УДК.681.142.001.4

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПРОВЕРКИ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭЦМ

Г.А.Миронов, В.А. Прокудин

(Москва)

С целью проверки соответствия аппаратуры требования технических условий (ТУ) при приемке вновь разрабатываемых ЭЦМ используются различные методы определения их характеристик, в частности, математических параметров ЭЦМ.

Основными параметрами ЭЦМ являются её быстродействие при автоматической работе и емкость запоминающих устройств.

Быстродействие (иногда называемое скоростью) ЭЦМ зависит от времени выполнения различных операций. В связи с этим возникает задача определения и проверки средней длительности выполнения операции.

Для определения времени выполнения арифметических и других операций составляются специальные тестовые программы, в которых многократно производится выполнение операции, время работы которой измеряется.

Примерный алгоритм определения времени выполнения операции сложения для одноадресной ЭЦМ показан ниже.

Данный алгоритм позволяет производить подсчет времени как с помощью обычного секундомера, так и с помощью электронных часов, выстроенных в ЭЦМ, в последнем случае в алгоритме изменяются некоторые участки.

Примерный алгоритм определения времени выпонения операции сложения

Пуск программы и начало отсчета времени

Гашение сумматора арифметического устройства

Засылка содержимого сумматора в ячейку ОЗУ, одведенную для подсчета циклов

Гашение сумматора АУ

Выполнение операции сложения n раз

Гашение сумматора АУ

Посылка I в сумматор АУ

Выполнение сложения с содержимым ячейки, отведенной для подсчета циклов

Засылка результата в ячейку для подсчета циклов

Сравнение содержимого сумматора с заданным

Передача управления к блоку 4 при несовпадении и к блоку I2 при совпадении

Отсчет времени $t_к$

Вычисление времени T

Выдача на печать T

Останов

Определение времени сложения (t_{01}).

Имеет место формула (I), см. рис. I:

$$T_0 = t_{гс} + t_{зо} + 2t_{гс} + knt_{01} + kt_{зо} + kt_{01} + kt_{пс} + kt_{ср} + kt_{пу} \quad ,(I)$$

где:

T_0 – общее время, затраченное на выполнение программы;

$t_{гс}$ – длительность операции гашения сумматора;

$t_{зо}$ – длительность операции засылки содержимого сумматора в ОЗУ;

$t_{пс}$ – длительность операции посылки числа в сумматор АУ;

$t_{ср}$ – длительность операции сравнения;

$t_{пу}$ – длительность операции передачи управления.

Для простоты примем, что $t_{гс} \approx t_{зо} \approx t_{пс} \approx t_{ср} \approx t_{01}$

тогда формула (I) примет вид

$$T_0 = 2t_{01} + k(n+6)t_{01} + kt_{пу}$$
$$T_0 = 2t_{01} + kn'\,t_{01} + kt_{пу} \quad . \qquad (2)$$

Пусть $2t_{01} < kt_{пу} < kn'\,t_{01}$, тогда величиной $2t_{01}$ в соотношении (2) можно пренебречь и оно примет вид (3):

$$T_0 = kn'\,t_{01} + kt_{пу} \quad . \qquad (3)$$

Изменяя число операций сложения (n') в одном цикле, мы получим систему из двух уравнений

$$kn'_1 t_{01} + kt_{пу} = T_{k_1} \qquad (4)$$
$$kn'_2 t_{01} + kt_{пу} = T_{k_2} \quad .$$

Если $n'_1 > n'_2$, то вычитая в системе (4) из первого второе уравнение, получим:

$$kt_{01}(n'_1 - n'_2) = T_{k_1} - T_{k_2} \quad ,$$

откуда (5)

$$t_{01} = \frac{T_{k_1} - T_{k_2}}{k(n'_1 - n'_2)} \quad .$$

Если время T_{k_1} или T_{k_2} измеряется шкалой с наименьшей ценой деления Δt, то задача, заключается в определении величины k, обеспечивающей получение величины t_{01} с заданной допустимой ошибкой Δ доп.

Из теории ошибок измерений известно, что средняя квадратическая ошибка функции m_T может быть определена из соотношения (6)

$$m_T^2 = \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)^2 m_t^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \ldots . \tag{6}$$

где: $\frac{\partial T}{\partial t}$ – частная производная функции T по t ;

m_t – средняя квадратическая ошибка величины t;

$\frac{\partial T}{\partial t}$ – частная производная функции T по x ;

m_x – средняя квадратическая ошибка величины x, и т.д.

Из теории ошибок известно, что предельная ошибка отсчета (Δ пр) равна половине наименьшей цены деления шкалы (Δt), а средняя квадратическая ошибка отсчета связана с предельной ошибкой отсчета соотношением (7)

$$m_{T_k}^2 = 2\,\frac{\Delta_{пр}^2}{3} . \tag{7}$$

В уравнении (7) коэффициент 2 показывает, что произведено два отсчета.

Средняя квадратическая ошибка величины $T_{k_1} - T_{k_2}$ равна

$$m_{T_{k_1} - T_{k_2}}^2 = \frac{4}{3}\Delta_{пр}^2$$

или

$$m_{T_{k_1} - T_{k_2}} = \frac{2}{\sqrt{3}}\Delta_{пр} \tag{8}$$

из формулы (5) следует, что

$$n' t_{01} = \frac{^m T_{k_1} - T_{k_2}}{k(n'_1 - n'_2)} . \qquad (9)$$

Предельную ошибку величины t_{01} определим, используя (7)

$$\Delta_{пр} t_{01} = \frac{\Delta \; T_{k_1} - T_{k_2}}{k(n'_1 - n'_2)} . \qquad (10)$$

С учетом (8) получим

$$\Delta_{пр} t_{01} = \frac{2 \; \Delta_{пр}}{k(n'_1 - n'_2)} = \frac{\Delta t}{k(n'_1 - n'_2)} . \qquad (11)$$

Если величина $\Delta_{пр} t_{01}$ нам задана заранее (если не задана, мы можем её задать = $\Delta_{доп}$), то величина "k" определяется по формуле

$$k = \frac{\Delta t}{\Delta_{доп}(n'_1 - n'_2)} . \qquad (12)$$

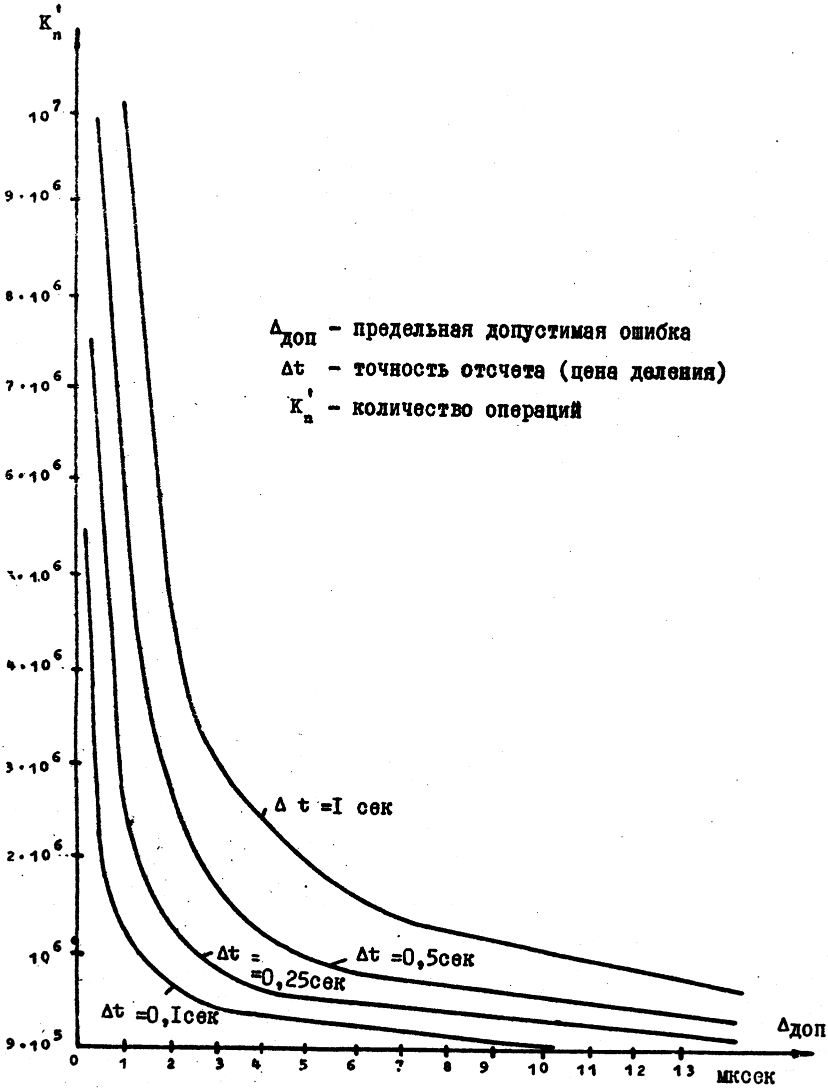
Зависимость величины "k'_n" для различных Δt от $\Delta_{доп}$ показана на рисунке.

Величины n'_1 и n'_2 выбираются в зависимости от емкости ОЗУ (W) ЭЦМ $n'_1 < n'_2 < W$.

Зная ориентировочную величину длительности выполнения операции, определим продолжительность испытания

$$T_{пр.и} \approx k \, (n'_1 - n'_2) \, t_{01} . \qquad (13)$$

Зависимость (I4) дана без учета ввода программы и вывода результатов.



K_n'
10^7
$9\cdot10^6$
$8\cdot10^6$
$7\cdot10^6$
$6\cdot10^6$
$5\cdot10^6$
$4\cdot10^6$
$3\cdot10^6$
$2\cdot10^6$
10^6
$9\cdot10^5$
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
мксек
$\Delta_{доп}$
$\Delta_{доп}$ - предельная допустимая ошибка
Δt - точность отсчета (цена деления)
K_n' - количество операций
Δt =I сек
Δt =0,5сек
Δt = =0,25сек
Δt =0,Iсек

Для ЭЦМ, имеющих другую адресность, время t_{o1} вычисляется по той же системе уравнений (4), что и для одноадресной ЭЦМ. Отличие состоит лишь в алгоритме выполнения самой операции сложения.

В настоящее время широко применяется совмещение работы устройств ЭЦМ во времени таких как ОЗУ, УУ, АУ. Это достигается тем, что оперативное запоминающее устройство разбивается на блоки, к которым можно производить обращение одновременно. Для последовательности команд происходит сокращение времени её выполнения. Однако существуют ситуации, в которых совмещение не происходит, например, при выполнении операций передачи управления и по наличию определенных комбинаций адресов в командах.

Для каждой конкретной ЭЦМ существуют строгие правила, соблюдая которые можно составить программы с различной степенью совмещенности выполнения команд. Применяя такие программы для изложенной методики, можно получить данные, характеризующие время выполнения команд с полным совмещением, без совмещения и с совмещением, характерным для заданного класса задач.

В ЭЦМ с фиксированной запятой время на выполнение операции сложения от величины числа, можно считать, не зависит и всегда постоянно, поэтому можно ограничиться последовательным прибавлением "I" к получаемой сумме при каждом сложении, или же, при наличии датчика случайных чисел, использовать массив из n'_1 и n'_2 случайных чисел.

Для ЭЦМ с плавающей запятой время сложения зависит от порядка чисел, поэтому для определения среднего времени сложения необходимо использовать поток случайных чисел (n'_1 , n'_2), полученный по различным законам распределения, например, равномерному, нормальному, экспоненциальному и др.

Определение времени на выполнение умножения, деления и др. производится таким же порядком, как и для операции сложения, используя ту же систему уравнений (4) или подобную ей с той лишь разницей, что здесь как для ЭЦМ, использующих числа с фиксированной запятой, так и для ЭЦМ с плавающей запятой необходимо произвести замеры времени при выполнении опе-

Таблица

№ пп	Тип ЭВМ	Наименование выполняемой операции	Продолжительность выполнения операций по ТУ (средняя) (мксек)	Продолжительность испытаний		Среднее время выполнения операций (из опыта) мксек	Количество операций перехода затраченных на выполнение программы за период испытаний (+ опер.переход.=24 мк сек).	
				сек	Общее количество операций			
I.	М-20	сложение	28,5	60±I	I 805 647	33,2	36I0	0,08 сек.
2.	М-20	умножение	69,5	I20±I	I 527 000	78,6	3054	0,07 сек.
3.	-"-	деление	I36,5	I80±I	I I60 457	I55,I	2320	0,06 сек.
4.	-"-	извлечение корня	275	I30±I	40I 53I	323,7	802	0,02 сек.
5.	-"-	сравнение	24	90±I	3 557 3I2	25,3	7I2I	0,I7 сек.
6.	БЭСМ-3М	сложение	47	60±I	I 326 797	45,2	2652	0,06 сек.
7.	-"-	умножение	95	I20±I	I I62 4I6	I03.0	2824	0,06 сек.
8.	-"-	деление	I52	I20±I	970 709	I23,0	I840	0,04 сек.
9.	-"-	извлечение корня	300	I20±I	466 420	257,0	932	0,02 сек.
I0.	-"-	сравнение	40	60±I	I 470 30I	40,8	2940	0,07 сек.

раций с потоком чисел,полученным по различным законам распределения.

Точность определения времени выполнения той или иной операции зависит не только от точности шкалы отсчета, но и от длительности интервала времени испытания.

Результаты определения времени выполнения операций на ЭЦМ М-20 и БЭСМ-3М с помощью предложенной методики приведены в таблице. Для получения результатов таблицы использовался массив в 2000 случайных чисел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботарев А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. Геодезиздат, Москва, 1958.
2. Миронов Г.А. Испытательные программы для контроля ЭЦМ. Издательство "Наука", Москва, 1964.