

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Преподаватели Рязанова Н. Ю.

Задание №1

Процессы-сироты. В программе создаются не менее двух потомков системным вызовом `fork()`. В потомках вызывается `sleep()`, чтобы предок гарантированно завершился раньше своих потомков. В предке вывести собственный идентификатор, идентификатор группы и идентификаторы потомков. В процессе-потомке вывести собственный идентификатор, идентификатор предка и идентификатор группы. Убедиться, что при завершении процесса-предка потомок, который продолжает выполняться, получает идентификатор предка (PPID), равный 1 или идентификатор процесса-посредника. Продемонстрировать с помощью соответствующего вывода информацию об идентификаторах процессов и их группе. Продемонстрировать «усыновление». Для этого надо в потомках вывести идентификаторы: собственный, предка, группы до блокировки и после блокировки.

В программе добавлен `sleep` в предке перед его завершением для того, чтобы предок не завершился до того, как будет выведена информация о процессах-потомках до блокировки. При этом время блокировки предка меньше, чем время блокировки потомков, поэтому предок гарантированно завершится раньше своих потомков.

Текст программы приведён на листинге 1.

Листинг 1: Процессы-сироты

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #define ERROR_FORK 1
4 #define OK 0
5 int main() {
6     int childpids[2];
7     for (int i = 0; i < 2; i++) {
8         int pid = fork();
9
10        if (pid == -1) {
11            return ERROR_FORK;
12        }
13
14        if (pid == 0) {
15            printf("\nCHILD    %d BEFORE BLOCK: pid: %d, ppid: %d, grp: %d\n",
16                  i + 1, getpid(), getppid(), getpgrp());
17            sleep(2);
18            printf("\nCHILD    %d AFTER BLOCK: pid: %d, ppid: %d, grp: %d\n",
19                  i + 1, getpid(), getppid(), getpgrp());
20            return OK;
21        }
22
23        childpids[i] = pid;
24    }
25    printf("PARENT: pid: %d grp: %d, child's pids: %d, %d\n", getpid(),
26          getpgrp(), childpids[0], childpids[1]);
27    sleep(1);
28    return OK;
29 }
```

На рисунке 1 приведён результат работы программы. Видно, что до завершения процесса-предка `ppid` у потомков был равен идентификатору предка. Затем, когда процесс-предок завершился, потомки были "усыновлены" процессом с идентификатором 1.

```
kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_01 (master)> ./app
PARENT: pid: 15695 grp: 15695, child's pids: 15696, 15697

CHILD №1 BEFORE BLOCK: pid: 15696, ppid: 15695, grp: 15695

CHILD №2 BEFORE BLOCK: pid: 15697, ppid: 15695, grp: 15695
kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_01 (master)>
CHILD №1 AFTER BLOCK: pid: 15696, ppid: 1, grp: 15695

CHILD №2 AFTER BLOCK: pid: 15697, ppid: 1, grp: 15695
```

Рис. 1: Демонстрация работы программы (задание №1).

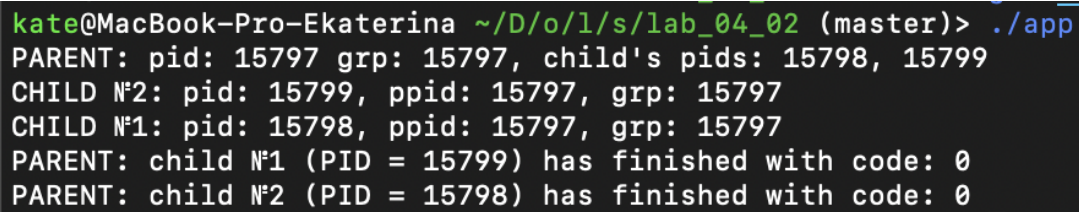
Задание №2

Предок ждет завершения своих потомков, используя системный вызов `wait()`. Вывод соответствующих сообщений на экран. В программе необходимо, чтобы предок выполнял анализ кодов завершения потомков. Текст программы приведён на листинге 2.

Листинг 2: Системный вызов `wait()`

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <sys/wait.h>
5 #define ERROR_FORK 1
6 #define OK 0
7 int main() {
8     int chldpids[2];
9     for (int i = 0; i < 2; i++) {
10         int pid = fork();
11         if (pid == -1) {
12             return ERROR_FORK;
13         }
14         if (pid == 0){
15             sleep(2);
16             printf("CHILD    %d: pid: %d, ppid: %d, grp: %d\n", i + 1,
17                    getpid(), getppid(), getpgrp());
18             return OK;
19         }
20         chldpids[i] = pid;
21     }
22     printf("PARENT: pid: %d grp: %d, child's pids: %d, %d\n", getpid(),
23            getpgrp(), chldpids[0], chldpids[1]);
24     for (int i = 0; i < 2; i++)
25     {
26         int status;
27         pid_t chldpid = wait(&status);
28         if (WIFEXITED(status)) {
29             printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished with code: %d\n", i + 1, chldpid, WEXITSTATUS(status));
30         }
31         else if (WIFSIGNALED(status)) {
32             printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished because of signal: %d\n", i + 1, chldpid, WTERMSIG(status));
33         }
34         else if (WIFSTOPPED(status)) {
35             printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has been stopped because of signal: %d\n", i + 1, chldpid, WSTOPSIG(status));
36         }
37     }
38     return OK;
39 }
```

Результат работы программы приведён на рисунке 2. Видно, что в отличие от программы из первого задания процесс-предок дождался завершения дочерних процессов, о чём свидетельствуют коды завершения дочерних процессов, перехваченные процессом-предком.

A terminal window with a black background and white text. The prompt is 'kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_02 (master)>'. The command './app' has been executed. The output shows the parent process (pid: 15797, grp: 15797) spawning two child processes. Child #2 (pid: 15799, ppid: 15797, grp: 15797) finishes with code 0. Child #1 (pid: 15798, ppid: 15797, grp: 15797) finishes with code 0. The parent process then prints the completion status for both children.

```
kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_02 (master)> ./app
PARENT: pid: 15797 grp: 15797, child's pids: 15798, 15799
CHILD №2: pid: 15799, ppid: 15797, grp: 15797
CHILD №1: pid: 15798, ppid: 15797, grp: 15797
PARENT: child №1 (PID = 15799) has finished with code: 0
PARENT: child №2 (PID = 15798) has finished with code: 0
```

Рис. 2: Демонстрация работы программы (задание №2).

Задание №3

Потомки переходят на выполнение других программ, которые передаются системному вызову `exec()` в качестве параметра. Потомки должны выполнять разные программы. Прерок ждет завершения своих потомков с анализом кодов завершения. На экран выводятся соответствующие сообщения. Текст программы приведён на листинге 3.

Листинг 3: Системный вызов `exec()`

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <sys/wait.h>
5 #define ERROR_FORK 1
6 #define ERROR_EXEC 2
7 #define OK 0
8 int main() {
9     int childpids[2];
10    for (int i = 0; i < 2; i++) {
11        int pid = fork();
12        if (pid == -1) {
13            return ERROR_FORK;
14        }
15        if (pid == 0) {
16            printf("CHILD    %d: pid: %d, ppid: %d, grp: %d\n", i + 1,
17                  getpid(), getppid(), getpgrp());
18            if (i == 0) execl("sort", "sort", "1", "3", "2", "0", "4", "5",
19                             NULL);
20            else execl("max", "max", "1", "3", "2", "0", "4", "5", NULL);
21            return ERROR_EXEC;
22        }
23        childpids[i] = pid;
24    }
25    printf("PARENT: pid: %d grp: %d, child's pids: %d, %d\n", getpid(),
26          getpgrp(), childpids[0], childpids[1]);
27    for (int i = 0; i < 2; i++) {
28        int status;
29        pid_t childpid = wait(&status);
30        if (WIFEXITED(status)) {
31            printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished with code: %d\n", i + 1, childpid, WEXITSTATUS(status));
32        } else if (WIFSIGNALED(status)) {
33            printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished because of signal: %d\n", i + 1, childpid, WTERMSIG(status));
34        } else if (WIFSTOPPED(status)) {
35            printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has been stopped because of signal: %d\n", i + 1, childpid, WSTOPSIG(status));
36        }
37    }
38    return OK; }
```

Результат работы программы приведён на рисунке 3. Видно, что в отличие от программы из второго задания дочерние процессы переходят на выполнение других программ, которые передаются системному вызову `exec()` в качестве параметра. В данном случае выполняются программы "sort" и "max" с аргументами в виде элементов обрабатываемого массива (массив: [1, 3, 2, 0, 4, 5]). Программа sort выводит отсортированный массив, программа max выводит максимальный элемент в массиве.

```
kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_03 (master)> ./app
PARENT: pid: 18673 grp: 18673, child's pids: 18674, 18675
CHILD №1: pid: 18674, ppid: 18673, grp: 18673
CHILD №2: pid: 18675, ppid: 18673, grp: 18673
max in array: 5
sorted array: 0 1 2 3 4 5
PARENT: child №1 (PID = 18675) has finished with code: 0
PARENT: child №2 (PID = 18674) has finished with code: 0
```

Рис. 3: Демонстрация работы программы (задание №3).

Задание №4

Предок и потомки обмениваются сообщениями через неименованный программный канал. Причем оба потомка пишут свои сообщения в один программный канал, а предок их считывает из канала. Потомки должны посылать предку разные сообщения по содержанию и размеру. Предок считывает сообщения от потомков и выводит их на экран. Предок ждет завершения своих потомков и анализирует код их завершения. Вывод соответствующих сообщений на экран. Текст программы приведён на листинге 4.

Листинг 4: Программные каналы

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <sys/wait.h>
5 #include "string"
6 #define ERROR_FORK 1
7 #define ERROR_EXEC 2
8 #define ERROR_PIPE 3
9 #define OK 0
10 int main() {
11     int fd[2];
12     const char *messages[2] = { "msg\n", "msg msg\n"};
13     if (pipe(fd) == -1) {
14         return ERROR_PIPE;
15     }
16     int childpids[2];
17     for (int i = 0; i < 2; i++) {
18         int pid = fork();
19         if (pid == -1) {
20             return ERROR_FORK;
21         }
22
23         if (pid == 0) {
24             close(fd[0]);
25             write(fd[1], messages[i], strlen(messages[i]));
26             printf("CHILD    %d (pid: %d, ppid: %d, grp: %d) sent message to\n", i + 1, getpid(), getppid(), getpgrp());
27             return OK;
28         }
29         childpids[i] = pid;
30     }
31     printf("PARENT: pid: %d grp: %d, child's pids: %d, %d\n", getpid(), getpgrp(), childpids[0], childpids[1]);
32     for (int i = 0; i < 2; i++) {
33         int status;
34         pid_t childpid = wait(&status);
35         if (WIFEXITED(status)) {
36             printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished with code: %d\n", i + 1, childpid, WEXITSTATUS(status));
```

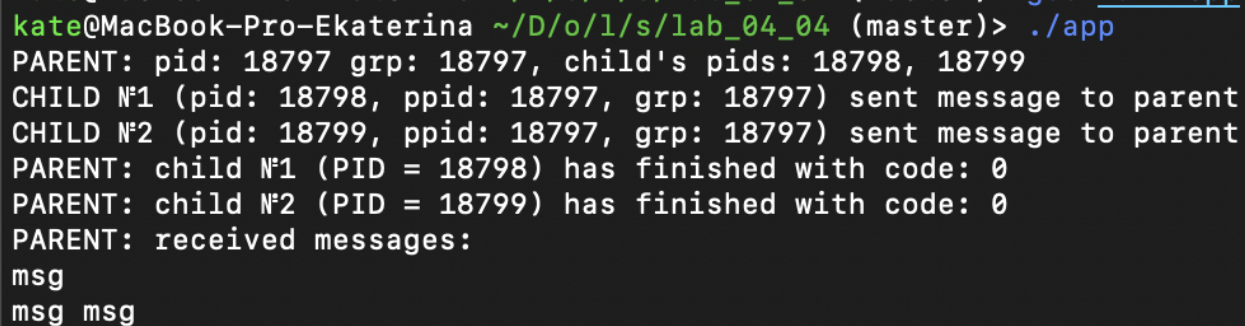


```

37     } else if (WIFSIGNALED(status)) {
38         printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished because of
           signal: %d\n", i + 1, childpid, WTERMSIG(status));
39     } else if (WIFSTOPPED(status)) {
40         printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has been stopped because
           of signal: %d\n", i + 1, childpid, WSTOPSIG(status));
41     }
42 }
43 char buf[15];
44 close(fd[1]);
45 read(fd[0], buf, 15);
46 printf("PARENT: received messages:\n%s", buf);
47 return OK;
48 }

```

Результат работы программы приведён на рисунке 4.



```

kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_04 (master)> ./app
PARENT: pid: 18797 grp: 18797, child's pids: 18798, 18799
CHILD №1 (pid: 18798, ppid: 18797, grp: 18797) sent message to parent
CHILD №2 (pid: 18799, ppid: 18797, grp: 18797) sent message to parent
PARENT: child №1 (PID = 18798) has finished with code: 0
PARENT: child №2 (PID = 18799) has finished with code: 0
PARENT: received messages:
msg
msg msg

```

Рис. 4: Демонстрация работы программы (задание №4).

Задание №5

Предок и потомки обмениваются сообщениями через неименованный программный канал. В программу включается собственный обработчик сигнала. С помощью сигнала меняется ход выполнения программы. При получении сигнала потомки записывают сообщения в канал, если сигнал не поступает, то не записывают. Предок ждет завершения своих потомков и анализирует коды их завершений. Вывод соответствующих сообщений на экран. Вывод соответствующих сообщений на экран. Текст программы приведён на листинге 5.

Листинг 5: Использование сигналов

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <sys/wait.h>
5 #include "string"
6 #define ERROR_FORK 1
7 #define ERROR_EXEC 2
8 #define ERROR_PIPE 3
9 #define OK 0
10 bool sendSig = 0;
11 void empty(int sig){ }
12 void sendSigSwitch(int sig) {
13     sendSig = 1;
14 }
15 int main() {
16     signal(SIGINT, empty);
17     int fd[2];
18     const char *messages[2] = { "msg\n", "msg msg\n"};
19     if (pipe(fd) == -1) {
20         return ERROR_PIPE;
21     }
22     int childpids[2];
23     for (int i = 0; i < 2; i++) {
24         int pid = fork();
25         if (pid == -1) {
26             return ERROR_FORK;
27         }
28         if (pid == 0) {
29             signal(SIGINT, sendSigSwitch);
30             sleep(4);
31             if (sendSig) {
32                 close(fd[0]);
33                 write(fd[1], messages[i], strlen(messages[i]));
34                 printf("CHILD    %d: (pid: %d, ppid: %d, grp: %d) sent\n", i + 1, getpid(), getppid(), getpgrp());
35             }
36             else {
37                 printf("CHILD    %d: didn't send a message\n", i + 1);
```

```

38         }
39         return OK;
40     }
41     childpids[i] = pid;
42 }
43 printf("PARENT: pid: %d grp: %d, child's pids: %d, %d\n", getpid(),
44        getpgrp(), childpids[0], childpids[1]);
45 for (int i = 0; i < 2; i++) {
46     int status;
47     pid_t childpid = wait(&status);
48     if (WIFEXITED(status)) {
49         printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished with code: %d\n", i + 1, childpid, WEXITSTATUS(status));
50     }
51     else if (WIFSIGNALED(status)) {
52         printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has finished because of signal: %d\n", i + 1, childpid, WTERMSIG(status));
53     }
54     else if (WIFSTOPPED(status)) {
55         printf("PARENT: child    %d (PID = %d) has been stopped because of signal: %d\n", i + 1, childpid, WSTOPSIG(status));
56     }
57 }
58 char buf[15];
59 close(fd[1]);
60 read(fd[0], buf, 15);
61 printf("PARENT: received messages:\n%s", buf);
62 return OK;
63 }

```

Результат работы программы приведён на рисунке 7. При первом запуске был испущен сигнал SIGINT, при втором не был.

```
kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_05 (master)> ./app
PARENT: pid: 18944 grp: 18944, child's pids: 18945, 18946
^CCHILD №2: (pid: 18946, ppid: 18944, grp: 18944) sent message to parent
CHILD №1: (pid: 18945, ppid: 18944, grp: 18944) sent message to parent
PARENT: child №1 (PID = 18946) has finished with code: 0
PARENT: child №2 (PID = 18945) has finished with code: 0
PARENT: received messages:
msg msg
msg
kate@MacBook-Pro-Ekaterina ~/D/o/l/s/lab_04_05 (master)> ./app
PARENT: pid: 18958 grp: 18958, child's pids: 18959, 18960
CHILD №2: didn't send a message
CHILD №1: didn't send a message
PARENT: child №1 (PID = 18960) has finished with code: 0
PARENT: child №2 (PID = 18959) has finished with code: 0
PARENT: received messages:
```

Рис. 5: Демонстрация работы программы (задание №5).

Дополнительное задание

При выполнении вызова fork():

1. Создается пространство выполнения для дочерних и стека процесса-потомка;
2. Назначается идентификатор процесса PID и структура proc потомка;
3. Инициализируется структура proc потомка. Некоторое поле этой структуры копируется от процесса-родителя; идентификатор пользователя и группы, маски сигналов и группа процессов. Часть полей инициализируется 0. Часть полей инициализируется специфическими для потомка значениями: PID потомка и его родителя, указатель на структуру proc родителя;
4. Создаются карты трансляции адресов для процесса-потомка;
5. Выделяется область памяти потомка и в нее копируется область памяти процесса-родителя;
6. Изменяются ссылки области памяти на новые карты адресации и пространство символов;
7. Потомок добавляется в набор процессов, которые разделяют область кода программы, выполняемой процессом-родителем;
8. Постранично дублируются области данных и строка родителя и модифицируется карта адресации потомка;
9. Потомок получает ссылки на разделяемые ресурсы, которые он наследует: открытые файлы (потомок наследует дескрипторы) и текущий рабочий каталог;
10. Инициализируется аппаратный контекст потомка путем копирования регистров родителя;
11. Процесс-потомок помещается в очередь готовых процессов;
12. Возвращается PID в потоке возврата из системного вызова в родительском процессе и 0 - в процессе-потомке.

Рис. 6: Последовательность действий fork

- Системой вызов ехес выполняет след. действия:
1. Разбирает путь к исполняемому файлу и осуществляет доступ к нему.
 2. Проверяет, имеет ли вызывающий процесс полномочия на выполнение файла.
 3. Читает заголовок и проверяет, что он действительно исполняемый.
 4. Если две райлы установлены бито `SUID` или `SUID` то эффективные идентификаторы `UID` и `GID` вызывающего процесса изменяет на `UID` и `GID`, соответствующие владельцу файла.
 5. Копирует аргументы, передаваемые в ехес, а также переменные среды в пространство ядра, после чего текущее пользовательское пространство готово к уничтожению.
 6. Возвращает пространство свопинга для областей данных и стека.
 7. Возвращает старое адресное пространство и связанное с ним пространство свопинга. Если же процесс был создан при помощи `vfork()`, то производится возврат старого адресного пространства родительскому процессу.
 8. Возвращает карту размещения адресов для нового текста, данных и стека.
 9. Устанавливает новое адресное пространство. Если область текста активна (какой-то другой процесс уже выполняет эту программу), то она будет совместно использоваться с этим процессом. В других случаях пространство должно инициализироваться из исполняемого файла. Процесс в системе `KITX` обогато разбит на страницы, что означает, что каждая страница считывается в память только по мере необходимости.
 10. Копирует аргументы и переменные среды обратно в новый стек данных.
 11. Обрабатывает все обработчики сигналов в действие, определяемое по умолчанию, так как текущие обработчики сигналов не существуют в новой программе. Сигналы, которые были проигнорированы или заблокированы перед вызовом ехес, остаются в тех же состояниях.
 12. Инициализирует аппаратный контекст. При этом большинство регистров сбрасывается в 0, а указатель команды получает значение точки входа программы.

Рис. 7: Последовательность действий ехес