

Отчёт по лабораторной работе №5.

Управление памятью в ОС Linux

Кирьяк Александр Александрович, М3234

Конфигурация операционной системы

- Общий объем оперативной памяти: 6.7 Гб
- Объем раздела подкачки: 2 Гб
- Размер страницы виртуальной памяти: 4 Кб
- Объем свободной физической памяти в ненагруженной системе: 6.3 Гб
- Объем свободного пространства в разделе подкачки в ненагруженной системе: 2 Гб

Эксперимент №1

Первый этап

mem.bash

```
#!/bin/bash

output_file="report.log"
echo -n > "$output_file"

array=()
step=0

while true
do
    for ((i=1; i <= 10; i++))
    do
        array+=($i)
    done

    (( step++ ))

    if ((step % 100000 == 0))
    then
        size=${#array[@]}
        echo "Step: $step | Array size: $size" >> "$output_file"
    fi
done
```

Наблюдения после запуска *mem.bash*:

1. Запущенный скрипт появился в *top*.

```
top - 04:31:38 up 2 min, 0 users, load average: 0.08, 0.02, 0.01
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.2 us, 0.1 sy, 0.0 ni, 91.6 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 6348.5 free, 355.8 used, 158.8 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 2048.0 free, 0.0 used. 6302.4 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
94	kryag	20	0	51508	50064	3092	R	100.0	0.7	0:03.27	mem.bash
1	root	20	0	2456	1596	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	112	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	116	0	S	0.0	0.0	0:00.01	Relay(9)

2. Через 2.5 минуты скрипт занял около 2 Гб физической памяти.

```
top - 04:33:59 up 4 min, 0 users, load average: 0.91, 0.39, 0.15
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.3 us, 0.0 sy, 0.0 ni, 91.7 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 4310.0 free, 2394.3 used, 158.8 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 2048.0 free, 0.0 used. 4264.0 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
94	kryag	20	0	2117572	2.0g	3092	R	100.0	30.1	2:24.37	mem.bash
1	root	20	0	2456	1596	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	112	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	116	0	S	0.0	0.0	0:00.01	Relay(9)

3. Через 4.5 минуты скрипт занял около 3.7 Гб физической памяти.

```
top - 04:35:59 up 6 min, 0 users, load average: 0.99, 0.60, 0.26
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.3 us, 0.1 sy, 0.0 ni, 91.7 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 2560.8 free, 4143.5 used, 158.8 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 2048.0 free, 0.0 used. 2514.7 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
94	kryag	20	0	3901288	3.7g	3092	R	100.0	55.5	4:24.43	mem.bash
1	root	20	0	2456	1596	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	112	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	116	0	S	0.0	0.0	0:00.01	Relay(9)

4. Через 7.5 минут скрипт занял всю доступную физическую память и начался процесс подкачки (swap).

```
top - 04:39:03 up 9 min, 0 users, load average: 1.07, 0.81, 0.41
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.4 us, 0.5 sy, 0.0 ni, 91.1 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 196.6 free, 6639.6 used, 27.0 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 1885.3 free, 162.7 used. 84.7 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
94	kryag	20	0	6618112	6.2g	848	R	100.0	92.5	7:27.57	mem.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	0	0	S	0.0	0.0	0:00.01	Relay(9)

5. Через 8.5 минут скрипт занял около 1 Гб памяти в разделе подкачки.

```
top - 04:40:00 up 10 min, 0 users, load average: 1.03, 0.84, 0.44
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.3 us, 0.1 sy, 0.0 ni, 91.6 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 110.4 free, 6720.1 used, 32.7 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 1147.3 free, 900.7 used. 1.3 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
94	kryag	20	0	7457104	6.3g	848	R	99.7	93.6	8:24.60	mem.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	0	0	S	0.0	0.0	0:00.01	Relay(9)

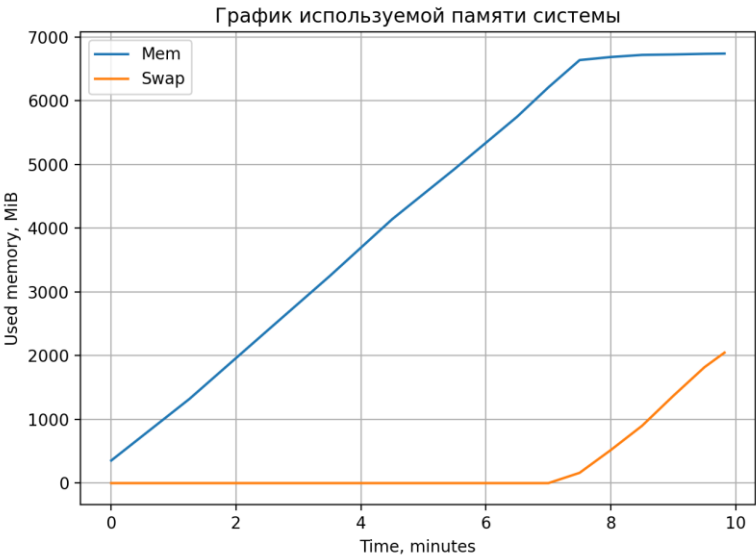
6. Спустя 9 минут и 49 секунд после запуска скрипт занял всю свободную память, после чего был аварийно остановлен операционной системой.

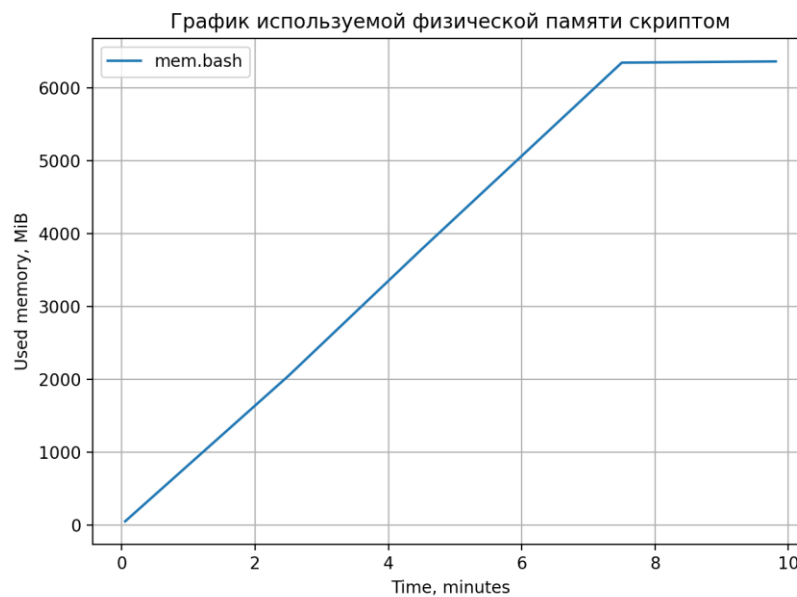
```
top - 04:41:33 up 12 min, 0 users, load average: 1.24, 0.94, 0.52
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 0.3 us, 11.3 sy, 0.0 ni, 74.2 id, 13.0 wa, 0.0 hi, 1.3 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 92.8 free, 6741.4 used, 29.0 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 0.0 free, 2048.0 used. 23.4 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
94	kryag	20	0	8676652	6.3g	444	R	18.9	94.2	9:49.41	mem.bash
93	kryag	20	0	7784	304	0	R	10.0	0.0	0:00.88	top
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

Последние две записи в системном журнале:

```
[ 766.110130] oom-kill:constraint=CONSTRAINT_NONE, nodemask=(null), cpuset=/,
mems_allowed=0, global_oom, task_memcg=/, task=mem.bas, pid=339, uid=1000
[ 766.111303] Out of memory: Killed process 339 (mem.bash) total-vm:8677180kB, anon-
rss:6619044kB, file-rss:0kB, shmem-rss:0kB, UID:1000 pgtables:17020kB oom_score_adj:0
Последний зафиксированный размер массива в report.log: 111'000'000
```





Вывод: на графике используемая физическая память перестала увеличиваться в тот же момент, когда начал заполняться раздел подкачки. Это связано с тем, что скрипт достиг предела свободной физической памяти и начался процесс страничного обмена с разделом подкачки. Оба графика перестали расти, когда достигли своего лимита – 6.3 Гб для физической памяти и 2 Гб для раздела подкачки. После этого скрипт был аварийно остановлен, поскольку свободной памяти больше не осталось.

Второй этап

mem2.bash

```
#!/bin/bash

output_file="report2.log"
echo -n > "$output_file"

array=()
step=0

while true
do
    for ((i=1; i <= 10; i++))
    do
        array+=($i)
    done

    (( step++ ))

    if ((step % 100000 == 0))
    then
        size=${#array[@]}
        echo "Step: $step | Array size: $size" >> "$output_file"
    fi
done
```

start_mems.sh

```
#!/bin/bash

./mem.bash &
./mem2.bash &
```


Наблюдения после запуска *start_mems.sh*:

1. Оба скрипта *mem.bash* и *mem2.bash* появились в *top*.

```
top - 07:29:39 up 3:00, 0 users, load average: 0.16, 0.03, 0.01
Tasks: 11 total, 3 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 13.7 us, 0.1 sy, 0.0 ni, 86.1 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 6435.7 free, 375.5 used, 51.9 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 2018.6 free, 29.4 used. 6336.2 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	35800	34144	3008	R	81.7	0.5	0:02.45	mem.bash
113	kryag	20	0	35668	33924	3048	R	81.7	0.5	0:02.45	mem2.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

2. Через 2 минуты скрипты заняли суммарно 3 Гб физической памяти (каждый по 1.5 Гб).

```
top - 07:31:39 up 3:02, 0 users, load average: 1.75, 0.69, 0.26
Tasks: 11 total, 3 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 16.5 us, 0.2 sy, 0.0 ni, 83.3 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 3497.4 free, 3313.7 used, 52.1 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 2018.6 free, 29.4 used. 3398.0 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	1537036	1.5g	3008	R	100.0	21.8	2:02.56	mem.bash
113	kryag	20	0	1536244	1.5g	3048	R	100.0	21.8	2:02.56	mem2.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

3. Через 4.5 минуты скрипты заняли всю доступную физическую память и начался процесс подкачки (swap).

```
top - 07:34:18 up 3:05, 0 users, load average: 2.06, 1.24, 0.54
Tasks: 11 total, 3 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 16.5 us, 0.6 sy, 0.0 ni, 82.5 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.4 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 109.0 free, 6727.0 used, 27.2 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 1587.0 free, 461.0 used. 39.0 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	3505552	3.0g	1044	R	100.0	45.5	4:41.72	mem.bash
113	kryag	20	0	3511492	3.3g	1060	R	100.0	48.6	4:41.62	mem2.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

4. Спустя 5 минут и 45 секунд после запуска скрипты заняли всю свободную память, после чего *mem2.bash* был аварийно остановлен операционной системой.

```
top - 07:35:24 up 3:06, 0 users, load average: 2.10, 1.42, 0.65
Tasks: 11 total, 3 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 15.9 us, 0.6 sy, 0.0 ni, 82.2 id, 0.9 wa, 0.0 hi, 0.5 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 93.1 free, 6740.2 used, 29.8 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 0.0 free, 2048.0 used. 24.2 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	4328572	3.1g	4	R	98.7	45.5	5:47.76	mem.bash
113	kryag	20	0	4335040	3.3g	484	R	98.7	48.6	5:47.65	mem2.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

5. Из-за остановки *mem2.bash* освободилось около 3 Гб физической памяти и 900 Мб раздела подкачки.

```
top - 07:35:35 up 3:06, 0 users, load average: 2.45, 1.52, 0.69
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.3 us, 0.2 sy, 0.0 ni, 91.4 id, 0.1 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 3348.8 free, 3476.5 used, 37.8 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 893.8 free, 1154.2 used. 3242.2 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	4404340	3.1g	1780	R	100.0	46.6	5:54.35	mem.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	0	0	S	0.0	0.0	0:00.06	Relay(9)

6. *mem.bash* стал занимать освободившуюся память и через 7 минут после запуска занял порядка 4 Гб физической памяти и 1 Гб в разделе подкачки.

```
top - 07:36:44 up 3:07, 0 users, load average: 1.45, 1.41, 0.72
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.3 us, 0.1 sy, 0.0 ni, 91.6 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 2350.5 free, 4474.7 used, 37.9 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 893.8 free, 1154.2 used. 2244.1 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	5421928	4.1g	1780	R	99.7	61.1	7:03.40	mem.bash
93	kryag	20	0	7784	380	20	R	0.3	0.0	0:05.80	top
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

7. Спустя 9.5 минут после запуска *mem.bash* использовал всю доступную физическую память и вновь начался процесс подкачки оставшихся 900 Мб, которые освободил *mem2.bash*.

```
top - 07:39:26 up 3:10, 0 users, load average: 1.03, 1.23, 0.77
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 8.3 us, 0.4 sy, 0.0 ni, 91.3 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.1 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 108.8 free, 6716.5 used, 37.9 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 812.0 free, 1236.0 used. 2.3 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	7800436	6.3g	1780	R	100.0	93.7	9:45.52	mem.bash
1	root	20	0	2456	1496	1496	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader
8	root	20	0	2476	0	0	S	0.0	0.0	0:00.06	Relay(9)

8. Через 10 минут и 45 секунд после запуска скриптов *mem.bash* занял всю свободную память, вследствие чего был аварийно остановлен.

```
top - 07:40:28 up 3:11, 0 users, load average: 1.28, 1.25, 0.81
Tasks: 10 total, 2 running, 8 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 3.5 us, 6.5 sy, 0.0 ni, 80.3 id, 9.4 wa, 0.0 hi, 0.2 si, 0.0 st
MiB Mem : 6863.1 total, 94.8 free, 6740.6 used, 27.8 buff/cache
MiB Swap: 2048.0 total, 0.0 free, 2048.0 used. 24.8 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
112	kryag	20	0	8661736	6.3g	0	R	83.9	94.1	10:45.40	mem.bash
93	kryag	20	0	7784	1032	672	R	4.2	0.0	0:05.99	top
1	root	20	0	2456	1440	1440	S	0.0	0.0	0:00.01	init(Ubuntu)
4	root	20	0	2456	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	init
7	root	20	0	2460	4	0	S	0.0	0.0	0:00.00	SessionLeader

Последние записи в системном журнале:

[11182.787828] mem2.bash invoked oom-killer:

gfp_mask=0x1100cca(GFP_HIGHUSER_MOVABLE), order=0, oom_score_adj=0

[11182.843453] oom-kill:constraint=CONSTRAINT_NONE, nodemask=(null), cpuset=/,

mems_allowed=0, global_oom, task_memcg=/, task=mem2.bash, pid=450, uid=1000

[11182.844298] Out of memory: Killed process 450 (mem2.bash) total-vm:4336492kB, anon-rss:3416640kB, file-rss:0kB, shmem-rss:0kB, UID:1000 pgtables:8524kB oom_score_adj:0

[11490.584888] mem.bash invoked oom-killer:

gfp_mask=0x1100cca(GFP_HIGHUSER_MOVABLE), order=0, oom_score_adj=0

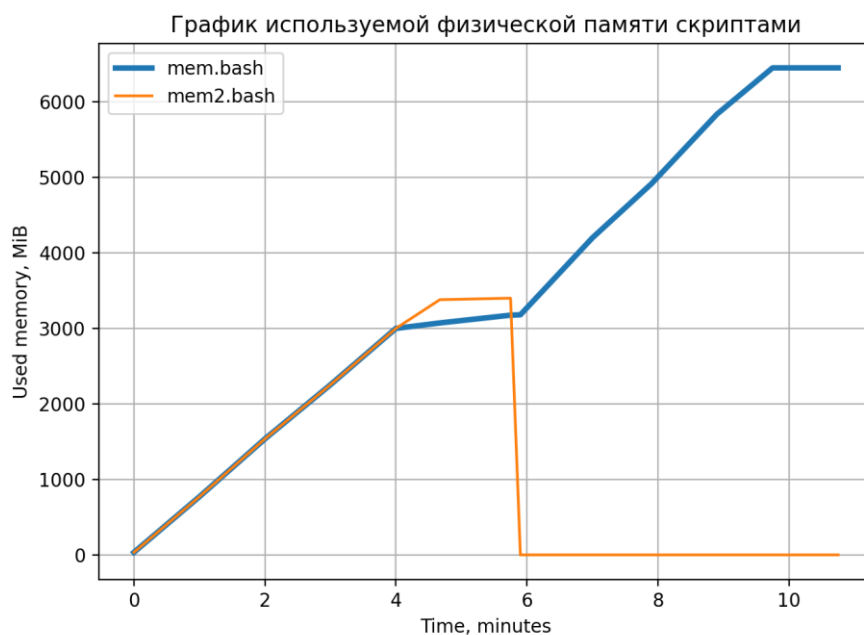
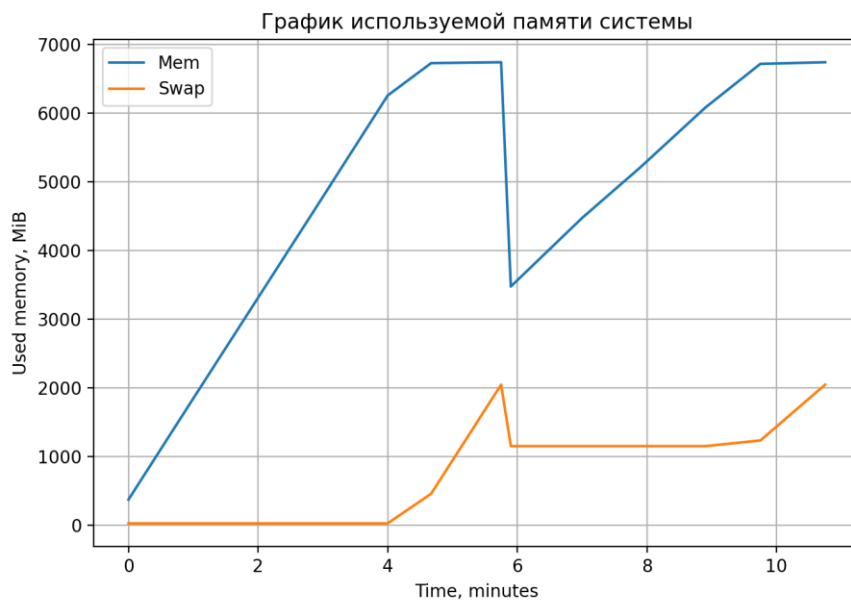
[11490.627813] oom-kill:constraint=CONSTRAINT_NONE, nodemask=(null), cpuset=/,

mems_allowed=0, global_oom, task_memcg=/, task=mem.bas, pid=449, uid=1000

[11490.628726] Out of memory: Killed process 449 (mem.bash) total-vm:8666488kB, anon-rss:6620616kB, file-rss:0kB, shmem-rss:0kB, UID:1000 pgtables:16996kB oom_score_adj:0

Последний зафиксированный размер массива в *report.log*: 111'000'000

Последний зафиксированный размер массива в *report2.log*: 55'000'000



Вывод: примерно в середине наблюдения скрипты заняли всю свободную память, вследствие чего был аварийно остановлен *mem2.bash* (так вышло, что планировщик отдавал ему больше ресурсов чем *mem.bash*). После этого *mem.bash* вновь стал использовать освободившуюся память и закончил свою работу с примерно таким же размером массива, как и в первом этапе.

Эксперимент №2

newmem.bash

```
#!/bin/bash

N=$1
array=()
size=0

while [[ $size -le $N ]]
do
    for ((i=1; i <= 10; i++))
    do
        array+=($i)
    done
    let size=$size+10
done
```

start_newmems.sh

```
#!/bin/bash

N=$1
K=$2

counter=1
while [[ $counter -le $K ]]
do
    ./newmem.bash $N &
    (( counter++ ))
    sleep 1
done
```

После запуска *start_newmems.sh* с параметрами $N = 11'100'000$ и $K = 10$ ни одной аварийной остановки *newmem.bash* не произошло (в системном журнале нет соответствующих записей).

Изменив параметр K на 30 и снова запустив *start_newmems.sh*, некоторые процессы *newmem.bash* завершились аварийно. Это связано с тем, что суммарный объём необходимой памяти для 30 процессов превосходит доступный.

С помощью бинарного поиска получено максимальное значение $N = 6'715'358$, при котором не происходит аварийной остановки процессов.

Вывод: наличие или отсутствие аварийной остановки зависит от того, хватает ли свободной памяти для K процессов при заданном N . При этом не обязательно все K процессов аварийно завершаются, поскольку часть процессов освобождает память и остальные могут успешно завершить свою работу. Полученное максимальное значение $N = 6'715'358$ показывает границу безаварийной работы 30 скриптов *newmem.bash*.