

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Вятский государственный университет»

Факультет автоматики и вычислительной техники

Кафедра электронных вычислительных машин

Синтез системы оперативной обработки

Отчет по лабораторной работе №5 дисциплины  
«Высокопроизводительные вычислительные комплексы»

Вариант 5

Выполнил студент группы ИВТ-41 \_\_\_\_\_/Крючков И. С./  
Проверил \_\_\_\_\_/Мельцов В. Ю./

Киров 2023

# 1. Задание №1

Команды: VSUB Ai,Bi,Ci

Число ступеней конвейера:  $n = 4$

Время прохождения ступеней конвейера, время инициализации команды на конвейере, время выполнения команды на скалярном процессоре (наносекунд):

$t1 = 11$	$t_i(\text{VADD}) = 9$	$t_{\text{scalar}}(\text{ADD}) = 47$
$t2 = 15$	$t_i(\text{VSUB}) = 10$	$t_{\text{scalar}}(\text{SUB}) = 48$
$t3 = 14$	$t_i(\text{VMUL}) = 12$	$t_{\text{scalar}}(\text{MUL}) = 49$
$t4 = 10$	$t_i(\text{VDIV}) = 13$	$t_{\text{scalar}}(\text{DIV}) = 51$
$t5 = 0$		
$t6 = 0$		
$t7 = 0$		

Длина вектора:  $L_i = 96$ ;  $L_j = 96$

1) Определите пропускную способность конвейера  $R = 1/t_c$ .

$$R = \frac{1}{(15 * 10^{-9})} = 66\,666\,666.6667$$

2) Введите общую формулу для расчета производительности конвейера.

$$P = L / (t_c * (L + n - 1) + t_i)$$

3) Рассчитайте производительность конвейера P:

$$P = \frac{96}{15 * 10^{-9} * (96 + 4 - 1) + 10 * 10^{-9}} = 64\,214\,047$$

4) Введите формулу для расчета коэффициента снижения пропускной способности.

$$d = f * r + (1 - f)$$

5) Рассчитайте коэффициент снижения пропускной способности d

$$d = 0 * 0 + (1 - 0) = 1$$

6) Введите формулу для расчета эффективности конвейера E.

Время старта конвейера =  $t_{\text{start}}$ .

$$E = L * t_{\text{scalar}} / (t_{\text{start}} + (L - 1) * t_c)$$

7) Рассчитайте эффективность конвейера E.

$$t_{start} = t_i + n * t_c$$

$$t_{start} = 10 * 10^{-9} + 4 * 15 * 10^{-9} = 7 * 10^{-8}$$

$$E = \frac{96 * 48 * 10^{-9}}{7 * 10^{-8} + (96 - 1) * 15 * 10^{-9}} = 3.082274$$

## 2. Вывод 1

Производительность векторного процессора напрямую зависит от:

- длины вектора. С увеличением длины вектора повышается его производительность и эффективность;
- от времени инициализации векторного процессора. Чем оно меньше, тем выше производительность. Идеальным вариантом является последовательность из одинаковых векторных команд;
- от времени ступени, т.е. самой медленной ступени.

Зависимость P и E от длины вектора представлена в таблице 1.

Таблица 1

L	P	E
32	59813084	2.871028
64	63054187	3.026601
96	64214047	3.082274
128	64810126	3.110886

Зависимость P и E от количества ступеней и  $t_c$  (при  $L = 64$ ) представлена в таблице 2.

Таблица 2

n	$t_c$	P	E
7	8	112280701	5.389473
8	7	126232741	6.059171
9	6	144796380	6.950226
10	5	170666666	8.192000

12	5	166233766	7.979221
15	5	160000000	7.680000

Производительность и эффективность конвейера зависят от количества ступеней и от времени прохождения самой медленной ступени конвейера. При этом:

- если с увеличением количества ступеней время  $t_c$  уменьшается, то производительность и эффективность увеличиваются;
- если с увеличением количества ступеней время  $t_c$  не изменяется или увеличивается, то производительность и эффективность уменьшается.

### 3. Задание №2

Команды: VSUB  $A_j, B_j, C_j$ ; VADD  $D_i, 1, E_i$

Число ступеней конвейера:  $n = 6$

Время прохождения ступеней конвейера, время инициализации команды на конвейере, время выполнения команды на скалярном процессоре (наносекунд):

$t_1 = 11$	$t_i(\text{VADD}) = 9$	$t_{\text{scalar}}(\text{ADD}) = 47$
$t_2 = 9$	$t_i(\text{VSUB}) = 10$	$t_{\text{scalar}}(\text{SUB}) = 48$
$t_3 = 5$	$t_i(\text{VMUL}) = 12$	$t_{\text{scalar}}(\text{MUL}) = 49$
$t_4 = 9$	$t_i(\text{VDIV}) = 13$	$t_{\text{scalar}}(\text{DIV}) = 51$
$t_5 = 8$		
$t_6 = 5$		
$t_7 = 0$		

Длина вектора:  $L_i = 96$ ;  $L_j = 96$

1) Определите пропускную способность конвейера  $R = 1/t_c$ .

$$R = \frac{1}{(11 * 10^{-9})} = 90\,909\,090.9091$$

2) Введите общую формулу для расчета производительности конвейера.

$$P = L / (t_c * (L + n - 1) + t_i)$$

3) Рассчитайте производительность конвейера P:

$$P_1 = \frac{96}{11 * 10^{-9} * (96 + 6 - 1) + 10 * 10^{-9}} = 85\,637\,823.37$$

$$P_2 = \frac{96}{11 * 10^{-9} * (96 + 6 - 1) + 9 * 10^{-9}} = 85\,714\,285.71$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{85\,637\,823.37 + 85\,714\,285.71}{2} = 85\,676\,055$$

4) Введите формулу для расчета коэффициента снижения пропускной способности.

$$d = f * r + (1 - f)$$

5) Рассчитайте коэффициент снижения пропускной способности d

$$d = 0 * 0 + (1 - 0) = 1$$

6) Введите формулу для расчета эффективности конвейера E.

Время старта конвейера = tstart.

$$E = L * t_{\text{scalar}} / (t_{\text{start}} + (L - 1) * t_c)$$

7) Рассчитайте эффективность конвейера E.

$$t_{\text{start}} = t_i + n * t_c$$

$$t_{\text{start}_1} = 10 * 10^{-9} + 6 * 11 * 10^{-9} = 7,6 * 10^{-8}$$

$$t_{\text{start}_2} = 9 * 10^{-9} + 6 * 11 * 10^{-9} = 7,5 * 10^{-8}$$

$$E_1 = \frac{96 * 48 * 10^{-9}}{7,6 * 10^{-8} + (96 - 1) * 11 * 10^{-9}} = 4.110615$$

$$E_2 = \frac{96 * 47 * 10^{-9}}{7,5 * 10^{-8} + (96 - 1) * 11 * 10^{-9}} = 4.028571$$

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} = \frac{4.110615 + 4.028571}{2} = 4.069593$$

#### 4. Вывод 2

Использовать ВКС при большом числе векторных операций выгоднее, чем скалярные машины ( $E = 4.069593 > 1$ ).

Для повышения производительности и эффективности работы конвейера необходимо, если это возможно, выполнять однотипные операции одним блоком, т. к. сокращается время на инициализацию конвейера.

### 5. Задание №3

Команды: SUB R1, R2, R3; VADD Ai, 1, Bi

Число ступеней конвейера:  $n = 7$

Время прохождения ступеней конвейера, время инициализации команды на конвейере, время выполнения команды на скалярном процессоре (наносекунд):

$t1 = 9$	$t_i(\text{VADD}) = 9$	$t_{\text{scalar}}(\text{ADD}) = 47$
$t2 = 8$	$t_i(\text{VSUB}) = 10$	$t_{\text{scalar}}(\text{SUB}) = 48$
$t3 = 10$	$t_i(\text{VMUL}) = 12$	$t_{\text{scalar}}(\text{MUL}) = 49$
$t4 = 8$	$t_i(\text{VDIV}) = 13$	$t_{\text{scalar}}(\text{DIV}) = 51$
$t5 = 7$		
$t6 = 10$		
$t7 = 10$		

Длина вектора:  $L_i = 96$ ;  $L_j = 96$

1) Определите пропускную способность конвейера  $R = 1/t_c$ .

$$R = \frac{1}{(10 * 10^{-9})} = 100\,000\,000$$

2) Введите формулу для расчета коэффициента снижения пропускной способности.

$$d = f * r + (1 - f)$$

$f$  – доля скалярных операций

$r$  – отношение максимальной пропускной способности в векторном режиме к пропускной способности в скалярном

$$r = R_{\text{max}}/R_{\text{scalar}} = t_{\text{scalar}}/t_c$$

$R_{\text{max}}$  – максимальная пропускная способность конвейера в векторном режиме

$R_{\text{scalar}}$  – пропускная способность конвейера в скалярном режиме.

3) Рассчитайте коэффициент снижения пропускной способности  $d$

$$d = 0.5 * \frac{48}{10} + 0.5 = 2.9$$

4) Рассчитайте время решения задачи на векторном процессоре:

$$T_{vec} = t_i + t_c * (L + n - 1)$$

$$T_{vec} = 9 * 10^{-9} + 10 * 10^{-9} * (96 + 7 - 1) = 1029 \text{ нс}$$

5) Рассчитайте время решения задачи на скалярном процессоре.

$$T_{scalar} = t_{com1} + t_{com2} = t_{scalar} * l_1 + t_{scalar} * l_2$$

$$T_{scalar} = 48 * 10^{-9} * 1 + 47 * 10^{-9} * 96 = 4560 \text{ нс}$$

6) Рассчитайте время решения задачи на ВКС.

$$T_{вкс} = \max\{9 * 10^{-9} + 10 * 10^{-9} * (96 + 7 - 1); 48 * 10^{-9}\} = 1029 \text{ нс}$$

## 6. Вывод 3

Время выполнения заданной программы на векторном процессоре занимает 1029 нс, что гораздо быстрее, чем на скалярном процессоре, который выполнил бы эту программу за 4560 нс – примерно в 4.4 раза дольше. Эффективность векторного процессора в данной задаче достигается за счет достаточного большого вектора данных, которые необходимо обработать. Если бы в задаче было бы больше число скалярных команд, то векторный процессор был бы не эффективен.

ВКС является одной из эффективных систем для решения задач, в которых есть как векторные команды, так и скалярные. В данной системе скалярные команды обрабатываются на скалярном процессоре, а векторные на векторном, причем оба этих процессора работают параллельно. Время решения данной задачи на ВКС составляет 1029 нс.

## 7. Задание №4

Рассчитать минимальное время выполнения программы на ВКС.

Код программы:

MUL R1, R2, R3

VSUB Aj, 1, Bj

VADD Ci, Di, Ei

DIV R3, 5, R4

VADD 4, Ei, Fi

ВКС представлено системой с двумя векторными процессорами (2 конвейера) и одним скалярным. Примем следующие значения параметров ВКС:

	V1	V2
tc, нс	10	8
n	6	9

$$L_i = 64; L_j = 128$$

Время инициализации и время скалярного выполнения представлены в таблице 3.

Таблица 3

ti(VADD)	9 нс	tscalar(ADD)	48 нс
ti(VSUB)	10 нс	tscalar(SUB)	49 нс
ti(VMUL)	11 нс	tscalar(MUL)	51 нс
ti(VDIV)	14 нс	tscalar(DIV)	52 нс

Рассчитаем различные значения времени выполнения на ВКС для случая без сцепления конвейеров и со сцеплением. Для минимизации времени выполнения необходимо оптимально распределить команды между процессорами. Команда [DIV R3, 5, R4] зависима по данным от [MUL R1, R2, R3], команда [VADD 4, Ei, Fi] зависима от [VADD Ci, Di, Ei]. Эти команды должны выполняться в правильном порядке. Правильный порядок команд позволяет производить вычисления на векторном процессоре более эффективно, за счет уменьшения времени инициализации при смене команд. Наиболее эффективной стратегией является группирование команд. Таким образом наиболее эффективная последовательность команд на ВКС будет:

MUL R1, R2, R3

DIV R3, 5, R4

VSUB Aj, 1, Bj

VADD Ci, Di, Ei

VADD 4, Ei, Fi



Расчет параметров системы:

$$R_1 = \frac{1}{10 * 10^{-9}} = 100\,000\,000$$

$$R_2 = \frac{1}{8 * 10^{-9}} = 125\,000\,000$$

$$f = 0.4$$

$$d_1 = f * \left( \frac{r_1 + r_2}{2} \right) + (1 - f) = 0.4 * \left( \frac{51 + 52}{10 * 2} \right) + 0.6 = 2.66$$

$$d_2 = f * \left( \frac{r_1 + r_2}{2} \right) + (1 - f) = 0.4 * \left( \frac{51 + 52}{8 * 2} \right) + 0.6 = 3.175$$

Расчет времени выполнения векторных команд на процессорах без сцепления конвейеров:

$$T = t_c * (n + L - 1)$$

$$T1(\text{VSUB } A_j, 1, B_j) = 10 * (6 + 63) = 690 \text{ нс}$$

$$T1(\text{VADD } C_i, D_i, E_i) = 10 * (6 + 127) = 1330 \text{ нс}$$

$$T1(\text{VADD } 4, E_i, F_i) = 10 * (6 + 127) = 1330 \text{ нс}$$

$$T2(\text{VSUB } A_j, 1, B_j) = 8 * (9 + 63) = 576 \text{ нс}$$

$$T2(\text{VADD } C_i, D_i, E_i) = 8 * (9 + 127) = 1088 \text{ нс}$$

$$T2(\text{VADD } 4, E_i, F_i) = 8 * (9 + 127) = 1088 \text{ нс}$$

Временная диаграмма представлена на рисунке 1.

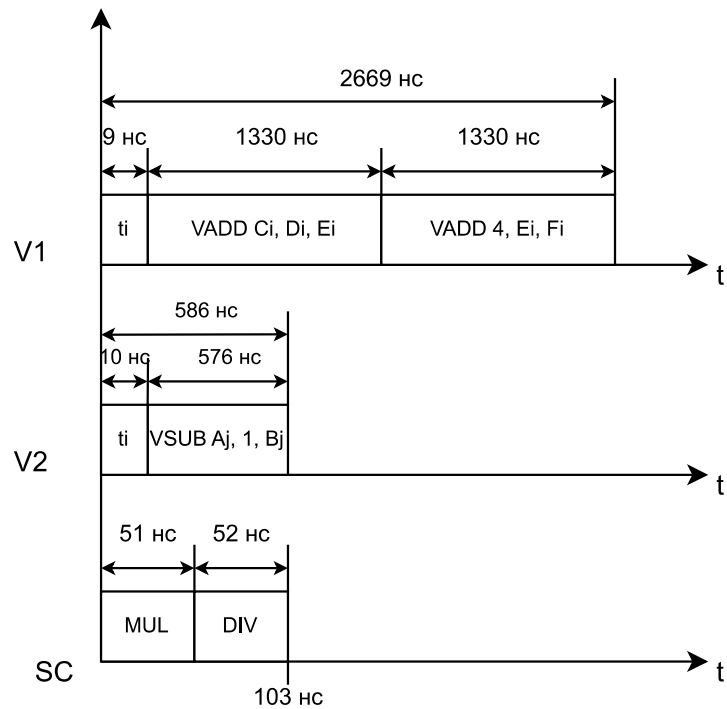


Рисунок 1 – Временная диаграмма работы ВКС без сцепления

Время выполнения на ВКС без сцепления рассчитывается следующим образом:

$$T_{\text{ВКС}} = \max\{2669; 586; 103\} = 2669 \text{ нс}$$

При выполнении программы, в конце, второй конвейер будет простаивать 2083 нс. Для более равномерной загрузки конвейеров можно воспользоваться сцеплением конвейеров.

Система со сцеплением конвейеров решает проблему зависимости по данным, однако время самой медленной ступени становится общим для обоих векторных процессоров ( $t_c=10$  нс).

Расчет времени выполнения векторных команд на процессорах со сцеплением конвейеров:

$$T1(\text{VSUB } A_j, 1, B_j) = 10 * (6 + 63) = 690 \text{ нс}$$

$$T1(\text{VADD } C_i, D_i, E_i) = 10 * (6 + 127) = 1330 \text{ нс}$$

$$T1(\text{VADD } 4, E_i, F_i) = 10 * (6 + 127) = 1330 \text{ нс}$$

$$T2(\text{VSUB } A_j, 1, B_j) = 10 * (9 + 63) = 720 \text{ нс}$$

$$T2(\text{VADD } C_i, D_i, E_i) = 10 * (9 + 127) = 1360 \text{ нс}$$

$$T2(VADD\ 4, E_i, F_i) = 10 * (9 + 127) = 1360\text{ нс}$$

Построенная временная диаграмма представлена на рисунке 2.

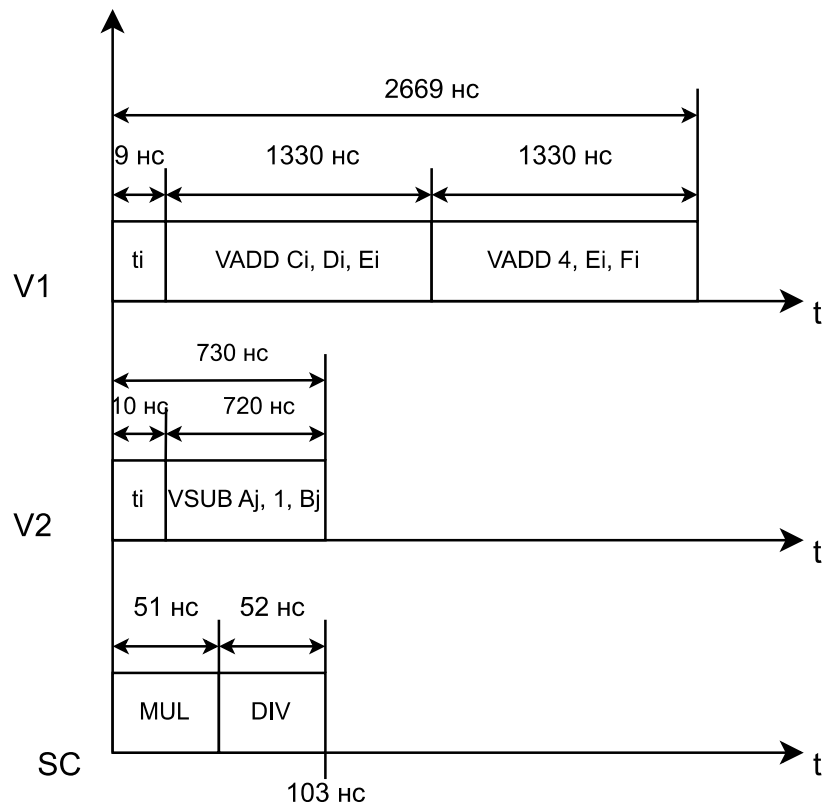


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы ВКС без сцепления

Время выполнения на ВКС со сцеплением рассчитывается так:

$$T_{\text{ВКС}} = \max\{2669; 730; 103\} = 2669\text{ нс}$$

Время решения задачи на ВКС со сцеплением конвейеров не изменилось по сравнению с ВКС без сцепления конвейеров, так как между командами присутствует зависимость по данным и их не удалось расположить в более эффективном для метода сцепления порядке.

Использование ВКС со сцеплением может быть эффективно в том случае, когда существуют одинаковые команды, но они не могут быть выполнены на ВКС без сцепления так как есть зависимость по данным.

Благодаря методу сцепления данные с одного конвейера могут поступать на другой по мере их появления, что позволяет не дожидаться полного завершения предыдущей команды.