Лабораторная работа №2: Изучение принципов работы микропроцессорного ядра RISC-V
Студент: Равашдех Ф.Х.
Группа: ИУ7-55Б
Вариант:12

Задание №1

Содержание файла test.s:

```
      .section .text
      .globl _start;
      len = 8 #Размер массива
      enroll = 4 #Количество обрабатываемых элементов за одну итерацию
      elem_sz = 4 #Размер одного элемента массива
_start:
      addi x20, x0, len/enroll
      la x1, _x
loop:
      lw x2, 0(x1)
      add x31, x31, x2
      lw x2, 4(x1)
      add x31, x31, x2
      lw x2, 8(x1)
      add x31, x31, x2
      lw x2, 12(x1)
      add x31, x31, x2
      addi x1, x1, elem_sz*enroll
      addi x20, x20, -1
      bne x20, x0, loop
      addi x31, x31, 1
forever: j forever

      .section .data
_x:   .4byte 0x1
      .4byte 0x2
      .4byte 0x3
      .4byte 0x4
      .4byte 0x5
      .4byte 0x6
      .4byte 0x7
      .4byte 0x8
```

Содержание файла test.hex:

```
00200a13
00000097
03c08093
0000a103
002f8fb3
0040a103
002f8fb3
0080a103
002f8fb3
00c0a103
002f8fb3
01008093
fffa0a13
fc0a1ce3
001f8f93
0000006f
00000001
00000002
00000003
00000004
00000005
00000006
00000007
00000008
```

Индивидуальный вариант var12.s:

```
        .section .text
        .globl _start;
        len = 8 #Размер массива
        enroll = 4 #Количество обрабатываемых элементов за одну итерацию
        elem_sz = 4 #Размер одного элемента массива

_start:
        la x1, _x
        addi x20, x1, elem_sz*len #Адрес последнего элемента
        add x31, x0, x0
lp:
        lw x2, 0(x1)
        lw x3, 4(x1)
        add x31, x31, x2 #!
        add x31, x31, x3
        lw x4, 8(x1)
        lw x5, 12(x1)
        add x31, x31, x4
        add x31, x31, x5
        addi x1, x1, elem_sz*enroll
        bne x1, x20, lp
        addi x31, x31, 1
lp2: j lp2

        .section .data
_x:     .4byte 0x1
        .4byte 0x2
        .4byte 0x3
        .4byte 0x4
        .4byte 0x5
        .4byte 0x6
        .4byte 0x7
        .4byte 0x8
```

Результат make:

```
SYMBOL TABLE:
80000000 l    d  .text  00000000 .text
80000040 l    d  .data  00000000 .data
00000000 l    df *ABS*  00000000 lab12.o
00000008 l       *ABS*  00000000 len
00000004 l       *ABS*  00000000 enroll
00000004 l       *ABS*  00000000 elem_sz
80000040 l       .data  00000000 _x
80000010 l       .text  00000000 lp
8000003c l       .text  00000000 lp2
80000000 g       .text  00000000 _start
80000060 g       .data  00000000 _end


Дизассемблирование раздела .text:
80000000 <_start>:
80000000:   00000097               auipc x1,0x0
80000004:   04008093               addi  x1,x1,64 # 80000040 <_x>
80000008:   02008a13               addi  x20,x1,32
8000000c:   00000fb3               add   x31,x0,x0
80000010 <lp>:
80000010:   0000a103               lw    x2,0(x1)
80000014:   0040a183               lw    x3,4(x1)
80000018:   002f8fb3               add   x31,x31,x2
8000001c:   003f8fb3               add   x31,x31,x3
80000020:   0080a203               lw    x4,8(x1)
80000024:   00c0a283               lw    x5,12(x1)
```

```
80000028:   004f8fb3                add   x31,x31,x4
8000002c:   005f8fb3                add   x31,x31,x5
80000030:   01008093                addi  x1,x1,16
80000034:   fd409ee3                bne   x1,x20,80000010 <lp>
80000038:   001f8f93                addi  x31,x31,1
8000003c <lp2>:
8000003c:   0000006f                jal   x0,8000003c <lp2>

Дизассемблирование раздела .data:
80000040 <_x>:
80000040:   0001                    c.addi      x0,0
80000042:   0000                    c.unimp
80000044:   0002                    c.slli64    x0
80000046:   0000                    c.unimp
80000048:   00000003                lb    x0,0(x0) # 0 <elem_sz-0x4>
8000004c:   0004                    0x4
8000004e:   0000                    c.unimp
80000050:   0005                    c.addi      x0,1
80000052:   0000                    c.unimp
80000054:   0006                    c.slli      x0,0x1
80000056:   0000                    c.unimp
80000058:   00000007                0x7
8000005c:   0008                    0x8
      ...
```

Код, соответствующий программе:

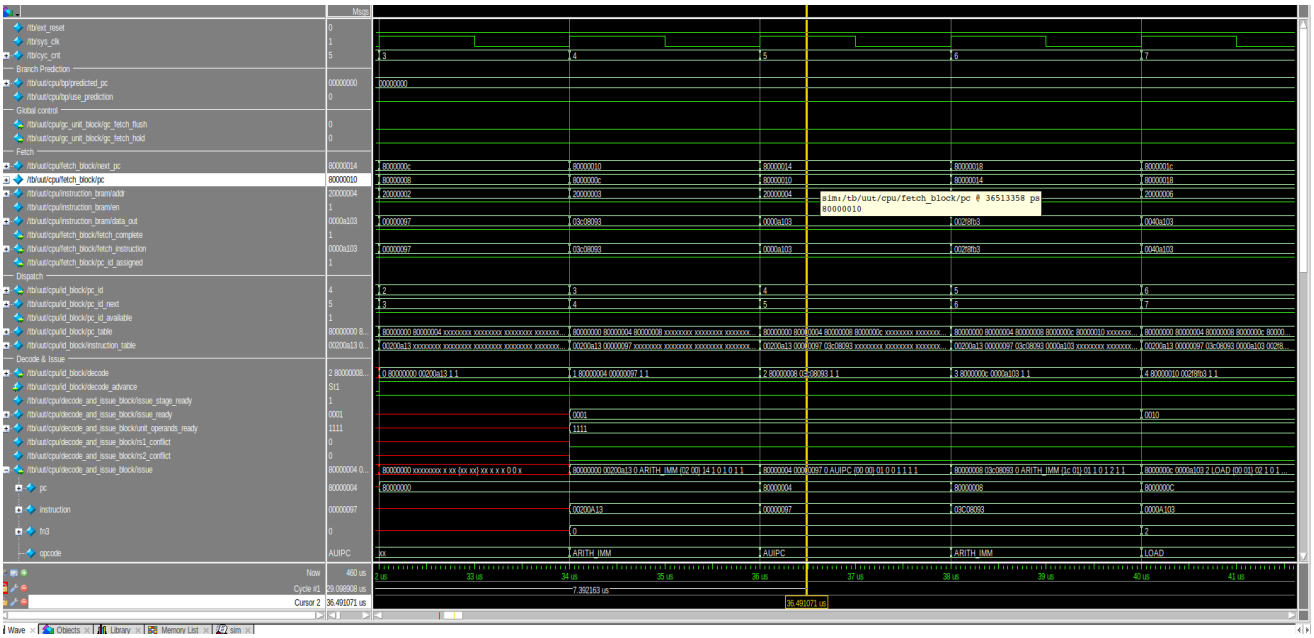
```
#define len 8
#define enroll 4
#define elem_sz 4
int _x[]={1,2,3,4,5,6,7,8};
void _start() {
    int x20 = elem_sz*len;
    int *x1 = _x;
    int x31 = x0 + x0;

    do {
      int x2 = x1[0];
      int x3 = x1[1];
      x31 += x2;
      x31 += x3;
      int x4 = x1[2];
      int x5 = x1[3];
      x31 += x4;
      x31 += x5;
      x1 += enroll;
    } while(x1 != x20);
    x31++;
    while(1){}
}
```

Значение x31 в конце выполнения программы равно 1+2+3+4+5+6+7+8+1=37.

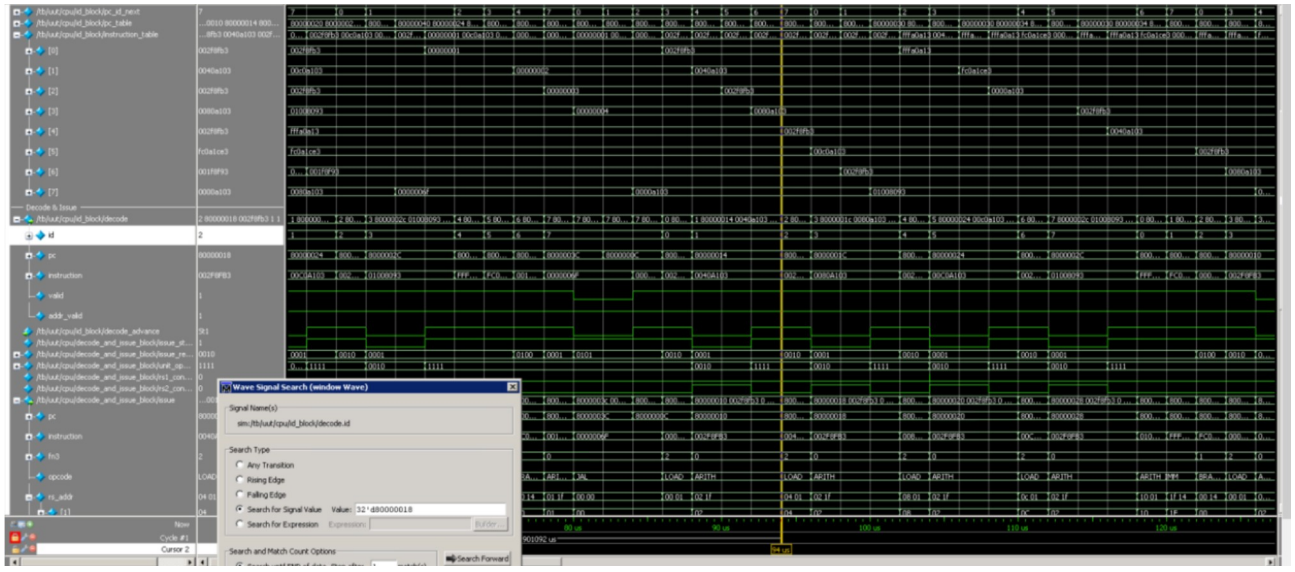
Задание №2

Временная диаграмма выполнения стадий выборки и диспетчеризации команды с адресом 80000010 и номером итерации 2.

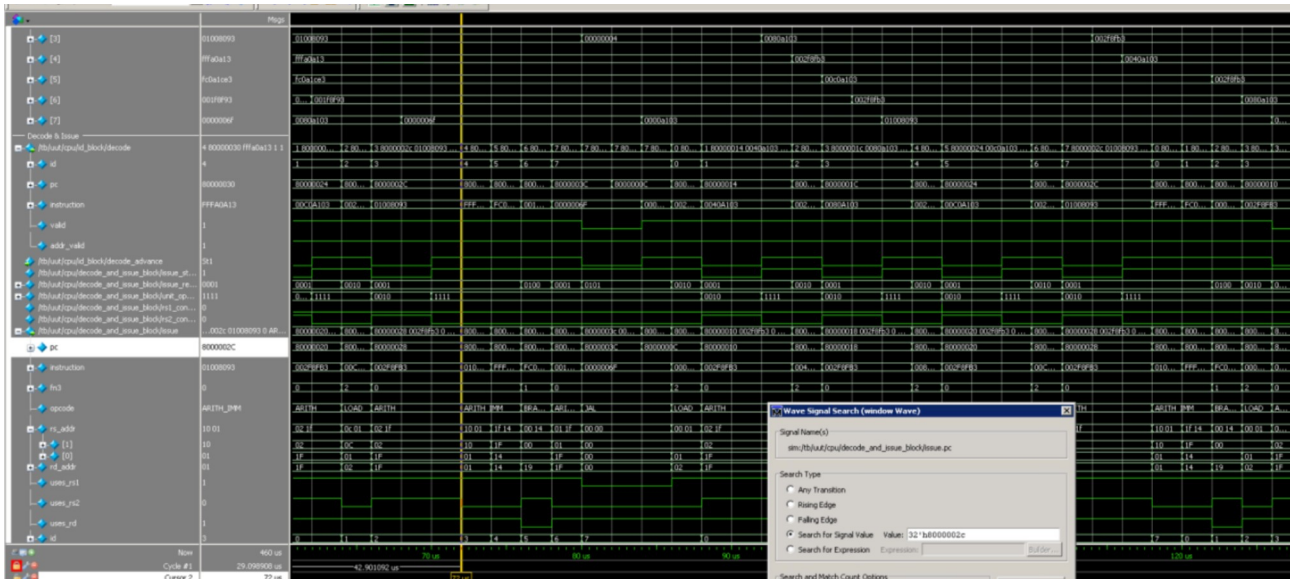


Задание №3:

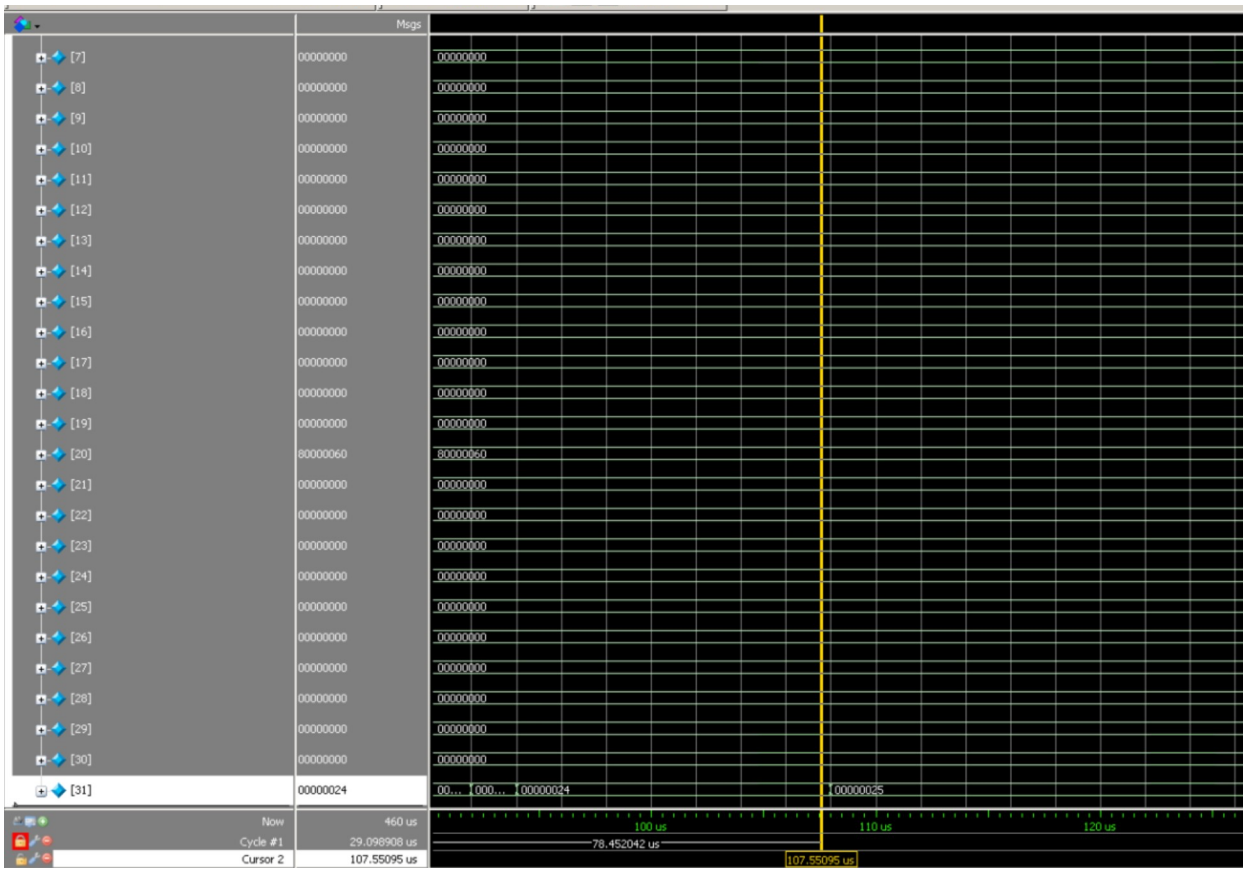
Временная диаграмма выполнения стадий декодирования и планирования на выполнение команды с адресом 80000018 и номером итерации 2.



Задание №4:
Временная диаграмма выполнения стадии выполнения команды с адресом 8000002c и номером итерации 1.



Задание №5:
Диаграмма выполнения программы по варианту:



Значение X31 равно 25h=2*16 + 5 = 37, что совпадает с посчитанном в первом задании.

Трасса выполнения тестовой программы:

Адрес	Код команды	Команда	id	Номер такта
80000000<_start>	00200a13	addi x20,x0,2	0	F I D D AL
80000004	00000097	auipc x1,0x0	1	F I D D AL
80000008	03c08093	addi x1,x1,60#80000040<x>	2	F I D D AL
8000000c<loop>	0000a103	lw x2,0(x1)	3	F I D D M1 M2 M3
80000010	002f8fb3	add x31,x31,x2	4	F I D D C C AL
80000014	0040a103	lw x2,4(x1)	5	F I D W W D M1 M2 M3
80000018	002f8fb3	add x31,x31,x2	6	F I D W W D C C AL
8000001c	0080a103	lw x2,8(x1)	7	F I D W W W W D M1 M2 M3
80000020	002f8fb3	add x31,x31,x2	0	F I D W W W W D C C AL
80000024	00c0a103	lw x2,12(x1)	1	F I D W W W W W W D M1 M2 M3
80000028	002f8fb3	add x31,x31,x2	2	F I D W W W W W W D C C AL
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	3	F I D W W W W W W D C C AL
80000030	fff a0a13	addi x20,x20,-1	4	F I D W W W W W W W W D AL
80000034	fc0a1ce3	bne x20,x0,8000000c<loop>	5	F I D W W W W W W W W D B
80000038	001f8f93	addi x31,x31,1	6	F I D W W W W W W W W D X
8000003c	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	7	F I D W W W W W W W W DX
80000040	00000001	<invalid operation>	0	F I D W W W W X
80000044	00000002	<invalid operation>	1	F I D W W X
80000048	00000003	<invalid operation>	2	F I D X
8000004c	00000004	<invalid operation>	3	F X
80000050	00000005	<invalid operation>	4	FX
8000000c<loop>	0000a103	lw x2,0(x1)	7	F I D D M1 M2 M3
80000010	002f8fb3	add x31,x31,x2	0	F I D D C C AL
80000014	0040a103	lw x2,4(x1)	1	F I D W W D M1 M2 M3
80000018	002f8fb3	add x31,x31,x2	2	F I D W W D C C AL
8000001c	0080a103	lw x2,8(x1)	3	F I D W W W W D M1 M2 M3
80000020	002f8fb3	add x31,x31,x2	4	F I D W W W W D C C AL
80000024	00c0a103	lw x2,12(x1)	5	F I D W W W W W W D M1 M2 M3
80000028	002f8fb3	add x31,x31,x2	6	F I D W W W W W W D C C AL
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	7	F I D W W W W W W D C C AL
80000030	fff a0a13	addi x20,x20,-1	0	F I D W W W W W W W W D AL
80000034	fc0a1ce3	bne x20,x0,8000000c<loop>	1	F I D W W W W W W W W D B
8000000c<loop>	0000a103	lw x2,0(x1)	2	F I D W W W W W W W W D X
80000010	002f8fb3	add x31,x31,x2	3	F I D W W W W W W W W DX
80000014	0040a103	lw x2,4(x1)	4	F I D W W W W W X
80000018	002f8fb3	add x31,x31,x2	5	F I D W W X
8000001c	0080a103	lw x2,8(x1)	6	F I D X
80000020	002f8fb3	add x31,x31,x2	7	F X
80000024	00c0a103	lw x2,12(x1)	0	FX
80000038	001f8f93	addi x31,x31,1	3	F I D D AL
8000003c	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	4	F I D D B
80000040	00000001	<invalid operation>	5	F I D D X
80000044	00000002	<invalid operation>	6	F I D DX
80000048	00000003	<invalid operation>	7	F X
8000004c	00000004	<invalid operation>	0	FX
8000003c<forever>	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	6	F I D D B
8000003c<forever>	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	7	F I D D B
Адрес	Код команды	Команда	id	Номер такта

Трасса выполнения программы по варианту:

Адрес	Код команды	Команда	id	Номер такта
80000000<_start>	00000097	auipc x1,0x0	0	F ID D AL
80000004	03c08093	addi x1,x1,60#8000003c<_x>	1	F ID D AL
80000008	00200a13	addi x20,x1,32	2	F ID D AL
8000000c<lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	3	F ID D M1 M2 M3
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	4	F ID D M1 M2 M3
80000014	002f8fb3	add x31,x31,x2	5	F ID D C AL
80000018	003f8fb3	add x31,x31,x3	6	F ID W D AL
8000001c	0080a203	lw x4,8(x1)	7	F ID W D M1 M2 M3
80000020	00c0a283	lw x5,12(x1)	0	F ID W D M1 M2 M3
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	1	F ID W D C AL
80000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	2	F ID W W D AL
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	3	F ID W W D AL
80000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c<lp>	4	F ID W W D B
80000034	001f8f93	addi x31,x31,1	5	F ID W W D X
80000038	0000006f	jal x0,80000038<lp2>	6	F ID W W DX
8000003c	00000001	<invalid operation>	7	F ID W X
80000040	00000002	<invalid operation>	0	F ID W X
80000044	00000003	<invalid operation>	1	F X
80000048	00000004	<invalid operation>	2	FX
8000000c<lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	6	F ID D M1 M2 M3
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	7	F ID D M1 M2 M3
80000014	002f8fb3	add x31,x31,x2	0	F ID D C Al
80000018	003f8fb3	add x31,x31,x3	1	F ID W D AL
8000001c	0080a203	lw x4,8(x1)	2	F ID W D M1 M2 M3
80000020	00c0a283	lw x5,12(x1)	3	F ID W D M1 M2 M3
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	4	F ID W D C AL
80000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	5	F ID W W D AL
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	6	F ID W W D AL
80000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c<lp>	7	F ID W W D B
8000000c<lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	0	F ID W W D X
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	1	F ID W W DX
80000014	002f8fb3	add x31,x31,x2	2	F ID W X
80000018	003f8fb3	add x31,x31,x3	3	F ID X
8000001c	0080a203	lw x4,8(x1)	4	F X
80000020	00c0a283	lw x5,12(x1)	5	FX
80000034	001f8f93	add x31,x31,1	1	F ID D AL
80000038	0000006f	jal x0,80000038<lp2>	2	F ID D B
8000003c	00000001	<invalid operation>	3	F ID D X
80000040	00000002	<invalid operation>	4	F ID DX
80000044	00000003	<invalid operation>	5	F X
80000048	00000004	<invalid operation>	6	FX
80000038<lp2>	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	4	F ID D B
80000038<lp2>	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	5	F ID D B
Адрес	Код команды	Команда	id	Номер такта

Вывод об эффективности: конфликты возникают, когда после выполнения инструкции lw выполняется инструкция add. Можно оптимизировать программу, написав сначала все инструкции lw, а затем все инструкции add.

Код опитмизированной программы:

```
        .section .text
        .globl _start;
        len = 8 #Размер массива
        enroll = 4 #Количество обрабатываемых элементов за одну итерацию
        elem_sz = 4 #Размер одного элемента массива

_start:
        la x1, _x
        addi x20, x1, elem_sz*len #Адрес последнего элемента
        add x31, x0, x0
lp:
        lw x2, 0(x1)
        lw x3, 4(x1)
        lw x4, 8(x1)
        lw x5, 12(x1)
        add x31, x31, x2
        add x31, x31, x3
        add x31, x31, x4
        add x31, x31, x5
        addi x1, x1, elem_sz*enroll
        bne x1, x20, lp
        addi x31, x31, 1
lp2: j lp2

        .section .data
_x:     .4byte 0x1
        .4byte 0x2
        .4byte 0x3
        .4byte 0x4
        .4byte 0x5
        .4byte 0x6
        .4byte 0x7
        .4byte 0x8
```

Трасса выполнения оптимизированной программы:

Адрес	Код команды	Команда	id	Номер такта																																										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
80000000<_start>	00000097	auipc x1,0x0	0	F	ID	D	AL																																					
80000004	03c08093	addi x1,x1,60#8000003c<_x>	1		F	ID	D	AL																																				
80000008	00200a13	addi x20,x1,32	2			F	ID	D	AL																																			
8000000c<lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	3				F	ID	D	M1	M2	M3																																
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	4					F	ID	D	M1	M2	M3																															
80000014	0080a203	lw x4,8(x1)	5						F	ID	D	M1	M2	M3																														
80000018	00c0a283	lw x5,12(x1)	6							F	ID	D	M1	M2	M3																													
8000001c	002f8fb3	add x31,x31,x2	7								F	ID	D	AL																														
80000020	003f8fb3	add x31,x31,x3	0									F	ID	D	AL																													
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	1										F	ID	D	AL																												
80000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	2											F	ID	D	AL																											
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	3												F	ID	D	AL																										
80000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c<lp>	4													F	ID	D	B																									
80000034	001f8f93	addi x31,x31,1	5														F	ID	D	X																								
80000038	0000006f	jal x0,80000038<lp2>	6															F	ID	X																								
8000003c	00000001	<invalid operation>	7																F	X																								
80000040	00000002	<invalid operation>	0																	FX																								
8000000c<lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	6																		F	ID	D	M1	M2	M3																		
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	7																			F	ID	D	M1	M2	M3																	
80000014	0080a203	lw x4,8(x1)	0																				F	ID	D	M1	M2	M3																
80000018	00c0a283	lw x5,12(x1)	1																					F	ID	D	M1	M2	M3															
8000001c	002f8fb3	add x31,x31,x2	2																						F	ID	D	AL																
80000020	003f8fb3	add x31,x31,x3	3																							F	ID	D	AL															
80000024	004f8fb3	add x31,x31,x4	4																								F	ID	D	AL														
80000028	005f8fb3	add x31,x31,x5	5																									F	ID	D	AL													
8000002c	01008093	addi x1,x1,16	6																										F	ID	D	AL												
80000030	fd409ee3	bne x1,x20,8000000c<lp>	7																											F	ID	D	B											
8000000c<lp>	0000a103	lw x2,0(x1)	0																												F	ID	D	X										
80000010	0040a183	lw x3,4(x1)	1																													F	ID	X										
80000014	0080a203	lw x4,8(x1)	2																														F	X										
80000018	00c0a283	lw x5,12(x1)	3																															FX										
80000034	001f8f93	add x31,x31,1	1																																F	ID	D	AL						
80000038	0000006f	jal x0,80000038<lp2>	2																																	F	ID	D	B					
8000003c	00000001	<invalid operation>	3																																		F	ID	D	X				
80000040	00000002	<invalid operation>	4																																			F	ID	DX				
80000044	00000003	<invalid operation>	5																																				F	X				
80000048	00000004	<invalid operation>	6																																					FX				
80000038<lp2>	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	4																																						F	ID	D	B	
80000038<lp2>	0000006f	jal x0,8000003c<forever>	5																																							F	ID	D	B
Адрес	Код команды	Команда	id	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
				Номер такта																																										