - Перекрытая память не используется
  - Существенно более высокая производительность

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Твердотельные диски (SSD)



- Размер
  - страницы: 512 – 4096 байт
  - блоки: 32 – 128 страниц
- Данные читаются/пишутся целыми страницами.
- Стирание данных – весь блок.
- Блок вырабатывается после 100,000 перезаписей.

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Производительность SSD

Последовательное чтение	250 МБ/с	Последовательная запись	170 MB/s
Произвольное чтение	140 МБ/с	Произвольная запись	14 MB/s
Время доступа	30 мкс	Время старта записи 300 мкс	

- Причины малой скорости произвольной записи
  - Высокая длительность стирания блока (≈1 мс.)
  - Запись одной страницы вызывает копирование всех остальных страниц, расположенных в данном блоке
    - Выделить (найти) новый блок и стереть его содержимое
    - Записать станицу в новый блок
    - Скопировать остальные страницы из исходного блока

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

SSD vs. Обычные диски

- Преимущества
  - Нет движущихся частей → более быстрые, меньшее энергопотребление, устойчивы к внешним воздействиям
- Недостатки
  - Ограниченное количество перезаписей
    - Контроллер стремится смягчить износ, распределяя перезаписи
    - Пример: гарантируют возможность произвольной записи 1 петабайта (10^{15} байт) данных до момента выработки
  - В 2010 году, на два порядка дороже
- Применение
  - MP3 плееры, смартфоны, лэптопы
  - Появляются на персоналках и серверах

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Тенденции в развитии запоминающих устройств

SRAM

Метрика	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	*2010:1980*
$/МБ	19,200	2,900	320	256	100	75	60	*320*
t доступа (нс)	300	150	35	15	3	2	1.5	*200*

DRAM

Метрика	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	*2010:1980*
$/МБ	8,000	880	100	30	1	0.1	0.06	*130,000*
t доступа (нс)	375	200	100	70	60	50	40	*9*
Размер (МБ)	0.064	0.256	4	16	64	2,000	8,000	*125,000*

НЖМД

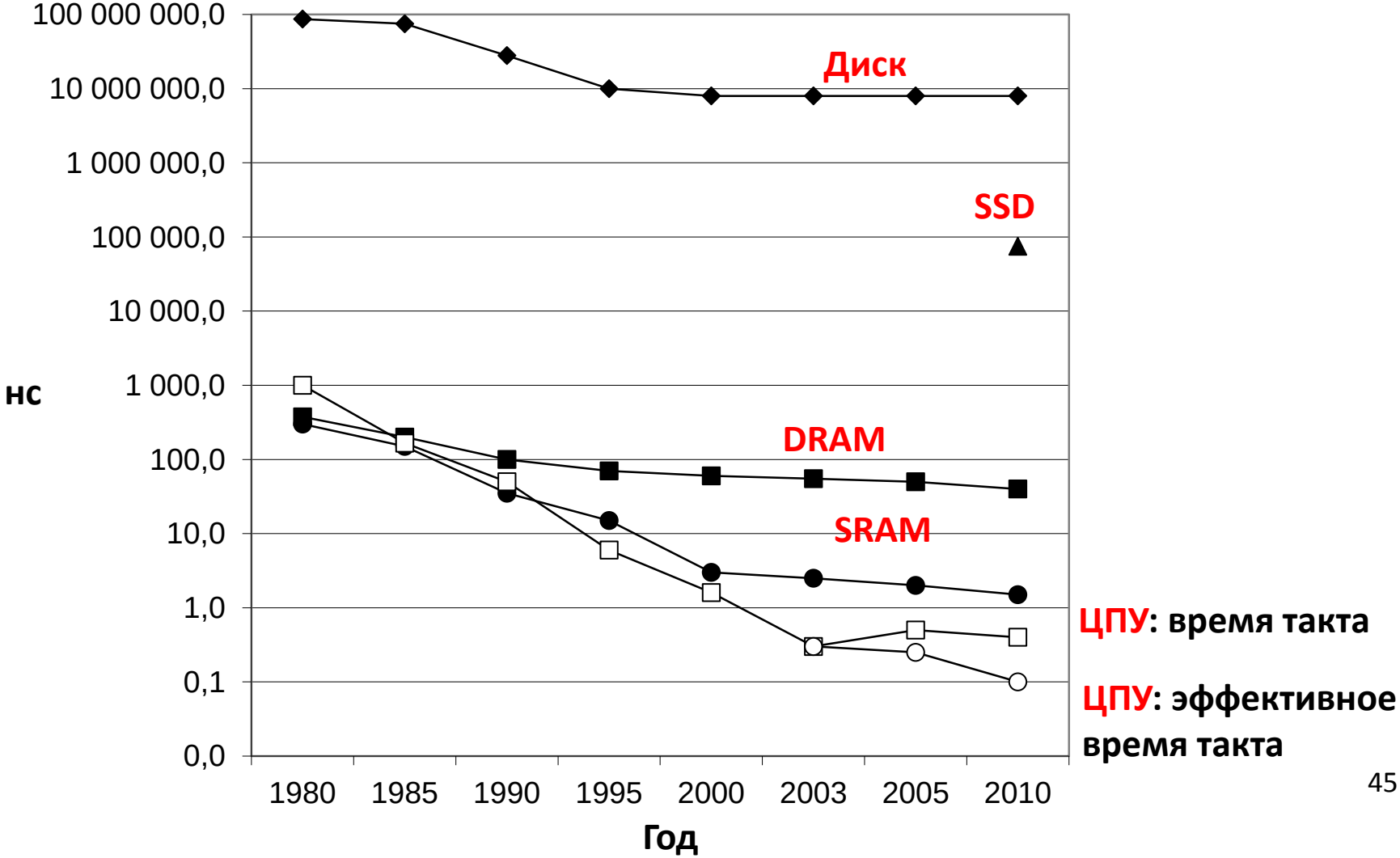
Метрика	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	*2010:1980*
$/МБ	500	100	8	0.30	0.01	0.005	0.0003	*1,600,000*
t доступа (мс)	87	75	28	10	8	*4*	*3*	*29*
Размер (МБ)	1	10	160	1,000	20,000	160,000	1,500,000	*1,500,000*

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Частота ЦПУ

Разработчики аппаратуры столкнулись с “Power Wall”

	1980	1990	1995	2000	2003	2005	2010	*2010:1980*
ЦПУ	**8080**	**386**	**Pentium**	**P-III**	**P-4**	**Core 2**	**Core i7**	**---**
Частота МГц	**1**	**20**	**150**	**600**	**3300**	**2000**	**2500**	**2500**
Длительность такта (нс)	**1000**	**50**	**6**	**1.6**	**0.3**	**0.50**	**0.4**	**2500**
Количество ядер	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**2**	**4**	**4**
Эффективная длительность такта (нс)	**1000**	**50**	**6**	**1.6**	**0.3**	**0.25**	**0.1**	**10,000**

© 2012 МГУ/ВМиК/СП

Разрыв между ЦПУ и памятью