

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

В. Д. Кожухов

Харьков

В настоящее время одной из важнейших научно-технических проблем является проблема эффективного использования вычислительных машин (ЭВМ). Важнейшим показателем эффективности ЭВМ является так называемая цена эффективного быстродействия, критерий которой был предложен в 1958 г. В. М. Глушковым для сравнения эффективности вычислительных машин самых различных типов.

Одним из путей повышения эффективности использования вычислительных машин является создание специализированных вычислительных устройств и систем, предназначенных для решения того или иного класса задач. В частности, весьма широкий класс составляют инженерно-технические задачи. Диапазон этих задач по характеру очень широк: от задач, которые можно решать на логарифмической линейке и арифмометре, до задач, которые в настоящее время решаются на универсальных цифровых вычислительных машинах (ЦВМ). Здесь следует отметить, что использование универсальных ЦВМ становится оправданным лишь при решении достаточно сложных задач, так как в противном случае цена эффективного быстродействия окажется очень высокой.

Созданию такой вычислительной машины, которую с одинаковой ценой эффективного быстродействия можно было бы использовать для решения как простейших, так и довольно сложных инженерных задач, и посвящена данная статья.

Машина будет решать большие задачи, поэтому она должна быть универсальной, с достаточно большой памятью и удобным входным языком. Записанные во входном языке алгоритмы решения задачи вместе с исходными данными заносятся в память машины с пульта вычислителя. Последний снабжается печатным устройством и клавиатурой со всеми символами входного языка. Следует отметить, что при непосредственном вводе информации в память вычислительной машины, машина используется очень неэффективно. Действительно, вычислитель заносит отдельные символы входной информации в среднем со скоростью 1 символ в секунду. Если учесть, что в машине даже небольшой мощности на запись с входного регистра в память машины и на выдачу из памяти машины на выходной регистр требуется время порядка 100 мксек, то станет очевидным, что машина при таком непосредственном вводе информации 99,99% времени простаивает. Это время можно использовать для

решения задач других вычислений. Именно поэтому машина должна иметь несколько пультов вычислителя.

Процесс ввода входной информации вычислителем может продолжаться значительное время, определяемое минутами и десятками минут. Поэтому нет необходимости заносить входную информацию непосредственно в оперативное запоминающее устройство. Можно хранить эту информацию в медленнодействующем буферном запоминающем устройстве и лишь только после полного занесения входной информации переписывать ее в ОЗУ и приступать к решению задачи. При этом машина должна соблюдать некоторую очередность решения задач для различных вычислителей.

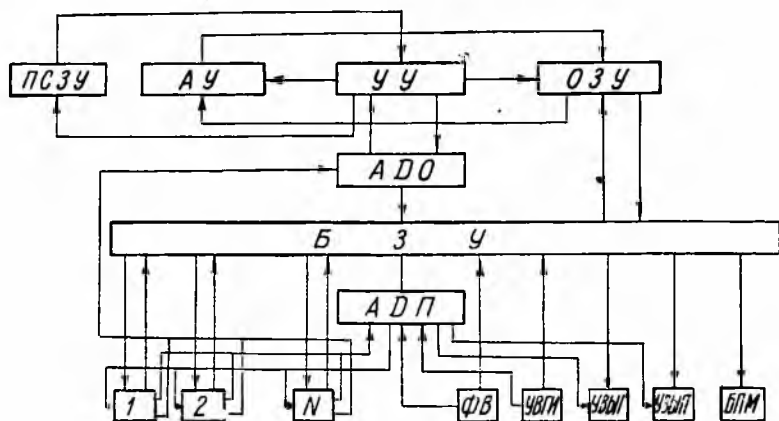


Рис. 1.

Блок-схема такой машины представлена на рис. 1. Здесь ОЗУ — оперативное запоминающее устройство; АУ — арифметическое устройство; УУ — устройство управления; АДП — автоматический диспетчер памяти; АДО — автоматический диспетчер очередности; ПСЗУ — постоянно-сменное запоминающее устройство; БЗУ — буферное запоминающее устройство; 1 пульт, 2 пульт, N-й пульт — соответственно первый, второй и N-й пульта вычислителя; УВГИ — устройство ввода графической информации; УВЫГ — устройство вывода графической информации; УВЫП — устройство вывода информации на перфоленду; ФВ — фотооптическое устройство ввода информации с перфоленды.

Входную информацию заносим с пульта вычислителя или с УВГИ в БЗУ. БЗУ — представляет собой медленнодействующее запоминающее устройство большой емкости. Информация в БЗУ может заноситься массивами двух фиксированных объемов по выбору вычислителя. Если объем заносимой информации будет невелик (просчет небольших примеров, счет по формулам), то вычислитель перед началом занесения дает машине заявку на небольшой массив памяти. Если же будет заноситься большой объем информации, необходимый для решения крупных задач, вычислитель дает заявку на большой массив.

После получения заявки с пульта вычислителя машина закрепляет за этим пультом некоторый объем памяти БЗУ. Затем вычислитель начинает символ за символом ввод входной информации. Для учета, распределения и загрузки буферной памяти машина имеет автоматический ди

петчер буферной памяти, который считает символы, заносимые с каждого пульта вычислителя и при переполнении отдельного вычислительного массива выделяет ему дополнительный массив памяти.

После полного занесения входной информации вычислитель заносит символ «счет», который означает, что задача введена, и машина может приступить к её решению.

За очередностью решения задач следит автоматический диспетчер очередности. Если к моменту ввода с k -го пульта символа «счет» вычислительная машина не решает никакой задачи, то она приступает к решению задачи k -го пульта, если машина занята решением задачи для другого пульта, то задача k -го пульта становится на очередь.

Для решения задачи k -го пульта вычислительная машина переписывает его входную информацию из БЗУ в ОЗУ и производит необходимые вычисления. По окончании счета результаты вычислений снова переписываются из ОЗУ в БЗУ для последующего вывода результатов либо в числовой форме на пульт вычислителя, либо в виде чертежей и графиков на УВЫГ.

Для того, чтобы определить, сколько пультов вычислителя можно подключить к машине, следует общее время $T_{\text{вкл}}$, в течение которого машина включена для выполнения вычислительных работ (без времени профилактики), взятое за некоторый достаточно большой промежуток времени, разделить на время $T_{\text{пульт}}$, потраченное машиной за тот же период времени на обслуживание одного пульта, включая и время перезаписи из БЗУ в ОЗУ и обратно. Обозначив через N количество пультов вычислителя, получим

$$N = \frac{T_{\text{вкл}}}{T_{\text{пульт}}}.$$

В свою очередь, $T_{\text{вкл}}$ состоит из времени ввода информации $T_{\text{с}}$, времени счета задачи $T_{\text{о}}$, времени перезаписи $T_{\text{пер}}$, времени вывода результатов счета $T_{\text{в}}$ и времени простоя машины $T_{\text{пр}}$ во время обдумывания вычислителем результатов вычислений.

$$T_{\text{вкл}} = T_{\text{с}} + T_{\text{о}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{в}} + T_{\text{пр}}.$$

$T_{\text{пульт}}$ пульта состоит из времени счета задачи и времени перезаписи

$$T_{\text{пульт}} = T_{\text{о}} + T_{\text{пер}}.$$

С другой стороны,

$$T_{\text{с}} = \tau_{\text{с}} K_{\text{с}},$$

где $\tau_{\text{с}}$ — время занесения одного символа;

$K_{\text{с}}$ — количество символов, занесенных за время T .

$$T_{\text{о}} = \frac{K_{\text{о}}}{n},$$

где n — номинальное быстродействие вычислительной машины;

$K_{\text{о}}$ — количество операций, произведенных за время T .

$$T_{\text{пер}} = \tau_{\text{п}} K_{\text{п}},$$

где $\tau_{\text{п}}$ — среднее время перезаписи массива из БЗУ в ОЗУ при вводе информации и из ОЗУ в БЗУ при выводе;

$K_{\text{п}}$ — общее число перезаписей из БЗУ в ОЗУ и обратно за время T .

$$T_{\text{в}} = \tau_{\text{в}} K_{\text{в}},$$

где $\tau_{\text{в}}$ — время вывода одного символа;

$K_{\text{в}}$ — количество символов, выведенных за время T ,

тогда

$$N = \frac{\tau_c K_c \rightarrow \frac{K_o}{n} \rightarrow \tau_n K_n \rightarrow \tau_b K_b \rightarrow T_{пр}}{\frac{K_o}{n} \rightarrow \tau_n K_n}$$

или

$$N = \frac{n(\tau_c K_c \rightarrow \tau_b K_b \rightarrow T_{пр})}{K_o \rightarrow n \tau_n K_n} + 1.$$

Узнаем теперь количество пультов вычислителей машины с номинальным быстродействием от 50 до 100 тыс. операций в секунду для задач, которые имеют

1. $K_c = 20$ $K_b = 2$ $K_o = 20$
2. $K_c = 200$ $K_b = 10$ $K_o = 1000$
3. $K_c = 1200$ $K_b = 100$ $K_o = 1 \cdot 10^4$.

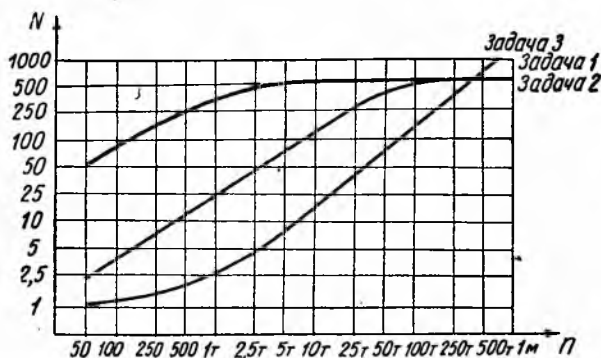


Рис. 2.

Для определенности примем $\tau_c = 1$ сек, $\tau_b = 0,05$ сек, $T_{пр} 15\% T_{вк}$, $\tau_n = 0,02$, $K_n = 2$ (для одной задачи).

Результаты вычислений сведены в табл. 1 и показаны на рис. 2.

Таблица 1

n	50	100	250	500	1 тыс.	2,5 тыс.	5 тыс.	10 тыс.	25 тыс.	50 тыс.	100 тыс.
N_1	54	98	193	293	389	487	531	557	573	578	581
N_2	2,3	3,5	7	12	24	54	98	167	292	389	466
N_3	1,23	1,3	1,5	1,85	2,55	4,6	8	15	36	71	140

Из рис. 2 видно, что для каждой задачи количество пультов с увеличением быстродействия вычислительной машины возрастает до некоторого значения; при дальнейшем увеличении быстродействия — остается постоянным. Это объясняется тем, что с увеличением быстродействия машины время решения задач становится меньше времени перезаписи из буферной памяти в оперативную.

Определить основные параметры вычислительной машины нельзя без предварительного анализа тех задач, которые на ней будут решаться.

Такой анализ произведен по задачам, которые решались инженерами конструкторских бюро ряда заводов г. Харькова, таких как Турбинный завод им. С. М. Кирова, Тракторный им. С. Орджоникидзе, завод «Серп и молот» и др., а также по задачам, решавшимся в Вычислительном центре Харьковского института радиоэлектроники и вычислительном центре МГУ.

Все эти задачи можно разбить на два класса:

1. Класс задач, для записи алгоритмов которых достаточно арифметических, некоторых алгебраических и тригонометрических операций, у которых, в свою очередь, компоненты — простые числа.

2. Класс задач, для записи алгоритмов которых необходим некоторый универсальный алгоритмический язык.

Всего было рассмотрено 856 задач, из которых 706 относится к задачам первого класса, а 150 — второго.

Цель произведенного анализа — отыскание характеристик средней задачи класса, нахождение законов распределения этих характеристик и определение состава встречающихся операций. Под средней

задачей класса понимается следующее: каждую задачу можно охарактеризовать тремя величинами: K_c — количество символов входной информации (алгоритм и исходные данные), K_o — количество операций, подлежащих выполнению, K_v — количество чисел — результатов вычислений. Так как величины K_o , K_c и K_v являются случайными, то средней задачей класса естественно считать задачу, у которой $K_c = m(K_c)$, $K_o = m(K_o)$, $K_v = m(K_v)$, где m — символ математического ожидания.

Наглядное представление о разделении задач на классы дано на рис. 3. Здесь по оси абсцисс откладывается количество операций каждой конкретной задачи, а по оси ординат — суммарное количество входных и выходных символов. В этом случае каждая задача изображается точкой в первом квадрате.

Резкой границы между задачами первого и второго класса нет, но условно можно считать, что к задачам первого класса относятся те, которые лежат внутри прямоугольника, ограниченного прямыми

$$\begin{aligned} x &= 0; & x &= 1000; \\ y &= 0; & y &= 200. \end{aligned}$$

К задачам второго класса относятся те, которые лежат вне этого прямоугольника.

В реальных условиях часто приходится решать одновременно задачи и первого, и второго классов. Точно определить, сколько времени вычислительная машина будет решать задачи первого класса и сколько вто-

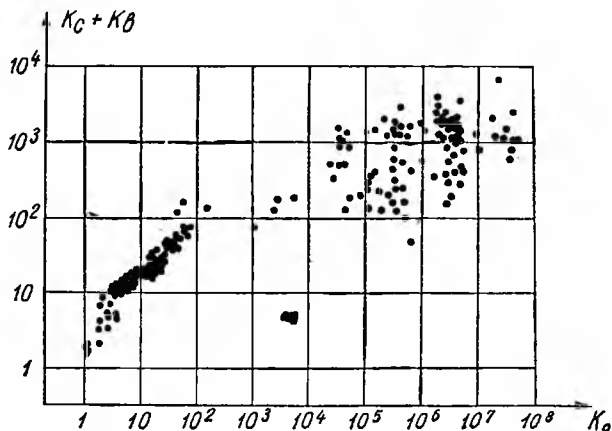


Рис. 3.

% II кл. n	%	0,001%	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1
50	86	12	6	3,6	2,3	1,5	1,3	1,14	1,06	1,03	1,02
100	139	23	11	6,1	3,6	2,1	1,54	1,28	1,12	1,07	1,04
250	225	52	25	14	7,5	3,7	2,35	1,7	1,3	1,16	1,1
500	283	91	46	25	14	6,3	3,7	2,4	1,6	1,33	1,21
1 т	325	147	81	47	26	11,4	6,3	3,8	2,2	1,66	1,41
2,5 т	357	233	153	98	57	26	14	7,8	4	2,64	2,03
5 т	669	289	219	156	99	48	26	14	6,9	4,3	3,07
10 т	375	329	278	221	157	80	49	27	12,6	7,6	5,12
25 т	379	359	333	296	243	159	102	60	29	17	11,2
50 т	380	370	356	334	297	225	161	104	53	32	21

Таблица 3

2 класс — 0%
1 класс — 100,000%

n	50	100	250	500	1 тыс.	2,5 тыс.	5 тыс.	10 тыс.	25 тыс.	50 тыс.
$\frac{\Delta Z(T)}{Z^{(1)}(T)}$										
0,01	0,01	0,0063	0,0039	0,0031	0,0027	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0023
0,025	0,01	0,0064	0,004	0,0032	0,0027	0,0025	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
0,05	0,011	0,0066	0,004	0,0032	0,0028	0,0026	0,0025	0,0024	0,0024*	0,0024
0,1	0,011	0,0069	0,0043	0,0034	0,0029	0,0027	0,0026	0,0026	0,0025	0,0025
0,25	0,013	0,0078	0,0048	0,0038	0,0034	0,0031	0,003	0,0029	0,0029	0,0029
0,5	0,015	0,0094	0,0058	0,0046	0,004	0,0037	0,0035	0,0035	0,0034	0,0034
1	0,02	0,012	0,0077	0,0062	0,0054	0,0049	0,0047	0,0046	0,0046	0,0046
2,5	0,035	0,022	0,014	0,011	0,0094	0,0085	0,0083	0,0081	0,008	0,008
5	0,061	0,038	0,023	0,018	0,0161	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014
10	0,11	0,069	0,042	0,034	0,029	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025

Таблица 4

n	$\frac{\Delta Z(T)}{Z^{(1)}(T)}$									
	50	100	250	500	1 тыс.	2,5 тыс.	5 тыс.	10 тыс.	25 тыс.	50 тыс.
0,01	0,244	0,14	0,063	0,035	0,019	0,009	0,0056	0,004	0,003	0,0026
0,025	0,25	0,15	0,064	0,036	0,019	0,0091	0,0057	0,004	0,003	0,0027
0,05	0,25	0,15	0,065	0,037	0,019	0,0093	0,0059	0,0041	0,0031	0,0027
0,1	0,27	0,16	0,068	0,038	0,02	0,0098	0,0061	0,0043	0,0032	0,0029
0,25	0,30	0,18	0,078	0,044	0,023	0,011	0,007	0,0049	0,0037	0,0033
0,5	0,36	0,21	0,093	0,052	0,028	0,013	0,0084	0,0059	0,0044	0,0039
1	0,48	0,29	0,12	0,07	0,037	0,018	0,011	0,0079	0,0059	0,0052
2,5	0,85	0,5	0,22	0,12	0,065	0,031	0,02	0,014	0,01	0,0091
5	1,45	0,86	0,37	0,21	0,11	0,053	0,033	0,024	0,018	0,016
10	2,66	1,57	0,68	0,38	0,2	0,098	0,061	0,043	0,032	0,028

2 класс — 0,005%
1 класс — 99,995%

2 класс — 1%
1 класс — 99%

Таблица 5

n $\frac{\Delta Z(T)}{Z^{(1)}(T)}$	50	100	250	500	1 тыс.	2,5 тыс.	5 тыс.	10 тыс.	25 тыс.	50 тыс.
0,01	0,86	0,84	0,80	0,73	0,62	0,43	0,29	0,17	0,078	0,041
0,025	0,87	0,86	0,81	0,74	0,63	0,44	0,29	0,17	0,08	0,042
0,05	0,9	0,88	0,83	0,75	0,65	0,45	0,30	0,18	0,08	0,044
0,1	0,94	0,92	0,87	0,79	0,68	0,47	0,31	0,19	0,085	0,046
0,25	1,066	1,046	0,99	0,9	0,77	0,54	0,35	0,21	0,1	0,052
0,5	1,28	1,25	1,19	1,079	0,93	0,64	0,43	0,25	0,12	0,062
1	1,71	1,67	1,58	1,44	1,23	0,86	0,57	0,34	0,16	0,083
2,5	2,99	2,93	2,77	2,52	2,16	1,5	0,99	0,59	0,27	0,15
5	5,12	5,019	4,75	4,3	3,7	2,57	1,7	1,02	0,47	0,25
10	9,38	9,2	8,7	7,91	6,79	4,71	3,11	1,87	0,85	0,46

тогда

$$n_3^{(N)} = \frac{NP^{(1)}(T)}{T} = Nn_3'.$$

Рассмотрим теперь отношение цены эффективного быстрогодействия для машины с N пультами вычислителя к цене эффективного быстрогодействия для машины с одним пультом вычислителя.

$$\begin{aligned} \frac{g^{(N)}}{g^{(1)}} &= \frac{Z^{(N)}(T) T n_3^{(1)}}{T n_3^{(N)} Z^{(1)}(T)} = \\ &= \frac{Z^{(N)}(T) n_3^{(1)}}{Z^{(1)}(T) n_3^{(N)}}. \end{aligned}$$

Пусть

$$Z^{(N)}(T) = Z^{(1)}(T) + \Delta Z(T),$$

тогда

$$\frac{g^{(N)}}{g^{(1)}} = \frac{1}{N} \left(1 + \frac{\Delta Z(T)}{Z^{(1)}(T)} \right).$$

В таблицах 3 ÷ 5 и на рисунках 5 ÷ 7 дана зависимость отношения $\frac{g^{(N)}}{g^{(1)}}$ для машин с различным номинальным быстродействием и для различных типов задач в зависимости от величины от-

ношения $\frac{\Delta Z(T)}{Z^{(1)}(T)}$. Из рисунков

и таблиц видно, что подключение к одной вычислительной машине нескольких пультов вычислителя в несколько раз снижает цену эффективного быстрогодействия за исключением тех случаев, когда затраты на изготовление, амортизацию и эксплуатацию дополнительного оборудования намного превышает аналогичные затраты на саму вычислительную машину.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Глушков. Два универсальных критерия эффективности вычислительных машин. ДАН УССР, 1960, № 4.
2. В. М. Глушков, В. Л. Ющенко. Вычислительная машина «Киев», математическое описание. Гостехиздат, Киев, 1962.

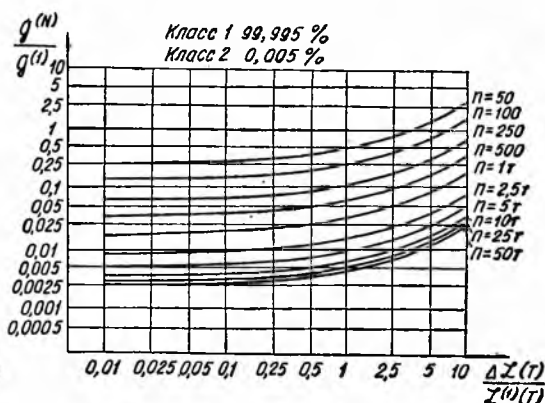


Рис. 6.

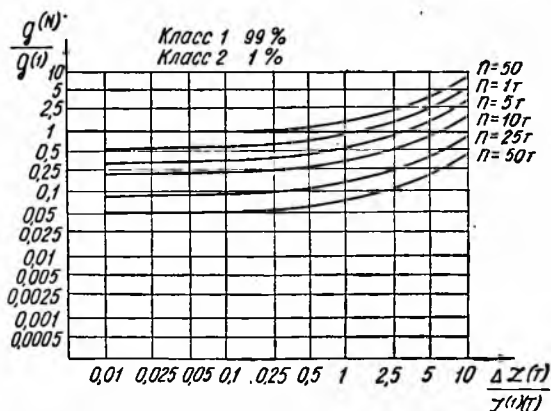


Рис. 7.