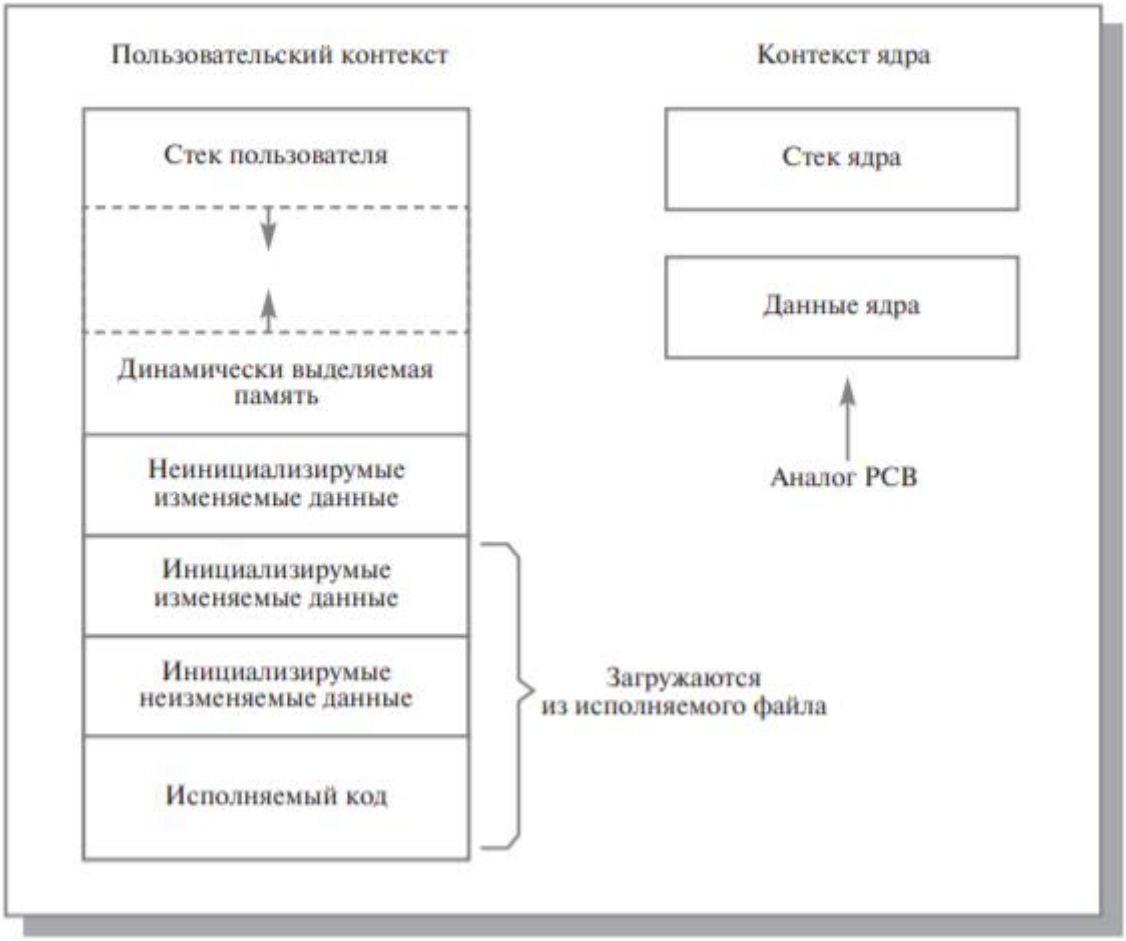
Семинары 3-4. Процессы в операционной системе UNIX

Понятие процесса в UNIX. Его контекст

Всё построение операционной системы UNIX основано на использовании концепции процессов, которая обсуждалась на лекции. Контекст процесса складывается из пользовательского контекста и контекста ядра.



Под пользовательским контекстом процесса понимают код и данные, расположенные в адресном пространстве процесса. Все данные подразделяются на:

- инициализируемые неизменяемые данные (например, константы);
- инициализируемые изменяемые данные (все переменные, начальные значения которых присваиваются на этапе компиляции);
- неинициализируемые изменяемые данные (все статические переменные, которым не присвоены начальные значения на этапе компиляции);
- стек пользователя;
- данные, расположенные в динамически выделяемой памяти (например, с помощью стандартных библиотечных C функций *malloc()*, *calloc()*, *realloc()*).

Исполняемый код и инициализируемые данные составляют содержимое файла программы, который исполняется в контексте процесса. Пользовательский стек применяется при работе процесса в пользовательском режиме (user-mode).

Под понятием «контекст ядра» объединяются системный контекст и регистровый контекст, рассмотренные на лекции. Мы будем выделять в контексте ядра стек ядра, который используется при работе процесса в режиме ядра (kernel mode), и данные ядра, хранящиеся в структурах, являющихся аналогом блока управления процессом — PCB. Состав данных ядра будет уточняться на последующих семинарах. На этом занятии вам достаточно знать, что в данные ядра входят: идентификатор пользователя — UID, групповой идентификатор пользователя — GID, идентификатор процесса — PID, идентификатор родительского процесса — PPID.

Идентификация процесса

Каждый процесс в операционной системе получает уникальный идентификационный номер – PID (Process IDentificator). При создании нового процесса операционная система пытается присвоить ему свободный номер больший, чем у процесса, созданного перед ним. Если таких свободных номеров не оказывается (например, мы достигли максимально возможного номера для процесса), то операционная система выбирает минимальный номер из всех свободных номеров. В операционной системе Linux присвоение идентификационных номеров процессов начинается с номера 0, который получает процесс *kernel* при старте операционной системы. Этот номер впоследствии не может быть присвоен никакому другому процессу. Максимально возможное значение для номера процесса в Linux на базе 32-разрядных процессоров Intel составляет 2^31 – 1.

Состояния процесса. Краткая диаграмма состояний

Модель состояний процессов в операционной системе UNIX представляет собой детализацию модели состояний, принятой в лекционном курсе.

Как мы видим, состояние процесса ***исполнение*** расщепилось на два состояния: ***исполнение в режиме ядра*** и ***исполнение в режиме пользователя***. В состоянии ***исполнение в режиме пользователя*** процесс выполняет прикладные инструкции пользователя. В состоянии ***исполнение в режиме ядра*** выполняются инструкции ядра операционной системы в контексте текущего процесса (например, при обработке системного вызова или прерывания). Из состояния ***исполнение в режиме пользователя*** процесс не может непосредственно перейти в состояния ***ожидание***, ***готовность*** и ***закончил исполнение***. Такие переходы возможны только через промежуточное состояние ***исполнение в режиме ядра***. Также запрещён прямой переход из состояния ***готовность*** в состояние ***исполнение в режиме пользователя***.

Приведённая выше диаграмма состояний процессов в UNIX не является полной. Она показывает только состояния, для понимания которых достаточно уже полученных знаний.

Иерархия процессов

В операционной системе UNIX все процессы, кроме одного, создающегося при старте операционной системы, могут быть порождены только какими-либо другими процессами. В качестве прародителя всех остальных процессов в подобных UNIX-системах могут выступать процессы с номерами 1 или 0. В операционной системе Linux таким родоначальником, существующим только при загрузке системы, является процесс *kernel* с идентификатором 0.

Таким образом, все процессы в UNIX связаны отношениями процесс-родитель – процесс-ребенок и образуют генеалогическое дерево процессов. Для сохранения целостности генеалогического дерева в ситуациях, когда процесс-родитель завершает свою работу до завершения выполнения процесса-ребенка, идентификатор родительского процесса в данных ядра процесса-ребенка (PPID – Parent Process IDentificator) изменяет свое значение на значение 1, соответствующее идентификатору процесса *init*, время жизни которого определяет время функционирования операционной системы. Тем самым процесс *init* как бы усыновляет осиротевшие процессы. Наверное, логичнее было бы заменять PPID не на значение 1, а на значение идентификатора ближайшего существующего процесса-прародителя умершего процесса-родителя, но в UNIX почему-то такая схема реализована не была.

***Примечание**: В 2010 появилась подсистема инициализации и управления службами systemd. За десятилетие она практически вытеснила init, поэтому очень вероятно, что усыновленные процессы будут иметь идентификатор пользовательского процесса systemd, а не идентификатор init.*

Системные вызовы getppid() и getpid()

Данные ядра, находящиеся в контексте ядра процесса, не могут быть прочитаны процессом непосредственно. Для получения информации о них процесс должен совершить соответствующий системный вызов. Значение идентификатора текущего процесса может быть получено с помощью системного вызова *getpid()*, а значение идентификатора родительского процесса для текущего процесса – с помощью системного вызова *getppid()*. Прототипы этих системных вызовов и соответствующие типы данных описаны в системных файлах <*sys/types.h*> и <*unistd.h*>. Системные вызовы не имеют параметров и возвращают идентификатор текущего процесса и идентификатор родительского процесса соответственно.

```
Прототипы системных вызовов

#include <sys/types.h>

#include <unistd.h>



pid_t getpid(void);

pid_t getppid(void);



Описание системных вызовов

Системный вызов getpid возвращает идентификатор текущего процесса.

Системный вызов getppid возвращает идентификатор процесса-родителя для текущего
процесса.

Тип данных pid_t является синонимом для одного из целочисленных типов языка C.
```

Создание процесса в UNIX. Системный вызов fork()

В операционной системе UNIX новый процесс может быть порожден единственным способом – с помощью системного вызова *fork()*. При этом вновь созданный процесс будет являться практически полной копией родительского процесса. У порождённого процесса по сравнению с родительским процессом (на уровне уже полученных знаний) изменяются значения следующих параметров:

- идентификатор процесса – PID;
- идентификатор родительского процесса – PPID.

Дополнительно может измениться поведение порождённого процесса по отношению к некоторым сигналам, о чём подробнее будет рассказано на семинарах 14–15, когда мы будем говорить о сигналах в операционной системе UNIX.

```
Прототип системного вызова

#include <sys/types.h>

#include <unistd.h>



pid_t fork(void);



Описание системного вызова

Системный вызов fork служит для создания нового процесса в операционной системе UNIX.

Процесс, который  инициировал системный вызов fork, принято называть родительским
процессом (parent process).

Вновь порождённый процесс принято называть процессом-ребенком (child process).

Процесс-ребенок является почти полной копией родительского процесса.

У порождённого процесса по сравнению с родительским изменяются значения следующих
параметров:

* идентификатор процесса;

* идентификатор родительского процесса;

* время, оставшееся до получения сигнала SIGALRM;

* сигналы, ожидавшие доставки родительскому процессу, не будут доставляться порожденному
процессу.

При однократном системном вызове возврат из него может произойти дважды: один раз в
родительском процессе, а второй раз в порожденном процессе. Если создание нового
процесса произошло успешно, то в порождённом процессе системный вызов вернёт значение 0,
а в родительском процессе – положительное значение, равное идентификатору процесса-
ребенка. Если создать новый процесс не удалось, то системный вызов вернёт в
инициировавший его процесс отрицательное значение.



Системный вызов fork является единственным способом породить новый процесс после
инициализации операционной системы UNIX.
```

В процессе выполнения системного вызова *fork()* порождается копия родительского процесса и возвращение из системного вызова будет происходить уже как в родительском, так и в порождённом процессах. Этот системный вызов является единственным, который вызывается один раз, а при успешной работе возвращается два раза (один раз в процессе-родителе и один раз в процессе-ребенке)! После выхода из системного вызова оба процесса продолжают выполнение регулярного пользовательского кода, следующего за системным вызовом.

***Пример 1**: ex1.c*

Для того чтобы после возвращения из системного вызова *fork()* процессы могли определить, кто из них является ребёнком, а кто родителем, и, соответственно, по-разному организовать свое поведение, системный вызов возвращает в них разные значения. При успешном создании нового процесса в процесс-родитель возвращается положительное значение, равное идентификатору процесса-ребенка. В процесс-ребенок же возвращается значение 0. Если по какой-либо причине создать новый процесс не удалось, то системный вызов вернёт в инициировавший его процесс значение –1. Таким образом, общая схема организации различной работы процесса-ребенка и процесса-родителя выглядит так:

```
pid = fork();



if (pid == -1) {

    ...

    /* ошибка */

    ...

} else if (pid == 0) {

    ...

    /* ребенок */

    ...

} else {

    ...

    /* родитель */

    ...

}
```

Завершение процесса. Функция exit()

Существует два способа корректного завершения процесса в программах, написанных на языке С. Первый способ мы использовали до сих пор: процесс корректно завершался по достижении конца функции *main()* или при выполнении оператора *return* в функции *main()*, второй способ применяется при необходимости завершить процесс в каком-либо другом месте программы. Для этого используется функция *exit()* из стандартной библиотеки функций для языка С. При выполнении этой функции происходит сброс всех частично заполненных буферов ввода-вывода с закрытием соответствующих потоков, после чего инициируется системный вызов прекращения работы процесса и перевода его в состояние ***закончил исполнение***.

Возврата из функции в текущий процесс не происходит и функция ничего не возвращает.

Значение параметра функции *exit()* – кода завершения процесса – передается ядру операционной системы и может быть затем получено процессом, породившим завершившийся процесс. На самом деле при достижении конца функции *main()* также неявно вызывается эта функция со значением параметра 0.

```
Прототип функции



#include <stdlib.h>

void exit(int status);



Описание функции



Функция exit служит для нормального завершения процесса. При выполнении этой функции
происходит сброс всех частично заполненных буферов ввода-вывода с закрытием
соответствующих потоков (файлов, pipe, FIFO, сокетов), после чего инициируется системный
вызов прекращения работы процесса и перевода его в состояние закончил исполнение.

Возврата из функции в текущий процесс не происходит, и функция ничего не возвращает.

Значение параметра status – кода завершения процесса – передаётся ядру операционной
системы и может быть затем получено процессом, породившим завершившийся процесс. При
этом используются только младшие 8 бит параметра, так что для кода завершения допустимы
значения от 0 до 255. По соглашению, код завершения 0 означает безошибочное завершение
процесса.
```

Если процесс завершает свою работу раньше, чем его родитель, и родитель явно не указал, что он не хочет получать информацию о статусе завершения порожденного процесса (об этом будет рассказано подробнее на семинарах 14–15 при изучении сигналов), то завершившийся процесс не исчезает из системы окончательно, а остаётся в состоянии ***закончил исполнение*** либо до завершения процесса-родителя, либо до того момента, когда родитель получит эту информацию. Процессы, находящиеся в состоянии ***закончил исполнение***, в операционной системе UNIX принято называть процессами-зомби (zombie, defunct).

Параметры функции main() в языке C. Переменные среды и аргументы командной строки

У функции *main()* в языке программирования C существует три параметра, которые могут быть переданы ей операционной системой. Полный прототип функции *main()* выглядит следующим образом:

```
int main(int argc, char *argv[], char *envp[]);
```

Первые два параметра при запуске программы на исполнение командной строкой позволяют узнать полное содержание командной строки. Вся командная строка рассматривается как набор слов, разделенных пробелами. Через параметр *argc* передается количество слов в командной строке, которой была запущена программа. Параметр *argv* является массивом указателей на отдельные слова. Так, например, если программа была запущена командой

```
a.out 12 abcd
```

то значение параметра *argc* будет равно 3, *argv [0]* будет указывать на имя программы — первое слово — *"a.out"*, *argv [1]* — на слово *"12"*, *argv [2]* — на слово *"abcd"*.

Так как имя программы всегда присутствует на первом месте в командной строке, то *argc* всегда больше 0, а *argv [0]* всегда указывает на имя запущенной программы.

Анализируя в программе содержимое командной строки, мы можем предусмотреть её различное поведение в зависимости от слов, следующих за именем программы. Таким образом, не внося изменений в текст программы, мы можем заставить её работать по-разному от запуска к запуску. Например, компилятор *gcc*, вызванный командой *gcc 1.c* будет генерировать исполняемый файл с именем *a.out*, а при вызове командой *gcc 1.c –o 1.exe* – файл с именем *1.exe*.

Третий параметр – *envp* – является массивом указателей на параметры окружающей среды процесса. Начальные параметры окружающей среды процесса задаются в специальных конфигурационных файлах для каждого пользователя и устанавливаются при входе пользователя в систему. В дальнейшем они могут быть изменены с помощью специальных команд операционной системы UNIX. Каждый параметр имеет вид: *переменная=строка*. Такие переменные используются для изменения долгосрочного поведения процессов, в отличие от аргументов командной строки. Например, задание параметра *TERM=vt100* может говорить процессам, осуществляющим вывод на экран дисплея, что работать им придется с терминалом *vt100*. Меняя значение переменной среды *TERM*, например на *TERM=console*, мы сообщаем таким процессам, что они должны изменить своё поведение и осуществлять вывод для системной консоли.

Размер массива аргументов командной строки в функции *main()* мы получали в качестве её параметра. Так как для массива ссылок на параметры окружающей среды такого параметра нет, то его размер определяется другим способом. Последний элемент этого массива содержит указатель *NULL*.

Изменение пользовательского контекста процесса. Семейство функций для системного вызова exec()

Для изменения пользовательского контекста процесса применяется системный вызов *exec()*, который пользователь не может вызвать непосредственно. Вызов *exec()* заменяет пользовательский контекст текущего процесса на содержимое некоторого исполняемого файла и устанавливает начальные значения регистров процессора (в том числе устанавливает программный счётчик на начало загружаемой программы). Этот вызов требует для своей работы задания имени исполняемого файла, аргументов командной строки и параметров окружающей среды. Для осуществления вызова программист может воспользоваться одной из шести функций: *execlp()*, *execvp()*, *execl()*, *execv()*, *execle()*, *execve()*, отличающихся друг от друга представлением параметров, необходимых для работы системного вызова *exec()*. Взаимосвязь указанных выше функций изображена на рисунке.

Функции изменения пользовательского контекста процесса

Прототипы функций

```
#include <unistd.h>

int execlp(const char *file, const char *arg0, ... const char *argN, (char *)NULL)

int execvp(const char *file, char *argv[])

int execl(const char *path, const char *arg0, ... const char *argN, (char *)NULL)

int execv(const char *path, char *argv[])

int execle(const char *path, const char *arg0, ... const char *argN, (char *)NULL, char
*envp[])

int execve(const char *path, char *argv[], char *envp[])
```

Описание функций

Для загрузки новой программы в системный контекст текущего процесса используется семейство взаимосвязанных функций, отличающихся друг от друга формой представления параметров.

Аргумент file является указателем на имя файла, который должен быть загружен.

Аргумент path – это указатель на полный путь к файлу, который должен быть загружен.

Аргументы arg0, ..., argN представляют собой указатели на аргументы командной строки.

Заметим, что аргумент arg0 должен указывать на имя загружаемого файла.

Аргумент argv представляет собой массив из указателей на аргументы командной строки.

Начальный элемент массива должен указывать на имя загружаемой программы, а заканчиваться массив должен элементом, содержащим указатель NULL.

Аргумент envp является массивом указателей на параметры окружающей среды, заданные в виде строк «переменная=строка».

Последний элемент этого массива должен содержать указатель NULL.

Поскольку вызов функции не изменяет системный контекст текущего процесса, загруженная программа унаследует от загрузившего ее процесса следующие атрибуты:

- идентификатор процесса;
- идентификатор родительского процесса;
- групповой идентификатор процесса;
- идентификатор сеанса;
- время, оставшееся до возникновения сигнала SIGALRM;
- текущую рабочую директорию;
- маску создания файлов;

```
• идентификатор пользователя;

• групповой идентификатор пользователя;

• явное игнорирование сигналов;

• таблицу открытых файлов (если для файлового дескриптора не устанавливался признак «закрыть файл при выполнении exec()»).

В случае успешного выполнения возврата из функций в программу, осуществившую вызов, не происходит, а управление передается загруженной программе. В случае неудачного выполнения в программу, инициировавшую вызов, возвращается отрицательное значение.
```

Поскольку системный контекст процесса при вызове *exec()* остаётся практически неизменным, большинство атрибутов процесса, доступных пользователю через системные вызовы (PID, UID, GID, PPID и другие, смысл которых станет понятен по мере углубления ваших знаний на дальнейших занятиях), после запуска новой программы также не изменяется.

Важно понимать разницу между системными вызовами fork() и exec(). Системный вызов fork() создаёт новый процесс, у которого пользовательский контекст совпадает с пользовательским контекстом процесса-родителя. Системный вызов exec() изменяет пользовательский контекст текущего процесса, не создавая новый процесс.

***Пример 2**: ex2.c*