

ВОПРОСЫ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А.Г. Васильев
(Москва)

Тенденции развития вычислительной техники и многочисленные исследования путей повышения производительности ее средств показывают, что одиночные электронные цифровые вычислительные машины (ЭЦВМ) скоро достигнут своего предела по производительности. Он определяется скоростью распространения сигналов в физических системах (скоростью света в вакууме). Учитывая тенденцию к уменьшению габаритов ЭЦВМ, можно показать, что этот предел находится в районе величины 10^8 – 10^9 операций в секунду [1]. В то же время можно показать, что производительность коллективов ЭЦВМ, объединенных для решения одной задачи, практически не имеет ограничений. Такие коллективы уже имеются в СССР и за рубежом (Минск-222, СДС-6600, СДС-6800, Solomon и др.) [2,3].

Как показано в работе Евреинова Э.В. и Косарева Ю.Г. [1] повышение производительности вычислительных средств путем построения однородных вычислительных систем (ВС) является наиболее целесообразным и экономичным методом повышения мощности парка ЭЦВМ страны. Однако объединение в ВС большого количест-

ва ЭЦВМ вызовет появление у них новых функций, связанных с упорядочением их работы, распределением между ними частей одной задачи (или нескольких задач), контролем за состоянием составляющих ЭЦВМ и т.д. На выполнение этих дополнительных функций будет расходоваться часть полезного времени работы вычислительных средств ВС. Чем больше ЭЦВМ будет объединено в ВС, тем больше будут эти потери.

При самом приближенном рассмотрении можно сказать, что при однородной структуре ВС, когда все составляющие ЭЦВМ равноправны, беспредельное увеличение количества ЭЦВМ в ВС не даст беспредельного увеличения суммарной производительности из-за роста неупорядоченности системы и увеличения потерь времени на ликвидацию такой неупорядоченности, то есть снижения эффективной производительности ВС. В свою очередь снижение производительности ВС может привести к тому, что стоимость вычислений на ней будет высокой и применение ее для решения задач не даст ожидаемого экономического эффекта.

Оценить реальную суммарную производительность ВС и себестоимость ее одной средней операции можно с помощью двух универсальных, взаимосвязанных между собой, критериев:

- суммарной производительности ВС,
- себестоимости одной средней операции ВС.

Определение этих двух критериев для ВС производится аналогично двум универсальным критериям, выведенным Глушковым В.М. для одиночных ЭЦВМ [4],

$$P_{\Sigma} = K_1 n \sum_{i=1}^m \frac{1}{a_i \cdot \tau_i}, \quad (I)$$

где τ_i - время выполнения i -ой операции на ЭЦВМ;

a_i - вес i -ой операции в общем количестве операций

для задач данного класса, $\sum_{i=1}^m a_i = 1$;

n - количество ЭЦВМ в ВС;

m - количество операций в языке составляющих ЭЦВМ;

K_1 - коэффициент, учитывающий ту часть времени работы ВС, которая расходуется на ликвидацию неупорядоченности ВС, то есть на выполнение специфичных для ВС функций, но не учитывающий влияние таких этапов в

работе ВС как отладка задач, преобразование задач на язык ЭЦВМ и ВС, а также обмен с неоперативными накопителями, если последний не может быть совмещен с этапом решения задач $K_1 < 1$.

$$C_{BC} = \frac{C_{EB}}{P_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где C_{BC} - себестоимость одной средней операции ВС, руб/опер;
 C_{EB} - стоимость эксплуатации ВС в течение единицы времени, с учетом всех затрат на ВС, руб/ед. времени;
 P_{Σ} - суммарная производительность ВС за ту же единицу времени, опер/ед. времени.

Необходимым условием экономической эффективности применения ВС для решения задач данного класса является более низкая стоимость одной операции на ВС, чем на одиночной ЭЦВМ, в случае возможности решения этих задач как на одиночных ЭЦВМ, так и на ВС, иначе эффективность применения ВС для решения данного класса задач определяется тем экономическим эффектом, который появляется при появлении принципиальной возможности их решения средствами вычислительной техники.

Основным параметром в формуле (1), выражающим влияние неупорядоченности в структуре ВС, является K_1 . Он определяется следующим образом:

$$K_1 = \frac{n \cdot T_1 - \left[\sum_{i=1}^n (T_{синi} + T_{ожi} + T_{обмi} + \dots + T_i) \right]}{nT_1}, \quad (3)$$

где T_1 - интервал, равный единице времени;
 $T_{синi}$ - потери времени на синхронизацию алгоритма в i -ой ЭЦВМ, ед. времени;
 $T_{ожi}$ - потери времени i -ой ЭЦВМ на ожидание разрешения обмена данными с другими ЭЦВМ, ед. времени;
 $T_{обмi}$ - потери времени в i -ой ЭЦВМ на обмен данными с другими ЭЦВМ, ед. времени;
 T_i - другие потери времени в i -ой ЭЦВМ.

Среди потерь времени, входящих в формулу (3), имеются такие потери, которые могут рассматриваться как простой вычислительных средств ЭЦВМ. В той ВС, в которой ЭЦВМ в течение этих интервалов времени (полностью или частично) будет выполнять полезную работу, величина K_1 увеличится и, следовательно, увеличится производительность ВС. К потерям относятся интервалы

времени в работе каждой ЭЦВМ, расходуемые на 1) управляющую часть программы, 2) ожидание начала обмена, 3) синхронизацию алгоритма, 4) работу ЭЦВМ с момента появления сбоя или отказа до его обнаружения, 5) ликвидацию последствий сбоя (отказа) и т.д. Особенно сильно возрастают эти потери при синхронной пошаговой работе ВС с обменом данными между составляющими ЭЦВМ в каждом шаге.

В однородных ВС все простои почти равномерно распределены между составляющими ЭЦВМ. Если для такой ВС сумма простоев всех ЭЦВМ в единицу времени будет равна или больше этой единицы времени, то это показывает, что общие потери производительности за счет простоев равны производительности одной ЭЦВМ.

$$P_{\text{пр}} = P_{\Sigma} \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{п}i}}{nT_{\text{ев}}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{пр}}$ - потери производительности ВС за счет суммарных потерь времени, опер/ед. времени;

$T_{\text{п}i}$ - потери времени в i -ой ЭЦВМ;

$T_{\text{ев}}$ - единица времени.

Количество n ЭЦВМ в однородной ВС, при котором выполняется равенство

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{эцвм}},$$

будем считать оптимальным для этой ВС. Тогда дальнейшее увеличение количества ЭЦВМ в ВС может привести к тому, что потери производительности из-за простоев будут эквивалентны и даже больше полного простаивания одной из составляющих ЭЦВМ. На рис. I приведены зависимости количества ЭЦВМ, эквивалентных по производительности суммарным простоям оборудования ВС, построенной на основе специализированных 2,5 - адресных ЭЦВМ с производительностью в 30-40 тысяч операций в секунду. Эти зависимости получены при анализе возможности решения на ВС задач моделирования работы систем управления в реальном масштабе времени. Обмен данными между машинами осуществлялся через одно буферное оперативное запоминающее устройство. Изменялись следующие параметры ВС: 1) частота обмена данными, 2) количество ЭЦВМ в ВС. Количество обмениваемых данных для каждой ЭЦВМ

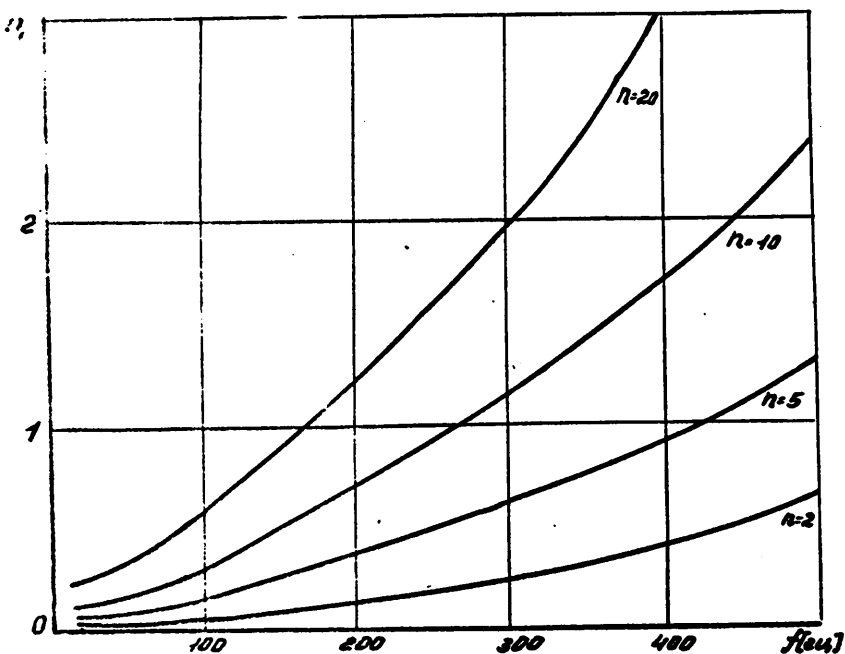


Рис. 1. Количество ЭЦВМ (n), производительность которых эквивалентна потерям производительности ВС.

равнялось 20. Вероятность безотказной работы ЭЦВМ принимались равной единице. Как видно из этих зависимостей у ВС с $n = 5$ при частоте обмена около 400 гц потери производительности равны производительности одной ЭЦВМ, с $n = 10$ при 250 гц, с $n = 20$ при 170 гц.

Следовательно, в этих случаях можно считать, что фактическое число ЭЦВМ в ВС равняется $n - 1$.

Начиная с той совокупности параметров, когда потери производительности ВС равны производительности одной из составляющих ЭЦВМ, с дальнейшим увеличением потерь можно ставить вопрос о том, чтобы ликвидировать их за счет загрузки составляющих ЭЦВМ выполнением каких-либо других расчетов, связанных с другой задачей, аналогично работе систем с разделением времени (СДС-6600, СДС-6800). Это можно осуществить с помощью выделения из общего количества ЭЦВМ одной управляющей ЭЦВМ, которая бы следила за состоянием всех остальных ЭЦВМ и в случае

их простоя загружала бы их частями другой задачи. Если скорости, происходящих в ВС процессов, позволяют осуществлять такое распределение задач, то начиная с того момента, когда выигрыш в производительности, полученный за счет применения управляющей ЭЦВМ, будет больше нуля, выделение одной ЭЦВМ в качестве управляющей будет оправдано, как по критерию производительности, так и по критерию себестоимости средней операции на ВС.

Переход от ВС с равноправными ЭЦВМ к ВС, у которой одна из ЭЦВМ берет на себя функции управления и диспетчирования, можно рассматривать как переход от однородной ВС к иерархической. При дальнейшем увеличении числа ЭЦВМ в ВС управляющие ЭЦВМ образуют свой уровень, отличающийся от уровня обычных расчетных ЭЦВМ по выполняемым функциям. Получится двухуровневая ВС со строгим подчинением одного уровня другому, то есть иерархическая ВС, причем количество ЭЦВМ на управляющем уровне будет значительно меньше, чем на расчетном. Аналогичным образом могут быть построены и многоуровневые ВС.

Большое значение при построении ВС играет надежность составляющих ЭЦВМ. При наихудшем варианте организации ВС можно допустить, что выход из строя одной из ЭЦВМ равносителен выходу из строя всей системы в течение интервала времени констатации неисправностей этой ЭЦВМ, ликвидации последствий ее неисправной работы в программах взаимосвязанных с ней ЭЦВМ, ремонта неисправной ЭЦВМ (или замены ее на резервную).

На рис. 2 показана зависимость производительности многомашинной однородной ВС, подсчитанной по формуле (I), от количества объединяемых ЭЦВМ и от их надежности при решении задач моделирования работы систем управления, когда требуется наибольшая производительность и правильная работа всех составляющих ЭЦВМ. Влияние надежности на производительность ВС определялось умножением значения производительности, полученной по формуле (I), на коэффициент K_2 , учитывающий вероятность нормального функционирования ВС.

$$K_2 = H^n, \quad (5)$$

где H - коэффициент готовности, учитывающий потери времени при работе одиночной ЭЦВМ,

n - количество ЭЦВМ в ВС.

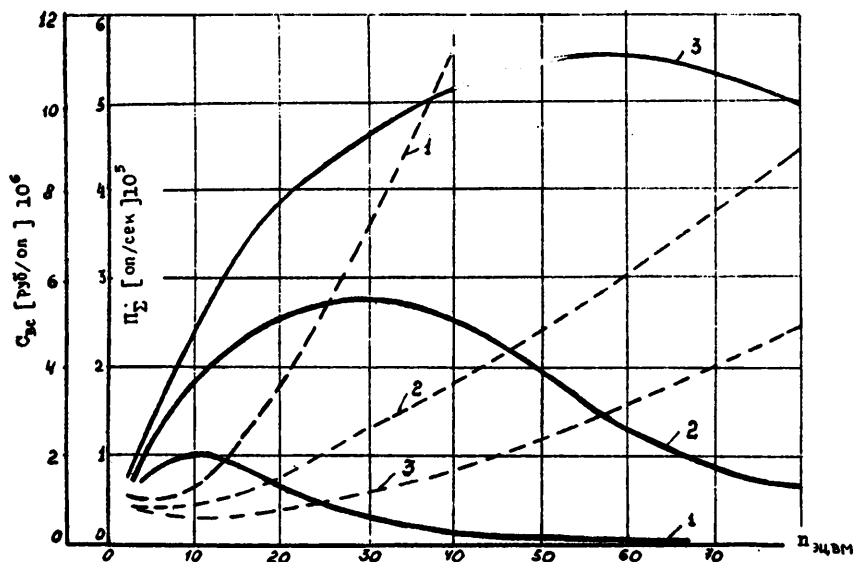


Рис. 2. Зависимость производительности ВС и стоимости средней операции от количества ЭЦВМ в ВС ($n_{\text{ЭЦВМ}}$) и надежности ЭЦВМ (H): 1 - $H = 0,9$; 2 - $H = 0,96$; 3 - $H = 0,98$.
 ——— Производительность
 - - - - - Стоимость средней операции

По зависимости производительности ВС от n и H , видно, что даже при высоком коэффициенте H у составляющих ЭЦВМ наступает такой момент, когда увеличение количества ЭЦВМ в ВС не дает увеличения производительности, а даже снижает ее. Вычисленные для этих же случаев себестоимости средних операций ВС показывают (рис. 2), что кривые себестоимости имеют минимум и этот минимум расположен при значительно меньшем количестве ЭЦВМ в ВС (n_1), чем при том количестве ЭЦВМ в ВС, при котором производительность ВС достигает максимума. Поэтому начиная с количества ЭЦВМ в ВС, равного n_1 , необходимо использовать стоимость прироста производительности ВС (η) как один из главных критериев для анализа ВС.

$$\eta = \frac{\Delta C_{BC}}{\Delta P_{BC}}, \quad (6)$$

где ΔC_{BC} - прирост себестоимости операции BC при изменении количества ЭЦВМ с n_i до n_j ($i < j$);

ΔP_{BC} - прирост производительности при том же изменении количества ЭЦВМ.

То количество ЭЦВМ в BC, при котором зависимость $\eta = f(n)$ достигает минимума, будет оптимальным по стоимости и производительности и, как правило, будет меньше количества ЭЦВМ в BC, при котором производительность BC достигает максимума.

Таким образом, не выходя из допущений, сделанных в работе, можно сделать следующие выводы.

1) Экономическую эффективность построения различных вариантов структур BC лучше всего определять по стоимости средней операции BC по сравнению с другими стоимостными оценками этих BC, ибо она определяет себестоимость основной "продукции" BC.

Та структура BC лучше, у которой эта стоимость меньше (независимо от количества объединяемых ЭЦВМ).

2) Оптимальное количество ЭЦВМ в однородных BC может определяться минимумом стоимости прироста производительности BC, когда значительное увеличение производительности достигается с наименьшими затратами.

3) Переход от однородных BC к иерархическим экономически целесообразен в том случае, когда суммарные потери производительности, которые могут быть ликвидированы управляющей ЭЦВМ, превысят производительность одной ЭЦВМ.

4) Как бы ни была высока надежность составляющих ЭЦВМ, всегда найдется такое количество ЭЦВМ в однородных BC, увеличение которого может не дать не только увеличения производительности BC, но даже привести к ее снижению.

Л и т е р а т у р а

И. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1966.

2. Э.В. Евреиннов, Г.П. Лопато. Универсальная вычислительная система "Минск-222". Вычислительные системы, Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1966, вып. 23.
3. Description of general purpose digital computers.- Computers and Automation, 1966, June.
4. В.М. Глушков. Два универсальні критерії ефективності обчислювальних машин. - ДАН УРСР, 1960, № 4.