

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Вятский государственный университет»
(«ВятГУ»)

Факультет автоматики и вычислительной техники
Кафедра электронных вычислительных машин

Отчет по лабораторной работе №5
по дисциплине «Высокопроизводительные вычислительные комплексы»
Вариант 12

Выполнил студент группы ИВТ-42 _____ /Рзаев А. Э./

Проверил преподаватель _____ /Мельцов В. Ю./

Киров 2018

1. Задание 1

Команды: VMUL A_j, B_j, C_j

Число ступеней конвейера: $n = 7$

Время прохождения ступеней конвейера, время инициализации команды на конвейере,

время выполнения команды на скалярном процессоре (секунд):

$$t_1 = 6 \text{ нс} \quad t_i(\text{VADD}) = 11 \text{ нс} \quad t_{\text{scalar}}(\text{ADD}) = 43 \text{ нс}$$

$$t_2 = 5 \text{ нс} \quad t_i(\text{VSUB}) = 13 \text{ нс} \quad t_{\text{scalar}}(\text{SUB}) = 44 \text{ нс}$$

$$t_3 = 6 \text{ нс} \quad t_i(\text{VMUL}) = 14 \text{ нс} \quad t_{\text{scalar}}(\text{MUL}) = 47 \text{ нс}$$

$$t_4 = 7 \text{ нс} \quad t_i(\text{VDIV}) = 16 \text{ нс} \quad t_{\text{scalar}}(\text{DIV}) = 49 \text{ нс}$$

$$t_5 = 7 \text{ нс}$$

$$t_6 = 5 \text{ нс}$$

$$t_7 = 8 \text{ нс}$$

Длина вектора: $L_i = 32$ $L_j = 64$

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

$$R = 1/t_c$$

$$R = 1 / 8 \cdot 10^{-9} = 125\,000\,000$$

1.2 Рассчитайте производительность конвейера P .

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

$$P = 64 / (8 \cdot 10^{-9} \cdot (64 + 6 - 1) + 14 \cdot 10^{-9}) = 11\,149\,825\,8 \text{ оп./сек.}$$

1.3 Рассчитайте коэффициент снижения пропускной способности d .

$$d = f \cdot r + (1 - f)$$

$$d = 0 \cdot 0 + (1 - 0) = 1$$

1.4 Рассчитайте эффективность конвейера E.

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

$$E = 64 * 47 * 10^{-9} / (7 * 10^{-8} + (64-1) * 8 * 10^{-9}) = 5.240418$$

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	100628931	4.72956
64	111498258	5.240418
96	115662651	5.436145
128	117863720	5.539595

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	111498257	5.240418
8	7	125244618	5.88697
9	6	134497757	6.744394
10	5	168865435	7.936675

12	5	164524421	7.732647
15	5	158415841	7.445544

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: VDIV A_j, B_j, C_j ; VADD D_i, E_i ; VDIV F_i, E_i, G_i

Число ступеней конвейера: $n = 5$

Время прохождения ступеней конвейера, время инициализации команды на конвейере,

время выполнения команды на скалярном процессоре (секунд):

$t_1 = 9$ нс $t_i(\text{VADD}) = 11$ нс $t_{\text{scalar}}(\text{ADD}) = 43$ нс

$t_2 = 7$ нс $t_i(\text{VSUB}) = 13$ нс $t_{\text{scalar}}(\text{SUB}) = 44$ нс

$t_3 = 6$ нс $t_i(\text{VMUL}) = 14$ нс $t_{\text{scalar}}(\text{MUL}) = 47$ нс

$t_4 = 9$ нс $t_i(\text{VDIV}) = 16$ нс $t_{\text{scalar}}(\text{DIV}) = 49$ нс

$t_5 = 9$ нс

$t_6 = 0$ нс

$t_7 = 0$ нс

Длина вектора: $L_i = 32$ $L_j = 64$

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

$$R = 1/t_c$$

$$R = 1 / 9 \cdot 10^{-9} = 111111111.111$$

1.2 Рассчитайте производительность конвейера Р.

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

$$P_1 = 64 / (9 \cdot 10^{-9} \cdot (64 + 4) + 16 \cdot 10^{-9}) = 101910828.025 \text{ оп./сек.}$$

$$P_2 = 32 / (9 \cdot 10^{-9} \cdot (64 + 4) + 11 \cdot 10^{-9}) = 95522388.059 \text{ оп./сек.}$$

$$P_3 = 32 / (9 \cdot 10^{-9} \cdot (64 + 4) + 16 \cdot 10^{-9}) = 94117647.058 \text{ оп./сек.}$$

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

$$P = \frac{101910828.025 + 95522388.059 + 94117647.058}{3} = 97183621.048$$

1.3 Рассчитайте коэффициент снижения пропускной способности d.

$$d = f \cdot r + (1 - f)$$

$$d = 0 \cdot 0 + (1 - 0) = 1$$

1.4 Рассчитайте эффективность конвейера Е.

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

$$E_1 = \frac{64 \cdot 49 \cdot 10^{-9}}{16 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 9 \cdot 10^{-9} + 63 \cdot 9 \cdot 10^{-9}} = 4.994$$

$$E_2 = \frac{32 \cdot 43 \cdot 10^{-9}}{11 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 9 \cdot 10^{-9} + 31 \cdot 9 \cdot 10^{-9}} = 4.107$$

$$E_3 = \frac{32 \cdot 49 \cdot 10^{-9}}{16 \cdot 10^{-9} + 5 \cdot 9 \cdot 10^{-9} + 31 \cdot 9 \cdot 10^{-9}} = 4.611$$

$$E = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} = \frac{4.994 + 4.107 + 4.611}{3} = 4.571$$

4. Вывод 2

Использовать ВКС при большом числе векторных операций выгоднее, чем скалярные машины ($E = 4.571 > 1$).

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: MUL R1,2,R2; VADD Ai,2,Bi

Число ступеней конвейера: $n = 5$

Время прохождения ступеней конвейера, время инициализации команды на конвейере,

время выполнения команды на скалярном процессоре (секунд):

$t_1 = 8 \text{ нс}$ $t_i(\text{VADD}) = 11 \text{ нс}$ $t_{\text{scalar}}(\text{ADD}) = 43 \text{ нс}$

$t_2 = 12 \text{ нс}$ $t_i(\text{VSUB}) = 13 \text{ нс}$ $t_{\text{scalar}}(\text{SUB}) = 44 \text{ нс}$

$t_3 = 9 \text{ нс}$ $t_i(\text{VMUL}) = 14 \text{ нс}$ $t_{\text{scalar}}(\text{MUL}) = 47 \text{ нс}$

$t_4 = 8 \text{ нс}$ $t_i(\text{VDIV}) = 16 \text{ нс}$ $t_{\text{scalar}}(\text{DIV}) = 49 \text{ нс}$

$t_5 = 11 \text{ нс}$

$t_6 = 0 \text{ нс}$

$t_7 = 0 \text{ нс}$

Длина вектора: $L_i = 32$ $L_j = 64$

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

$R = 1/t_c$, где

t_c – время самой долгой ступени конвейера

$$R = 1 / 12 \cdot 10^{-9} = 83\,333\,333.333$$

1.2 Рассчитайте коэффициент снижения пропускной способности d .

$d = f \cdot r + (1 - f)$, где

f – доля скалярных операций

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

Значение r может быть получено по формуле:

$$r = R_{\text{max}} / R_{\text{scalar}} = (t_i + n \cdot t_c) / t_c, \text{ где}$$

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

R_{scalar} – пропускная способность конвейера в «скалярном» режиме

$$d = 0.5 * 1.916667 + 0.5 = 1.458333$$

1.3 Рассчитайте время решения задачи на векторном процессоре.

$$T_{vec} = t_{com2} = t_i + t_c * (L + n - 1) = 443 \text{ нс}$$

1.4 Рассчитайте время решения задачи на скалярном процессоре.

$$T_{scal} = t_{com1} = t_{scalar} = 47 \text{ нс}$$

1.5 Рассчитайте время решения задачи на ВКС.

$$T_{вкс} = \max\{T_{vec}; T_{scal}\} = 443 \text{ нс}$$

6. Вывод 3

Время выполнения заданной программы на векторном процессоре занимает 443 нс, что гораздо быстрее чем на скалярном процессоре, который выполнил бы эту программу за 1423 нс. 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. В данной задаче 1 векторная команда и 1 скалярная, соответственно коэффициент пропускной способности равен 1.

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.

7. Задание 4

Необходимо рассчитать минимальное время выполнения программы на ВКС. Представлен следующий код программы.

```

VSUB Aj, Bj, Cj -----> |
SUB R1, 2, R2              |
VDIV Di, 3, Ei -----> |
MUL R2, R3, R4            |
VSUB 100, Ei, Fi <-----|
VADD Cj, Gj, Hj <-----|

```

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

- для первого векторного процессора $t_c = 8$ нс;
- для второго векторного процессора $t_c = 10$ нс;
- число ступеней первого векторного процессора $n = 7$;
- число ступеней второго векторного процессора $n = 6$;
- $L_i = 64$;
- $L_j = 128$.

Время инициализации и время скалярного выполнения представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Время инициализации и время скалярного выполнения команд

ti(VADD)	9 нс	tscalar(ADD)	49 нс
ti(VSUB)	10 нс	tscalar(SUB)	51 нс
ti(VMUL)	10 нс	tscalar(MUL)	53 нс
ti(VDIV)	12 нс	tscalar(DIV)	54 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 [VADD Cj, Gj, Hj] зависима по данным от [VSUB Aj, Bj, Cj], и команда [VSUB 100, Ei, Fi] от [VDIV Di, 3, Ei], формирующей необходимый для выполнения результат, что необходимо учесть для системы без сцепления.

Рассчитаем остальные параметры системы:

$$R1 = 124999999.999999$$

$$R2 = 100000000.0$$

$$f = 0,33$$

$$tc1 = 8 \cdot 10^{-9}$$

$$tc2 = 10 \cdot 10^{-9}$$

$$d1 = 0,33 * ((10 \cdot 10^{-9} + 7 * 8 \cdot 10^{-9}) / 8 \cdot 10^{-9} + (10 \cdot 10^{-9} + 7 * 8 \cdot 10^{-9}) / 8 \cdot 10^{-9}) / 2 + (1 - 0,33) = 3,393$$

$$d2 = 0,33 * ((10 \cdot 10^{-9} + 6 * 10 \cdot 10^{-9}) / 10 \cdot 10^{-9} + (10 \cdot 10^{-9} + 6 * 10 \cdot 10^{-9}) / 10 \cdot 10^{-9}) / 2 + (1 - 0,33) = 2,98$$

Расчет времени выполнения векторных команд на процессорах без сцепления конвейеров:

$$T1(VSUB A_j, B_j, C_j) = 8 \cdot 10^{-9} * (128+7-1) = 1,072 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(VSUB A_j, B_j, C_j) = 10 \cdot 10^{-9} * (128+6-1) = 1,33 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(VDIV D_i, 3, E_i) = 8 \cdot 10^{-9} * (64+7-1) = 0,56 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(VDIV D_i, 3, E_i) = 10 \cdot 10^{-9} * (64+6-1) = 0,690 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(VSUB 100, E_i, F_i) = 8 \cdot 10^{-9} * (64+7-1) = 0,56 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(VSUB 100, E_i, F_i) = 10 \cdot 10^{-9} * (64+6-1) = 0,690 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(VADD C_j, G_j, H_j) = 8 \cdot 10^{-9} * (128+7-1) = 1,072 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(VADD C_j, G_j, H_j) = 10 \cdot 10^{-9} * (128+6-1) = 1,33 \cdot 10^{-6}$$

Построенная временная диаграмма, с учетом зависимости по данным команд $VADD_j$ от $VSUB_j$ и $VSUB_i$ от $VDIV_i$, представлена на рисунке 1.

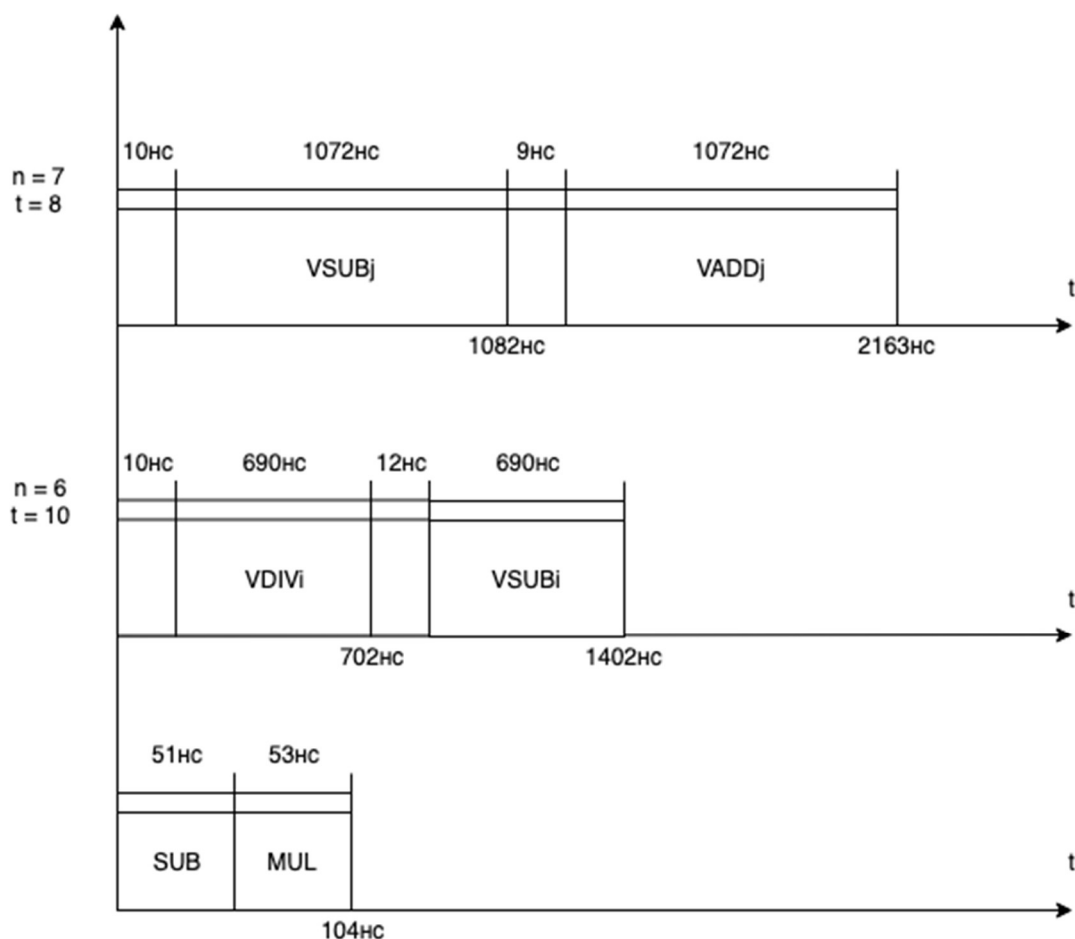


Рисунок 1 – Временная диаграмма работы ВКС без сцепления

Время выполнения на ВКС без сцепления рассчитывается следующим образом:

$$T_{\text{ВКС}} = \max \{2163; 1402; 104\} = 2163 \text{ нс.}$$

При выполнении программы, в конце, второй конвейер будет простаивать 761 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:

$$T1(\text{VSUB } A_j, B_j, C_j) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (128 + 7 - 1) = 1,34 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(\text{VSUB } A_j, B_j, C_j) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (128 + 6 - 1) = 1,33 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(\text{VDIV } D_i, 3, E_i) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (64 + 7 - 1) = 0,7 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(\text{VDIV } D_i, 3, E_i) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (64 + 6 - 1) = 0,69 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(VSUB\ 100, E_i, F_i) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (64+7-1) = 0,7 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(VSUB\ 100, E_i, F_i) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (64+6-1) = 0,69 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(VADD\ C_j, G_j, H_j) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (128+7-1) = 1,34 \cdot 10^{-6}$$

$$T2(VADD\ C_j, G_j, H_j) = 10 \cdot 10^{-9} \cdot (128+6-1) = 1,33 \cdot 10^{-6}$$

Построенная временная диаграмма представлена на рисунке 2.

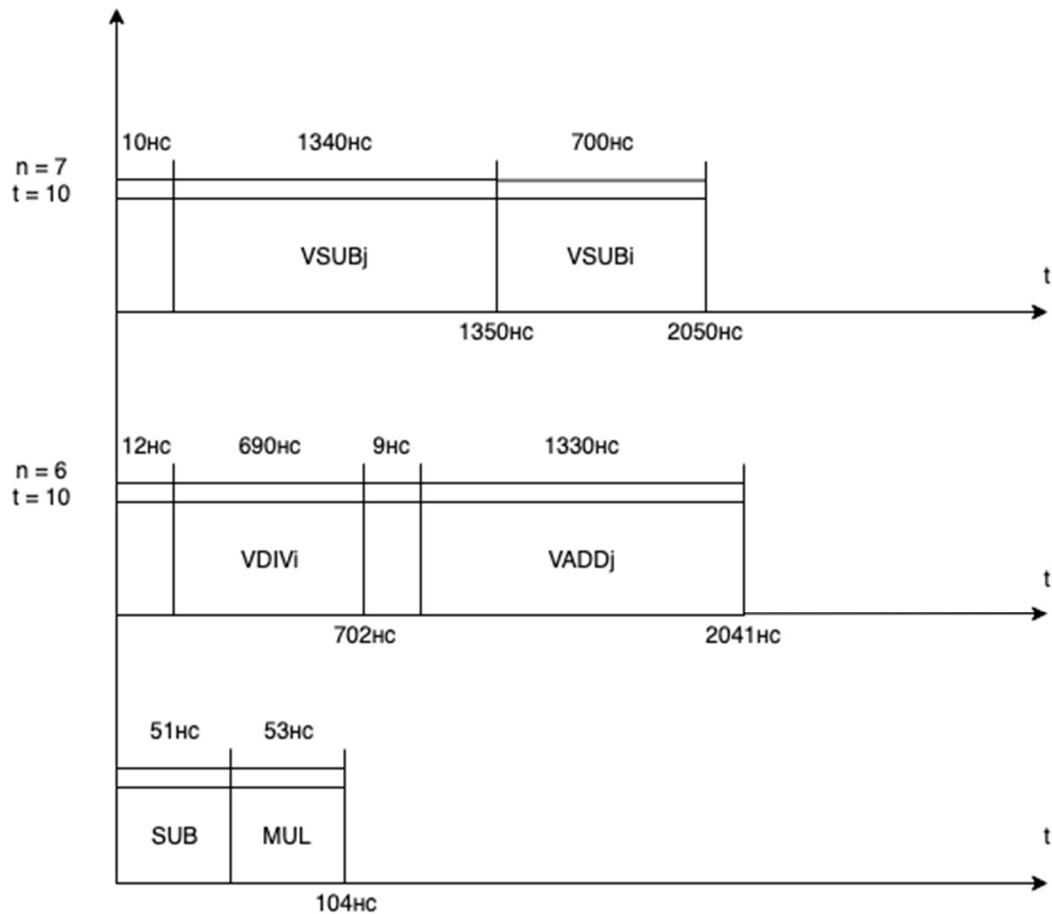


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы ВКС со сцеплением

Время выполнения на ВКС со сцеплением рассчитывается следующим образом:

$$T_{\text{ВКС}} = \max \{2041; 2050; 104\} = 2041 \text{ нс.}$$

Время решения задачи на ВКС со сцеплением оказалось меньше, чем без сцепления. Это обусловлено тем, что данные с одного конвейера могут поступать на другой по мере их появления, что позволяет не дожидаться полного завершения предыдущей команды.