

# Периферия

- Компьютерная система состоит из трех основных компонентов:
  - процессор
  - память
  - устройства ввода/вывода
- Компьютер представляет собой корпус с материнской платой (центральная интегральная схема)
- Материнская плата содержит процессор, разъемы для подключения модулей памяти и различные микросхемы поддержки
- Все эти компоненты соединены шиной, на которой размещены разъемы для подключения устройств (плат) ввода/вывода

# Логическая схема компьютера

- Устройство ввода/вывода состоит из двух частей: **контроллер** (электроника) и непосредственно **физическое устройство**
- Обычно контроллер располагается на материнской плате, но иногда бывает встроен в устройство
- Контроллер управляет устройством ввода/вывода и регулирует доступ к шине
- Контроллер вызывает прерывание, когда заканчивает операцию ввода/вывода (проверка ошибок и завершение процесса ввода/вывода)
- Арбитр шины — специальная микросхема, определяющая порядок (последовательность) доступа к шине процессора и контроллеров (шина одна, а устройств много). Преимущество обычно имеют устройства ввода/вывода, поскольку нежелательно прерывать работу движущихся частей



# Параллельная и последовательная шины

- Параллельная шина: за один цикл (такт) работы шины передаются сразу несколько бит по нескольким физическим проводникам (сигнальным линиям)
  - «+»: высокая скорость
  - «+»: простота устройств
  - «-»: большое количество проводов
  - «-»: ограничения по частоте передачи из-за необходимость синхронизации проводников (явление перекоса) и их взаимного влияния
- Последовательный: биты передаются по одному проводнику (сигнальной линии) друг за другом
  - «-»: низкая скорость при одинаковой частоте передачи
  - «+»: потенциал повышения частоты передачи

# Механизмы взаимодействия процессора (программ) с устройствами

- Регистры I/O (отображенные на пространство I/O или на память)
- Прерывания, сигнализируемые устройствами по линиям (IRQ<sub>x</sub> — ISA, INT<sub>x</sub># — PCI) или сообщениям MSI (PCI)
- Область системной памяти, доступная активным устройствам-мастерам шины (DMA)

# Способы взаимодействия программ с устройствами

- PIO (программно-управляемый обмен) — инструкции I/O (INS/OUTS с префиксом REP отправки группы данных); физическое взаимодействие происходит в момент выполнения инструкций. Простая интерфейсная часть, но высокая нагрузка на ЦПУ.
- DMA (прямой доступ к памяти) – обмен между памятью и устройством без участия ЦПУ
- Прерывания – сигнал от устройства к ЦПУ о событиях, требующих некоторых действий. Иногда прерывания заменяют программно-управляемым опросом устройств (по таймеру)

# Параллельный интерфейс - LPT-порт

- LPT-порт (Line PrinTer — построчный принтер) — изначально использовался для подключения принтера
- 8-битная шина данных, 5-битная шина сигналов состояния и 4-битная шина управляющих сигналов
- В LPT-порте используются логические уровни сигнала, что ограничивает допустимую длину кабеля из-за невысокой помехозащищенности
- С программной точки зрения LPT-порт представляет собой набор регистров, расположенных в пространстве ввода-вывода



# Процедура вывода байта в LPT

- Запись байта в регистр данных
- Чтение из регистра состояния и проверка готовности устройства. Этот шаг за циклируется до получения готовности или до срабатывания программного тайм-аута
- По получению готовности выводом в регистр управления устанавливается строб данных (строб-сигнал о готовности порта к передаче данных), а следующим выводом байта данных строб снимается
- Главный недостаток: невысокая скорость обмена при значительной загрузке процессора
- В последующих модификациях интерфейса (режим EPP) всю работу, связанную с задержками, стробами и проверками берет на себя аппаратная часть хост-контроллера
- Сложно осуществлять ввод

# Последовательный интерфейс — COM-порт

- Универсальный внешний последовательный интерфейс — COM-порт (Communications Port — коммуникационный порт, RS-232), обеспечивает асинхронный обмен
- Основное назначение — подключение коммуникационного оборудования (например, модема) для связи с другими компьютерами, сетями и периферийными устройствами. К порту могут непосредственно подключаться и периферийные устройств с последовательным интерфейсом: принтеры, плоттеры, терминалы, мыши, непосредственная связь двух компьютеров, также подключают электронные ключи
- «Классический» COM-порт позволял осуществлять обмен данными только программно-управляемым способом, при этом для пересылки каждого байта процессору нужно выполнить несколько инструкций



Разъем COM-порта



# Назначение сигналов COM-порта

- PG (Protected Ground) — защитная земля, соединяется с корпусом устройства и экраном кабеля
- SG (Signal Ground) — сигнальная (схемная) земля, относительно которой действуют уровни сигналов
- TD (Transmit Data) — последовательные данные) — выход передатчика
- RD (Receive Data) — последовательные данные) — вход приемника
- RTS (Request To Send) — выход запроса передачи данных: состояние «включено» уведомляет модем о наличии у терминала данных для передачи. В полудуплексном режиме используется для управления направлением) — состояние «включено» служит сигналом модему на переключение в режим передачи
- CIS (Clear To Send) — вход разрешения терминалу передавать данные. Состояние «выключено» запрещает передачу данных. Сигнал используется для аппаратного управления потоками данных
- DSR (Data Set Ready) — вход сигнала готовности от аппаратуры передачи данных (модем в рабочем режиме подключен к каналу и закончил действия по согласованию с аппаратурой на противоположном конце канала)
- DTR (Data Terminal Ready) — выход сигнала готовности терминала к обмену данными. Состояние «включено» поддерживает коммутируемый канал в состоянии соединения
- DCD (Data Carrier Detected) — вход сигнала обнаружения несущей удаленного модема
- RI (Ring Indicator) — вход индикатора вызова (звонка). В коммутируемом канале этим сигналом модем сигнализирует о принятии вызова

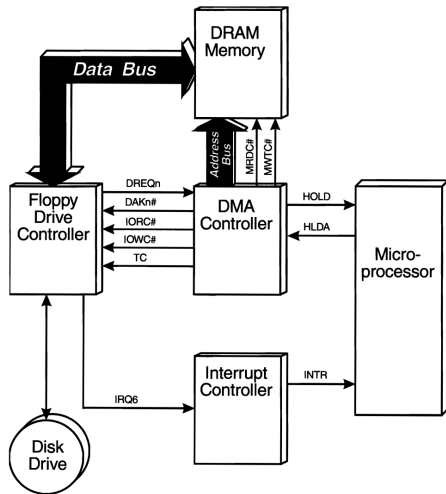
# Назначение сигналов COM-порта

- Установкой DTR компьютер указывает на желание использовать модем.
- Установкой DSR модем сигнализирует о своей готовности и установлении соединения.
- Сигналом RTS компьютер запрашивает разрешение на передачу и заявляет о своей готовности принимать данные от модема.
- Сигналом CTS модем уведомляет о своей готовности к приему данных от компьютера и передаче их в линию.
- Снятием CTS модем сигнализирует о невозможности дальнейшего приема (например, буфер заполнен) — компьютер должен приостановить передачу данных.
- Сигналом CTS модем разрешает компьютеру продолжить передачу (в буфере появилось место).
- Снятие RTS может означать как заполнение буфера компьютера (модем должен приостановить передачу данных в компьютер), так и отсутствие данных для передачи в модем. Обычно в этом случае модем прекращает пересылку данных в компьютер.
- Модем подтверждает снятие RTS сбросом CTS.
- Компьютер повторно устанавливает RTS для возобновления передачи.
- Модем подтверждает готовность к этим действиям.
- Компьютер указывает на завершение обмена.
- Модем отвечает подтверждением.
- Компьютер снимает DTR, что обычно является сигналом на разрыв соединения («повесить трубку»).
- Модем сбросом DSR сигнализирует о разрыве соединения.

# Прямой доступ к памяти (DMA)

- DMA (Direct Memory Access) — метод обмена данными периферийного устройства без участия процессора
- Контроллер DMA — специальная микросхема, которая может получать доступ к системной шине независимо от центрального процессора
- Контроллер DMA, способный выполнять несколько операций параллельно, называется многоканальным

# Пример использования DMA для НГМД



# Contiguous DMA

- Выделяется один буфер достаточно большого размера в оперативной памяти
- Физический адрес (адрес на шине) этого буфера записывается в регистр устройства
- Во время того, как приходят данные на устройство, контроллер устройства инициирует передачу данных по каналу DMA.
- После того, как буфер полностью заполнен, контроллер устройства инициирует прерывание, чтобы сообщить центральному процессору, что буфер следует передать операционной системе
- Драйвер операционной системы обрабатывает прерывание и передает полученные данные из буфера далее по стеку устройств операционной системы

# Scatter write/gather read DMA

- Сложно выделить большой участок свободной физической памяти (из-за фрагментированности и страничной организации)
- Использование нескольких участков памяти, каждый из которых описывается дескриптором
- Дескриптор DMA буфера
  - Адрес участка ОЗУ (адрес на шине), который предназначен для передачи DMA
  - Размер описываемого участка ОЗУ
  - Опциональные флаги и другие специфические аргументы
  - Адрес следующего дескриптора в памяти
- Алгоритм Scatter/gather DMA
  - Драйвер операционной системы выделяет и инициализирует дескрипторы DMA буферов (запрос к операционной системе необходим для получения физического адреса памяти по его логическому адресу)
  - Драйвер выделяет DMA буферы (участки ОЗУ для передачи DMA) и записывает необходимую информацию о них в дескрипторы
  - Устройство, по мере возникновения потребности, заполняет DMA буферы и после того, как заполнен один или несколько буферов, инициирует прерывание
  - Драйвер ОС просматривает все дескрипторы DMA буферов, определяет какие из них были заполнены контроллером устройства, пересылает данные из буфера далее по стеку устройств и помечает буфер как готовый к передаче DMA

# Шина ISA

- Компьютерная шина (computer bus) в архитектуре компьютера — подсистема, служащая для передачи сигналов (данных) между функциональными блоками компьютера
- В устройстве шины можно различить механический, электрический (физический) и логический (управляющий) уровни
- ISA (Industry Standard Architecture): 8- или 16-разрядная шина ввода-вывода IBM PC-совместимых компьютеров
- Служит для подключения плат расширения стандарта ISA
- Частота 8 МГц, скорость до 4 Мбайт/с (два такта на байт)
- 1984 г. — удвоена разрядность данных, увеличилось число линий прерывания и каналов DMA

0Vdc	B01	A01	CHCHK#
RESET	B02	A02	SD7
+5Vdc	B03	A03	SD6
IRQ2/IRQ9	B04	A04	SD5
-5Vdc	B05	A05	SD4
DRQ2	B06	A06	SD3
-12Vdc	B07	A07	SD2
NOWS#	B08	A08	SD1
+12Vdc	B09	A09	SD0
0Vdc	B10	A10	CHRDY
SMWTC#	B11	A11	AEN
SMRDC#	B12	A12	SA19
IOWC#	B13	A13	SA18
IORC#	B14	A14	SA17
DAK3#	B15	A15	SA16
DRQ3	B16	A16	SA15
DAK1#	B17	A17	SA14
DRQ1	B18	A18	SA13
REFRESH#	B19	A19	SA12
BCLK	B20	A20	SA11
IRQ7	B21	A21	SA10
IRQ6	B22	A22	SA9
IRQ5	B23	A23	SA8
IRQ4	B24	A24	SA7
IRQ3	B25	A25	SA6
DAK2#	B26	A26	SA5
TC	B27	A27	SA4
BALE	B28	A28	SA3
+5Vdc	B29	A29	SA2
OSC	B30	A30	SA1
0Vdc	B31	A31	SA0

M16#	D01	C01	SBHE#
IO16#	D02	C02	LA23
IRQ10	D03	C03	LA22
IRQ11	D04	C04	LA21
IRQ12	D05	C05	LA20
IRQ15	D06	C06	LA19
IRQ14	D07	C07	LA18
DAK0#	D08	C08	LA17
DRQ0	D09	C09	MRDC#
DAK5#	D10	C10	MWTC#
DRQ5	D11	C11	SD8
DAK6#	D12	C12	SD9
DRQ6	D13	C13	SD10
DAK7#	D14	C14	SD11
DRQ7	D15	C15	SD12
+5Vdc	D16	C16	SD13
MASTER16#	D17	C17	SD14
0Vdc	D18	C18	SD15

# Шина EISA

- EISA (Extended Industry Standard Architecture): 32-разрядная, подключение более одного процессора
- Частота 8МГц, пиковая производительность около 33Мбайт/с, реальная — около 20 Мбайт/с
- Возможности по автоматическому распределению ресурсов
- Bus mastering — возможность устройствам «подключаться» к шине для начала транзакции. Появляется возможность устройствам взаимодействовать друг с другом
- Burst Mode — передача данных без выполнения действий для начала транзакции



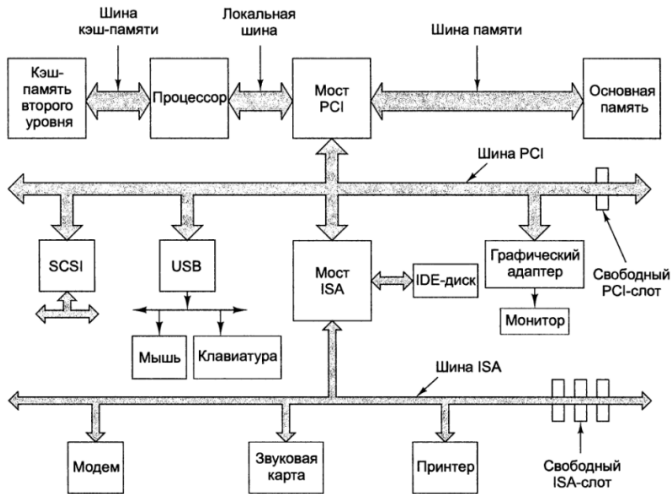
## Шина VESA Local Bus

- VESA (Video Electronics Standards Association) Local Bus — локальная шина для решения проблем «узкого» места производительности графического интерфейса
- Частота 25-40МГц (на частоте процессора), 32-х разрядная
- Предоставляет доступ устройствам (в первую очередь — графическому контроллеру) доступ к шине процессора и памяти с минимумом промежуточной логики.
- Работает совместно с ISA, обрабатывает DMA и отображение портов ввода/вывода на память (ISA обрабатывает прерывания и порты ввода/вывода)
- Использовалась, в основном, с процессорами 80386 и 80486

# Шина PCI

- PCI (Peripheral Component Interconnect) — открытый стандарт, 1992 год
- 32-х и 64-х разрядная, 33-66МГц, 133-533 Мбайт/с, мультиплексированная
- Децентрализованная шина, любое устройство может стать инициатором транзакции. Используется арбитраж с отдельной логикой
- Транзакция состоит из 1 или 2 циклов адреса и одного или многих циклов данных. Транзакция с многими циклами данных называется пакетной (burst)
- Используется для сопряжения шин с разными скоростями (например, шина CPU и ISA) – мост
- Поддержка кэширования
  - posted write: данные принимаются, отправляется ответ «сделано» , после этого данные записываются
  - write combining: несколько запросов posted write с подряд идущими адресами объединяются в одну «взрывную» транзакцию
  - prefetching: выборка сразу большого диапазона адресов одной «взрывной» транзакцией в кэш моста, дальнейшие операции без обращения к шине

# Архитектура компьютера с шиной PCI

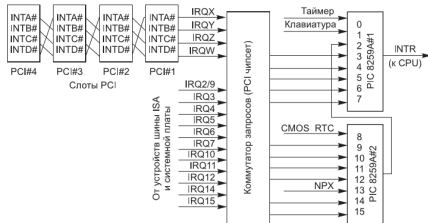


# Автоконфигурирование устройств PCI

- PCI-устройства являются самонастраиваемыми (plug-and-play)
- После старта компьютера операционная система (или BIOS) обследует конфигурационное пространство PCI (достаточно знать номер шины PCI) каждого устройства и распределяет ресурсы
- Каждое устройство может затребовать до шести диапазонов в адресном пространстве памяти или I/O
- Устройства могут содержать код в своем ПЗУ для исполнения на процессоре

# Прерывания на шине PCI

- Прерывания обрабатываются специальным контроллером (коммутатором) — микросхемой
- ISA — прерывание возникает при перепаде сигнала из 0 в 1, поэтому одна линия — одно прерывание
- PCI — активный запрос прерывания — 0. Выходы разных устройств объединяются элементом «И». Пока есть 0 на линии, последовательно вызываются обработчики прерывания, которые проверяют принадлежность прерывания и сбрасывают выход прерывания своего устройства
- Четыре линии — запас для многофункциональных устройств

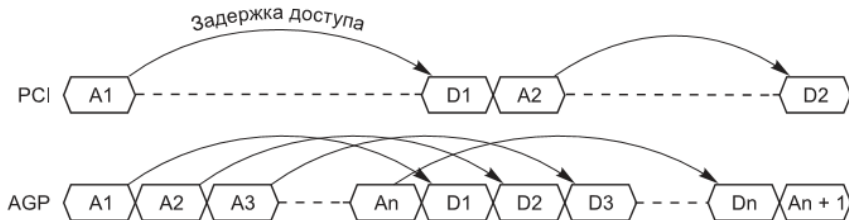


# Шина AGP

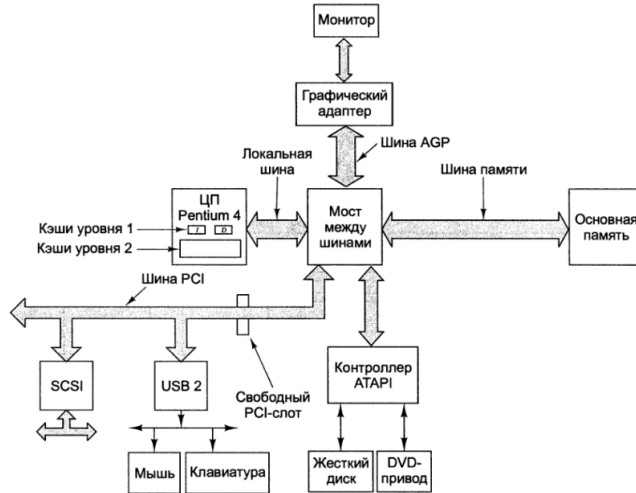
- AGP (Accelerated Graphic Port) — порт ускоренной графики — был введен для подключения графических адаптеров с 3D-акселераторами
- Адаптер содержит:
  - акселератор — специализированный графический процессор;
  - локальную память, используемую как видеопамять и как локальное ОЗУ графического процессора;
  - управляющие и конфигурационные регистры, доступные как локальному, так и центральному процессорам.
- Основная идея AGP заключается в предоставлении акселератору максимально быстрого доступа к системной памяти

# Отличительные особенности AGP

- Конвейеризация обращений к памяти
- Умноженная (2х, 4х, 8х) частота передачи данных
- «Внеполосная» подача команд, обеспеченная демультиплексированием шин адреса и данных. Шина адреса — 8 линий; команда, адрес и длина передаются за несколько тактов



# Набор шин в компьютере с процессором Pentium 4

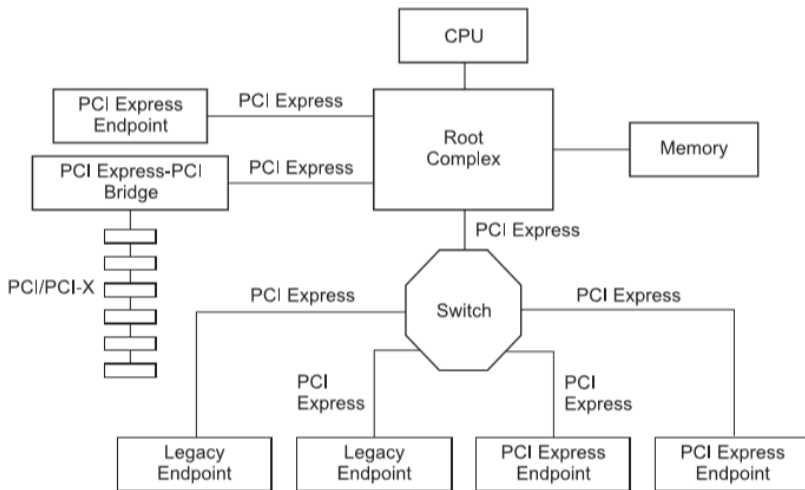




# Шина PCI-E

- PCI Express — шинное соединение заменено на двухточечные последовательные соединения с использованием коммутатора
- PCI Express (PCI Express Link) — это пара встречных симплексных каналов, соединяющих два компонента. По этим каналам передаются пакеты, несущие команды и данные транзакций, сообщения и управляющие посылки
- Управление качеством обслуживания
- Корневой комплекс — соединяет ввод/вывод с процессором и памятью; имеет один или более портов PCI-E

# Топология PCI-E

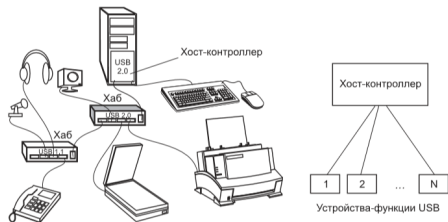


# Шина USB

- Universal Serial Bus — универсальная последовательная шина, 1994-1995 г.г.
- Мотивация
  - Расширение функциональности компьютера: для подключения различных устройств использовались разные интерфейсы, хотелось заменить на единый интерфейс
  - Подключение мобильного телефона
  - Простота для пользователей
- Требования
  - Отсутствие переключателей и перемычек для настройки
  - Отсутствие необходимости открывать компьютер для добавления устройства
  - Один тип кабеля на все устройства
  - Питание через соединительный кабель
  - Подключение большого числа устройств
  - Поддержка устройств реального времени
  - Добавление устройств по время работы компьютера без необходимости его перезагрузки

# Топология шины USB

- Логическая топология USB — звезда
- Шина строго ориентирована, имеются физически разные разъемы «к устройству» и «к хосту»
- Хост (USB-контроллер) — чаще всего микросхема на материнской плате компьютера
- Периферийным устройством может быть разветвитель (хаб, HUB)



# Логическое устройство USB

- Логическое устройство USB представляет собой набор независимых конечных точек (Endpoint, **EP**)
- Каждому логическому устройству USB назначается свой адрес (1-127), уникальный на данной шине USB.
- Каждая конечная точка логического устройства идентифицируется своим номером (0-15) и направлением передачи (**IN** — передача к хосту, **OUT** — от хоста). Например, точки **IN4** и **OUT4** представляют собой разные конечные точки, с которыми могут общаться приложения
- Набор конечных точек зависит от устройства. Всякое устройство USB обязательно имеет двунаправленную конечную точку 0 (**EP0**), через которую осуществляется его общее управление.
- Для прикладных целей используются конечные точки с номерами 1-15 (1-2 для низкоскоростных устройств).
- Адрес устройства, номер и направление конечной точки однозначно идентифицируют приемник или источник информации при обмене хост-контроллера с устройствами USB. Каждая конечная точка имеет набор характеристик, описывающих поддерживаемый тип передачи данных (изохронные данные, массивы, прерывания, управляющие передачи), размер пакета, требования к частоте обслуживания.

# Коммуникационные каналы USB

- Совокупность конечной точки и структур данных в ядре ОС называется каналом
- Управляющий канал предназначен для обмена с устройством короткими пакетами «вопрос-ответ». Любое устройство имеет управляющий канал 0, который позволяет программному обеспечению ОС прочитать краткую информацию об устройстве, в том числе коды производителя и модели, используемые для выбора драйвера, а также список других конечных точек.
- Канал прерывания позволяет доставлять короткие пакеты и в обоих направлениях, без получения на них ответа/подтверждения, но с гарантией времени доставки — пакет будет доставлен не позже, чем через  $N$  миллисекунд. Используется в устройствах ввода (клавиатуры/мыши/джойстики).
- Изохронный канал позволяет доставлять пакеты без гарантии доставки и без ответов/подтверждений, но с гарантированной скоростью доставки в  $N$  пакетов на один период шины (1 кГц у low и full speed, 8 МГц у high speed). Используется для передачи аудио- и видеоинформации.
- Поточный канал дает гарантию доставки каждого пакета, поддерживает автоматическую приостановку передачи данных по нежеланию устройства (переполнение или опустошение буфера), но не дает гарантий скорости и задержки доставки (принтеры, сканеры).

# Пакетная передача в USB

- Время шины делится на периоды.
- В начале периода контроллер передает всей шине пакет «начало периода».
- Далее в течение периода передаются пакеты прерываний, потом изохронные в требуемом количестве, в оставшееся время в периоде передаются управляющие пакеты и в последнюю очередь поточные.
- Активной стороной шины всегда является контроллер, передача пакета данных от устройства к контроллеру реализована как короткий вопрос контроллера и длинный, содержащий данные, ответ устройства.
- Расписание движения пакетов для каждого периода шины создается совместным усилием аппаратуры контроллера и ПО драйвера

