

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

*В. Д. Кожухов*

Харьков

Высокие темпы развития современной науки и техники выдвигают задачи, решение которых невозможно без применения средств вычислительной техники. Большое разнообразие математических задач, различающихся по степени сложности решения на машине, объему вычислений, требует создания вычислительных машин различных классов — как вычислительных машин и систем, предназначенных для выполнения крупных инженерно-технических расчетов, так и машин малой и средней мощности, используемых для решения научно-технических задач средней трудности. Кроме того, значительную часть практических (в частности, инженерных) расчетов составляют задачи, которые решаются без применения операций условного или безусловного перехода. Такими задачами могут быть нециклический счет по формулам, просчет отдельных примеров, а также выполнение отдельных операций. Поэтому для решения различных задач инженер, вынужден пользоваться несколькими вычислительными машинами, что не всегда возможно в реальных условиях и создает ряд неудобств.

В последнее время созданы малые вычислительные машины специально для инженерных расчетов — «Мир», «Наири» и др. Они позволяют решать большинство задач, встречающихся в инженерной практике, имеют гибкие входные языки и удобные устройства ввода—вывода. Однако каждая вычислительная машина рассчитана на работу только с одним оператором. Входная информация вводится в эти машины непосредственно с пульта, что вызывает значительные простои оборудования.

Попытаемся распространить принципы построения крупных вычислительных систем с полным распределением времени на вычислительные машины для инженерных расчетов, чтобы создать вычислительную машину, которая имеет систему выносных пультов, позволяющих каждому оператору пользоваться машиной в любое время. Такой подход даст возможность при невысокой стоимости выносимого пульта и условии полной загрузки вычислительной машины добиться того, что с каждого пульта можно будет решать не только сложные, но и мелкие задачи. В настоящей статье делается попытка ответить на вопрос, будет ли подобная система экономически более эффективной, чем существующие вычислительные машины.

Важнейшим показателем эффективности цифровых вычислительных машин является так называемая цена эффективного бысродействия. Критерий цены эффективного бысродействия был сформулиро-

ван в 1958 г. акад. В. М. Глушковым<sup>1</sup> для сравнения вычислительных машин различных типов.

В основу критерия положены две идеи. Первая из них заключается в экономическом подходе к оценке производительности машины: вычислительная машина, обладающая большим быстродействием, может оказаться экономически менее выгодной в силу более высокой стоимости, а также ввиду больших эксплуатационных расходов. В данном случае эффективность вычислительной машины определяется не быстродействием, а ценой быстродействия.

Вторая идея, положенная в основу критерия, заключается в том, что скорость выполнения машиной тех или иных операций еще не определяет быстродействия машины даже для автоматических вычислительных машин с программным управлением. Существенное влияние на скорость решения задач оказывают такие параметры машины, как объем запоминающего устройства, скорость обмена с внешней памятью, скорость ввода и вывода. Наконец, нельзя забывать, что реальное быстродействие машины резко снижается при малой ее надежности, поскольку при этом приходится затрачивать много времени не только на устранение неисправностей в машине, но и на многократные контрольные просчеты, дублирование вариантов и т. п.

Говоря о цене быстродействия, надо иметь в виду не обычное номинальное быстродействие, т. е. указываемую в характеристике машины скорость выполнения основных арифметических операций, а эффективное быстродействие, учитывающее снижение скорости благодаря операциям с внешними устройствами, дублирование расчетов для получения достаточной надежности результатов и другие факторы.

По В. М. Глушкову эффективное быстродействие

$$n_э = \frac{P(T)}{T},$$

где  $P(T)$  — объем работы, которую машина выполняет за достаточно большой промежуток времени  $T$  с учетом потерь времени на профилактику машины, дублирование расчетов, операции внешних устройств и т. п.

Цена эффективного быстродействия подсчитывается по формуле

$$q = \frac{Z(T)}{Z n_э},$$

где  $Z(T)$  — суммарные затраты на изготовление, амортизацию и эксплуатацию машины за время  $T$ .

Рассмотрим, при каких условиях выгоднее применять ЦВМ с  $N$  пультами вычислителей, используя ее для счета простейших формульных задач, не требующих применения операций условного или безусловного перехода, и сложных задач с циклическими и разветвляющимися алгоритмами, а при каких условиях — традиционную ЦВМ с одним пультом вычислителя для решения сложных задач и  $N$  настольных клавишных вычислительных машин для решения формульных задач.

Для этого рассмотрим отношение цен эффективного быстродействия вычислительной машины, имеющей  $N$  пультов вычислителей, и абстрактной машины, которая состоит из универсальной ЦВМ с одним пультом вычислителя и  $N$  настольных клавишных вычислительных машин. Обозначим через  $Z_N(T)$  суммарные затраты на изготовление и эксплуа-

<sup>1</sup> В. М. Глушков. Два универсальных критерия эффективности вычислительных машин. «Докл. АН УССР», № 4, 1960.

тацию вычислительной машины с несколькими пультами вычислителей, через  $P_N(T)$  — объем работ, выполняемых этой машиной за время  $T$ , а через  $q_N$  — ее цену эффективного быстрогодействия. Аналогично обозначим через  $Z_a(T)$ ,  $P_a(T)$ ,  $q_a$  суммарные затраты, объем выполняемых работ и цену эффективного быстрогодействия абстрактной машины. Тогда

$$\frac{q_N}{q_a} = \frac{Z_N(T) \cdot P_a(T)}{Z_a(T) \cdot P_N(T)}.$$

Если универсальная вычислительная машина не снабжена системой полного распределения времени, то потери машинного времени по крайней мере в момент отладки программ неизбежны. Чтобы определить возможную на практике величину потерь, автором был проведен следующий эксперимент. В двух вычислительных центрах г. Харькова, которые по данным областного статистического управления являются типичными, — в ВЦ Харьковского института радиоэлектроники («Урал-2») и ВЦ института «Гипросталь» («Минск-2») — к вычислительной машине подключались электромеханические часы, которые отсчитывали время только тогда, когда машина выполняла операции, т. е. часы фиксировали так называемое чистое машинное время.

Результаты эксперимента приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

| ЦВМ      | Дата  | Время включения | Время профилактики | Время счета |
|----------|-------|-----------------|--------------------|-------------|
| «Урал-2» | 19.IV | 14 ч            | 2 ч                | 5 ч 27 мин  |
|          | 20.IV | 20 ч 30 мин     | 2 ч                | 7 ч 43 мин  |
|          | 21.IV | 20 ч 40 мин     | 3 ч 30 мин         | 10 ч 31 мин |
|          | 22.IV | 6 ч             | —                  | 12 мин      |
|          | 24.IV | 16 ч            | 5 ч                | 4 ч 8 мин   |
|          | 25.IV | 24 ч            | 30 мин             | 6 ч 23 мин  |
|          | 26.IV | 22 ч            | 4 ч                | 6 ч 5 мин   |
|          | 27.IV | 18 ч 10 мин     | 5 ч                | 8 ч 17 мин  |
|          | 28.IV | 15 ч 15 мин     | 3 ч                | 5 ч 32 мин  |
| Всего    |       | 156 ч 35 мин    | 25 ч               | 54 ч 18 мин |

Таблица 2

| ЦВМ       | Дата | Время включения | Время профилактики | Время счета |
|-----------|------|-----------------|--------------------|-------------|
| «Минск-2» | 11.V | 13 ч            | 1 ч 23 мин         | 3 ч 31 мин  |
|           | 12.V | 13 ч 30 мин     | 1 ч 18 мин         | 4 ч 45 мин  |
|           | 13.V | 7 ч 30 мин      | 0 ч 58 мин         | 4 ч 26 мин  |
|           | 15.V | 13 ч            | 1 ч 25 мин         | 9 ч 35 мин  |
|           | 16.V | 12 ч 40 мин     | 1 ч                | 3 ч 41 мин  |
|           | 17.V | 13 ч 40 мин     | 1 ч 15 мин         | 5 ч 16 мин  |
|           | 18.V | 6 ч             | 28 мин             | 2 ч 11 мин  |
|           | 19.V | 9 ч 55 мин      | 45 мин             | 4 ч 51 мин  |
|           | 20.V | 3 ч 50 мин      | 10 мин             | 47 мин      |
|           | 22.V | 9 ч 50 мин      | 1 ч 2 мин          | 2 ч 19 мин  |
| Всего     |      | 102 ч 55 мин    | 9 ч 44 мин         | 41 ч 22 мин |

Из таблиц видно, что средняя величина «чистого» машинного времени составляет 48% времени, которое дается программисту. Обозначим отношение «чистого» времени к времени программиста через  $\eta$ . Примем  $\eta = 0,48$ . Допустим, что у рассмотренной выше абстрактной вычислительной машины универсальная ЦВМ имеет такое же отношение «чистого» машинного времени ко времени программиста, как и в эксперименте. Тогда объем работ, выполняемых на абстрактной вычислительной машине

$$P_a(T) = P_2(T) + P_1(T) = \eta P'_N(T) + P_1(T),$$

где  $P_2(T)$  — объем работ, выполняемых универсальной ЦВМ абстрактной вычислительной машины;

$P_1(T)$  — объем работ, выполняемых настольными клавишными вычислительными машинами;

$P'_N(T)$  — объем работ, выполняемых вычислительной машиной с несколькими пультами и с полным распределением машинного времени, по решению сложных задач с циклическими и разветвляющимися алгоритмами.

Аналогично

$$P_N(T) = P'_N(T) + P_1(T).$$

Кроме того,

$$\frac{P_1(T)}{P_2(T)} = \frac{K_{31}(T) \cdot K_{01}}{K_{32}(T) \cdot K_{02}},$$

где  $K_{31}(T)$  — количество формульных задач, решаемых абстрактной вычислительной машиной за время  $T$ ;

$K_{01}(T)$  — математическое ожидание количества операций, которые необходимо выполнить для решения формульной задачи;

$K_{32}(T)$  — количество задач, решаемых ЦВМ абстрактной вычислительной машины за время  $T$ ;

$K_{02}(T)$  — математическое ожидание количества операций, которые необходимо выполнить для решения одной задачи, решаемой ЦВМ абстрактной вычислительной машины.

Обозначим

$$\frac{K_{31}(T)}{K_{32}(T)} = \xi, \quad \frac{K_{01}}{K_{02}} = \delta.$$

Тогда

$$P_1(T) = \xi \delta \eta P'_N(T),$$

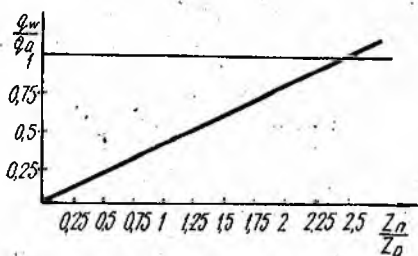
а

$$\frac{q_N}{q_a} = \frac{Z_N(T)}{Z_a(T)} \cdot \frac{\eta + \xi \delta \eta}{1 + \xi \delta \eta}.$$

Величины  $\xi$  и  $\delta$  определялись на основании выполненного автором статистического анализа инженерных задач, решавшихся в вычислительных центрах и конструкторских бюро ряда предприятий г. Харькова. Всего было рассмотрено 856 задач. Задачи распределялись на два класса: к первому отнесены несложные формульные задачи, для записи алгоритмов которых не требуется операций условного и безусловного перехода или циклирования, ко второму — задачи, для записи алгоритмов которых необходимы эти операции. Исследовались такие характеристики задач, как количество символов входной информации  $K_c$ ,

количество операций  $K_0$ , которые необходимо выполнить для решения данной задачи, а также количество чисел — результатов вычислений  $K_b$ .

Накопленный статистический материал позволил составить вариационные ряды распределения случайных величин  $K_c$ ,  $K_0$  и  $K_b$  для каждого класса задач. Найдены математические ожидания и дисперсии указанных величин, произведена оценка надежности полученных результатов. Кроме того, определено соотношение между задачами первого и второго классов, решавшихся в отделе главного конструктора Харьковского турбинного завода. По результатам анализа  $\xi = 10\,000$ ,  $\delta = 2,67 \cdot 10^{-6}$ .



Полученное выше соотношение  $\frac{q_N}{q_a}$  при указанных значениях  $\xi$  и  $\eta$  представляет собой уравнение прямой, положение которой относительно осей координат показано на рисунке. Приведена также прямая  $\frac{q_N}{q_a} = 1$ , которая делит плоскость чертежа на две части. Снизу от этой прямой находится область, в которой  $q_a > q_N$ , т. е. цена эффективного быстрогодействия вычислительной машины, имеющей  $N$  пультов вычислителей, меньше цены эффективного быстрогодействия абстрактной машины, состоящей из универсальной ЦВМ и  $N$  настольных клавишных вычислительных машин. Из рисунка видно, что вычислительная машина с несколькими пультами вычислителей имеет более низкую цену эффективного быстрогодействия, если суммарные затраты на ее изготовление, амортизацию и эксплуатацию не более чем в 2,5 раза превышают аналогичные затраты для абстрактной машины.