

*Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

## **ОТЧЕТ**

По лабораторной работе №1 (часть 2)

По курсу: «Операционные системы»

Тема: «Функции обработчика прерывания от системного таймера.

Пересчет динамических приоритетов»

Студент:

Жабин Д. В.

Группа:

ИУ7-54Б

Преподаватель:

Рязанова Н. Ю.

Москва, 2021

# 1 Функции обработчика прерывания от системного таймера

## 1.1 UNIX

**По тикку:**

- Инкремент счетчика использования процессора текущим процессом.
- Инкремент часов и других таймеров системы.
- Декремент счетчика времени, оставшегося до отправки отложенных вызовов на выполнение и отправка отложенных вызовов на выполнение при достижении нулевого значения счетчика.
- Декремент кванта.

**По главному тикку:**

- Добавление в очередь отложенных вызовов функций планировщика.
- Пробуждение системных процессов `swapper` и `pagedaemon`.
- Декремент счетчиков времени, оставшегося до отправки сигналов тревоги:
  - `SIGALRM` — сигнал будильника реального времени, который по истечении заданного промежутка реального времени;
  - `SIGPROF` — сигнал будильника профиля процесса, который измеряет время работы процесса;
  - `SIGVTALRM` — сигнал будильника виртуального времени, который измеряет время работы процесса в режиме задачи.

**По кванту:**

- При превышении текущим процессом выделенного кванта, отправка сигнала `SIGXCPU` этому процессу.

## 1.2 Windows

**По тикку:**

- Инкремент счетчика системного времени.
- Декремент счетчиков отложенных задач.
- Декремент остатка кванта текущего потока.
- Активация обработчика ловушки профилирования ядра.

**По главному тикку:**

- Инициализация диспетчера настройки баланса путем освобождения объекта «событие», на котором он ожидает.

**По кванту:**

- Инициализация диспетчеризации потоков добавлением соответствующего объекта DPC в очередь.

## 2 Пересчет динамических приоритетов

### 2.1 UNIX

Классическое ядро UNIX является строго невытесняемым. Это означает, что если процесс выполняется в режиме ядра, то ядро не заставит этот процесс уступить процессорное время какому-либо более приоритетному процессу. Выполняющийся процесс может освободить процессор в случае своего блокирования в ожидании ресурса, иначе он может быть вытеснен при переходе в режим задачи. Такая реализация ядра позволяет решить множество проблем синхронизации, связанных с доступом нескольких процессов к одним и тем же структурам данных ядра. Однако современные ядра Linux, начиная с версии 2.5, являются полностью вытесняемыми, так как должны обеспечивать работу процессов реального времени.

#### 2.1.1 Приоритеты процессов

Приоритет процесса в UNIX задается числом в диапазоне от 0 до 127, причем чем меньше значение, тем выше приоритет. Приоритеты 0–49 зарезервированы ядром операционной системы, прикладные процессы могут обладать приоритетом в диапазоне от 50 до 127. Структура `proc` содержит следующие поля, относящиеся к приоритетам:

- `p_pri` — текущий приоритет планирования;
- `p_usrpri` — приоритет режима задачи;
- `p_cpu` — результат последнего измерения использования процессора;
- `p_nice` — фактор «любезности», устанавливаемый пользователем.

Планировщик использует поле `p_pri` для принятия решения о том, какой процесс отправить на выполнение. Значения `p_pri` и `p_usrpri` идентичны, когда процесс находится в режиме задачи. Когда процесс просыпается

после блокировки в системном вызове, его приоритет временно повышается. Планировщик использует `p_usrpri` для хранения приоритета, который будет назначен процессу при переходе из режима ядра в режим задачи, а `p_pri` — для хранения временного приоритета для выполнения в режиме ядра. Ядро связывает приоритет сна (0–49) с событием или ожидаемым ресурсом, из-за которого процесс может быть заблокирован. Когда заблокированный процесс просыпается, ядро устанавливает `p_pri`, равное приоритету сна события или ресурса, на котором он был заблокирован, следовательно, такой процесс будет назначен на выполнение раньше, чем другие процессы в режиме задачи. В таблице 2.1 приведены значения приоритетов сна для систем 4.3BSD UNIX и SCO UNIX (OpenServer 5.0). Такой подход позволяет системным вызовам быстрее завершать свою работу. По завершении процессом системного вызова его приоритет сбрасывается в значение текущего приоритета в режиме задачи. Если при этом приоритет окажется ниже, чем приоритет другого запущенного процесса, ядро произведет переключение контекста.

Событие	Приоритет 4.3BSD UNIX	Приоритет SCO UNIX
Ожидание загрузки в память страницы	0	95
Ожидание индексного дескриптора	10	88
Ожидание ввода–вывода	20	81
Ожидание буфера	30	80
Ожидание терминального ввода	30	75
Ожидание терминального вывода	30	74
Ожидание завершения выполнения	30	73
Ожидание события	40	66

Таблица 2.1: Системные приоритеты сна

Приоритет в режиме задачи зависит от «любезности» и последней измеренной величины использования процессора. Степень любезности — это число в диапазоне от 0 до 39 со значением 20 по умолчанию. Степень любезности называется так потому, что одни пользователи могут быть поставлены в более выгодные условия другими пользователями посредством увеличения кем-либо из последних значения уровня любезности для своих менее важных процессов. Системы разделения времени стараются выделить процессорное время таким образом, чтобы все процессы системы получили его в примерно равных количествах, что требует слежения за

использованием процессора. Поле `p_cpu` содержит величину последнего измерения использования процессора процессом. При создании процесса это поле инициализируется нулем. На каждом тике обработчик таймера увеличивает `p_cpu` на единицу для текущего процесса, вплоть до максимального значения — 127. Каждую секунду ядро вызывает процедуру `schedcpu`, которая уменьшает значение `p_cpu` каждого процесса исходя из фактора «полураспада». В 4.3 BSD для расчета применяется формула

$$decay = \frac{2 * load\_average}{2 * load\_average + 1},$$

где `load_average` — это среднее количество процессов в состоянии готовности за последнюю секунду. Кроме того, процедура `schedcpu` также пересчитывает приоритеты режима задачи всех процессов по формуле

$$p_{usrpri} = PUSER + \frac{p\_cpu}{4} + 2 * p\_nice,$$

где `PUSER` — базовый приоритет в режиме задачи, равный 50. Таким образом, если процесс до вытеснения другим процессом использовал большое количество процессорного времени, его `p_cpu` будет увеличен, что приведет к увеличению значения `p_usrpri`, и, следовательно, к понижению приоритета. Чем дольше процесс простаивает в очереди на выполнение, тем меньше его `p_cpu`. Это позволяет предотвратить зависания низкоприоритетных процессов. Если процесс большую часть времени выполнения тратит на ожидание ввода-вывода, то он остается с высоким приоритетом. В системах разделения времени фактор использования процессора обеспечивает справедливость при планировании процессов. Фактор полураспада обеспечивает экспоненциально взвешенное среднее значение использования процессора в течение функционирования процесса. Формула, применяемая в SVR3 имеет недостаток: вычисляя простое экспоненциальное среднее, она способствует росту приоритетов при увеличении загрузки системы.

## 2.2 Windows

В системе Windows реализовано вытесняющее планирование на основе уровней приоритета, при котором выполняется готовый поток с наивысшим приоритетом. Процессорное время, выделенное на выполнение потока, называется квантом. Если поток с более высоким приоритетом готов к выполнению, то он вытесняет текущий поток, даже если квант

текущего потока не истек. В Windows за планирование отвечает совокупность процедур ядра, называемая диспетчером ядра. Диспетчеризация может быть вызвана, если:

- поток готов к выполнению;
- истек квант текущего потока;
- поток завершается или переходит в состояние ожидания;
- изменился приоритет потока;
- изменилась привязка потока к процессору.

### 2.2.1 Приоритеты потоков

В системе предусмотрено 32 уровня приоритетов: уровни реального времени (16–31), динамические уровни (1–15) и системный уровень (0). Уровни приоритета потоков назначаются Windows API и ядром операционной системы. Windows API сортирует процессы по классам приоритета, которые были назначены при их создании:

- реального времени — Real-time (4);
- высокий — High (3);
- выше обычного — Above Normal (6);
- обычный — Normal (2);
- ниже обычного — Below Normal (5);
- простой — Idle (1).

Затем назначается относительный приоритет потоков в рамках процессов:

- критичный по времени — Time-critical (15);
- наивысший — Highest (2);
- выше обычного — Above-normal (1);
- обычный — Normal (0);
- ниже обычного — Below-normal (-1);

- низший — Lowest (-2);
- простой — Idle (-15).

Относительный приоритет — это приращение к базовому приоритету процесса. Соответствие между приоритетами Windows API и ядра системы приведено в таблице 2.2.

	Real-time	High	Above-Normal	Normal	Below-Normal	Idle
Time Critical	31	15	15	15	15	15
Highest	26	15	12	10	8	6
Above Normal	25	14	11	9	7	5
Normal	24	13	10	8	6	4
Below Normal	23	12	9	7	5	3
Lowest	22	11	8	6	4	2
Idle	16	1	1	1	1	1

Таблица 2.2: Соответствие между приоритетами Windows API и ядра Windows

Каким бы образом ни формировался приоритет потока, с точки зрения планировщика Windows важно только значение приоритета. Процесс обладает только базовым приоритетом, тогда как поток имеет базовый, который наследуется от приоритета процесса, и текущий приоритет. Операционная система может на короткие интервалы времени повышать приоритеты потоков из динамического диапазона, но никогда не регулирует приоритеты потоков в диапазоне реального времени. Приложения пользователя запускаются, как правило, с базовым приоритетом Normal. Некоторые системные процессы имеют приоритет выше 8, следовательно, это гарантирует, что потоки в этих процессах будут запускаться с более высоким приоритетом. Система повышает приоритет текущего потока в следующих случаях:

- по завершении операции ввода-вывода;
- по окончании ожидания на событии или семафоре исполнительной системы;
- по окончании ожидания потоками активного процесса;
- при пробуждении GUI-потоков из-за операции с окнами;



- если поток, готовый к выполнению, задерживается из-за нехватки процессорного времени.

Повышение приоритета применяется только к потокам из динамического диапазона (1–15) и, независимо от приращения, приоритет потока не может оказаться выше 15.

### 2.2.2 Повышение приоритета по завершении операции ввода-вывода

По окончании определенных операций ввода-вывода Windows временно повышает приоритет потоков и потоки, ожидающие завершения этих операций, имеют больше шансов немедленно возобновить выполнение и обработать полученные от устройств ввода-вывода данные. Драйвер устройства ввода-вывода через функцию `IoCompleteRequest` указывает на необходимость повышения приоритета после выполнения соответствующего запроса. В таблице 2.3 приведены приращения приоритетов.

Устройство	Приращение
Диск, CD-ROM, параллельный порт, видео	1
Сеть, почтовый ящик, именованный канал, последовательный порт	2
Клавиатура, мышь	6
Звуковая плата	8

Таблица 2.3: Рекомендованные приращения приоритета

Приоритет потока всегда повышается относительно базового приоритета. На рисунке 2.1 показано, что после повышения приоритета поток в течение одного кванта выполняется с повышенным приоритетом, а затем приоритет снижается на один уровень с каждым последующим квантом. Цикл продолжается до тех пор, пока приоритет не снизится до базового.

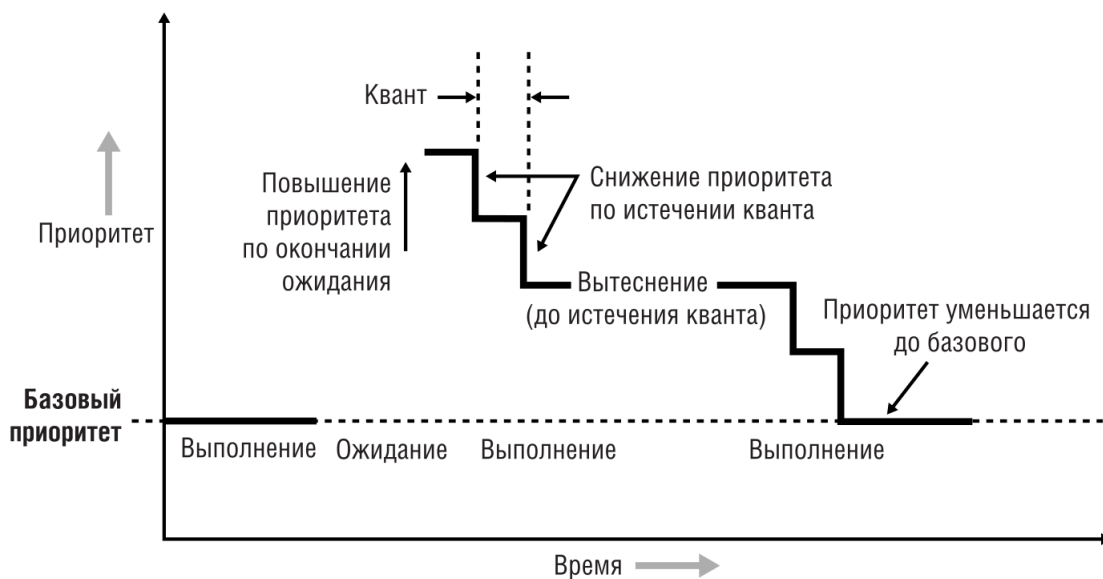


Рис. 2.1: Динамическое изменение приоритета

### 2.2.3 Повышение приоритета по окончании ожидания на событии или семафоре

Если ожидание потока на событии системы или семафоре успешно завершается из-за вызова `SetEvent`, `PulseEvent` или `ReleaseSemaphore`, его приоритет повышается на 1. Такая регулировка, как и в случае с окончанием операции ввода-вывода, позволяет более равномерно распределить процессорное время — потокам, блокируемым на событиях, процессорное время требуется реже, чем остальным. В данном случае действуют те же правила повышения приоритета. К потокам, пробуждающимся в результате установки события вызовом функций `NtSetEventBoostPriority` и `KeSetEventBoostPriority`, повышение приоритета применяется особым образом.

### 2.2.4 Повышение приоритета по окончании ожидания потоками активного процесса

Если поток в активном процессе завершает ожидание на объекте ядра, функция ядра `KiUnwaitThread` повышает его текущий приоритет на величину значения `PsPrioritySeparation`. `PsPrioritySeparation` — это индекс в таблице квантов, с помощью которой выбираются величины квантов для потоков активных процессов. Какой процесс является в данный момент активным, определяет подсистема управления окнами. В данном случае приоритет повышается для создания преимуществ ин-

теративными приложениям по окончании ожидания, в результате чего повышаются шансы на немедленное возобновление потока приложения. Важной особенностью данного вида повышения приоритета является то, что он поддерживается всеми системами Windows и не может быть отключен даже функцией `SetThreadPriorityBoost`.

### **2.2.5 Повышение приоритета при пробуждении GUI-потоков**

Приоритет потоков окон пользовательского интерфейса повышается на 2 после их пробуждения из-за активности подсистемы управления окнами. Приоритет повышается по той же причине, что и в предыдущем случае — для увеличения отзывчивости интерактивных приложений.

### **2.2.6 Повышение приоритета при нехватке процессорного времени**

Раз в секунду диспетчер настройки баланса — системный поток, предназначенный для выполнения функций управления памятью — сканирует очереди готовых потоков и ищет потоки, которые находятся в состоянии готовности в течение примерно 4 секунд. Диспетчер настройки баланса повышает приоритет таких потоков до 15. Причем в Windows 2000 и Windows XP квант потока удваивается относительно кванта процесса, а в Windows Server 2003 квант устанавливается равным 4 единицам. По истечении кванта приоритет потока снижается до исходного уровня. Если потоку все еще не хватило процессорного времени, то после снижения приоритета он возвращается в очередь готовых процессов. Через 4 секунды он может снова получить повышение приоритета. Чтобы свести к минимуму расход процессорного времени, диспетчер настройки баланса сканирует только 16 готовых потоков за раз, а повышает приоритет не более чем у 10 потоков за раз. Диспетчер настройки баланса не решает всех проблем с приоритетами потоков, однако позволяет потокам, которым не хватает процессорного времени, получить его.

### **2.2.7 Уровни запросов прерываний**

Windows использует схему приоритетов прерываний, называемую уровни запросов прерываний (IRQL). Внутри ядра IRQL представляются в виде номеров от 0 до 31 для систем x86. Ядро определяет стандартный

набор IRQL для программных прерываний, а HAL связывает IRQL с номерами аппаратных прерываний (см. рис. 2.2).

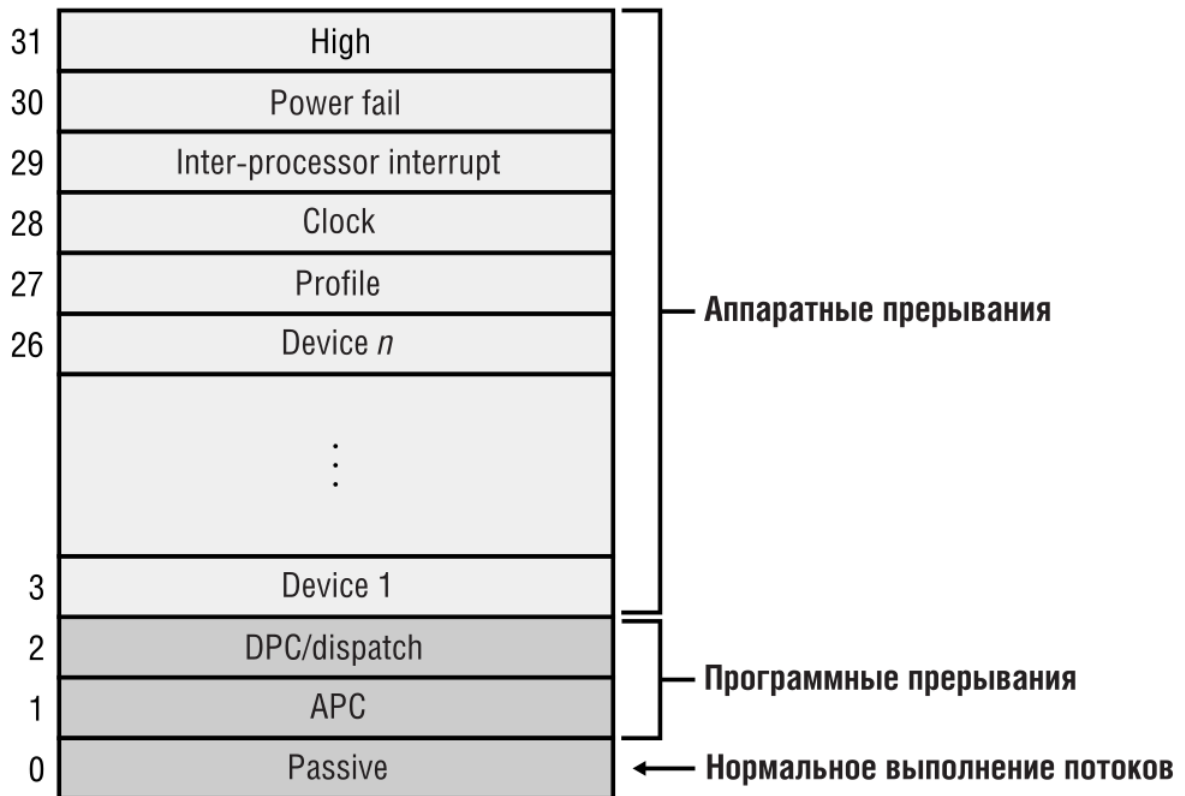


Рис. 2.2: Уровни запросов прерываний

Прерывания обслуживаются в порядке их приоритета. Прерывания с бóльшим приоритетом вытесняют прерывания с меньшим приоритетом. При возникновении прерывания с высоким приоритетом процессор сохраняет информацию о состоянии прерванного потока и активизирует сопоставленный с данным прерыванием диспетчер ловушки. Последний повышает IRQL и вызывает процедуру обслуживания прерывания — ISR. После выполнения ISR диспетчер прерывания понижает IRQL до исходного уровня и загружает сохраненные ранее данные о состоянии машины. Прерванный поток возобновляется с той точки, где он был прерван. Когда ядро понижает IRQL, могут начать обрабатываться ранее замаскированные прерывания с более низким приоритетом. Тогда вышеописанный процесс повторяется ядром для обработки и этих прерываний.

# Заключение

Операционные системы UNIX и Windows являются системами разделения времени с вытеснением. В связи с этим обработчики прерываний от системного таймера в них выполняют схожие функции:

- инкремент счетчика системного времени;
- декремент кванта;
- добавление функций планировщика в очередь отложенных вызовов;
- декремент счетчиков времени, оставшегося до выполнения отложенных вызовов;
- отправка отложенных вызовов на выполнение.

Декремент кванта является основной функцией обработчика прерывания от системного таймера. Классическое ядро UNIX является строго невытесняющим. Ядра Linux, начиная с версии 2.5, и ядра операционных систем Windows являются полностью вытесняющими для обеспечения работы процессов реального времени.