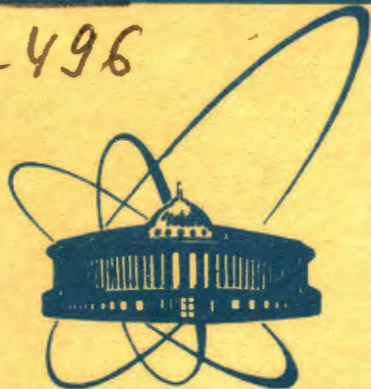


Л Я П

4-496



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

1393/4-81

10-80-812

Е.В.Черных

ВЫБОР СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ
МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

В этой работе рассмотрены интерфейсы многопроцессорных систем: 1/ системные крейты /СК/ фирм GEC-Elliott (DE)^{/1,2/} и Kinetic Systems (КС)^{/3/}, 2/ многоконтроллерный крейт /МК/ EUR 6500^{/4/}, 3/ разрабатываемый в Европе стандарт COMPEX /КОМПЕКС/^{/5,6/} для более эффективного использования магистрали КАМАК, 4/ разрабатываемый в США для автоматизации экспериментов физики высоких энергий стандарт FASTBUS^{/7-12/} /быстрая магистраль - БМ/. Сравнение интерфейсов проводится по пропускной способности обмена и обработки запросов обслуживания, а также по относительной стоимости. Для сравнения рассматриваемых интерфейсов необходимо учитывать характеристики, введенные в работе^{/13/}, при этом следует иметь в виду их изменение, вызванное наличием в системе нескольких источников программ /ИП/.

2. ПРОПУСКНЫЕ СПОСОБНОСТИ ОБМЕНА И ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ

В табл.1 приведены значения времени занятости магистрали /М/ в циклах обмена байтом данных и обработки запроса на обслуживание для различных И. Время занятости М в цикле обмена $t_1^{MЗ}$ - это доля времени цикла выполнения одной команды t_1 , в течение которой М занята:

$$t_1^{MЗ} = t_1 - t_1^{СВ} \text{ с,}$$

где $t_1^{СВ}$ - свободное время цикла. Коэффициент занятости М при выполнении команды в И равен

$$b_1 = t_1^{MЗ} / t_1.$$

Аналогично определяются время занятости М и коэффициент занятости М в цикле обработки запроса:

$$t_{13}^{MЗ} = t_{13} - t_{13}^{СВ} \text{ с,} \quad b_{13} = t_{13}^{MЗ} / t_{13}.$$

Пропускные способности обмена и обработки запросов интерфейса равны соответственно:

$$C_0 = l / t_1 \text{ байт/с,} \quad C_3 = 1 / t_{13} \text{ число запросов/с,}$$

где l - число байтов в слове ИП.

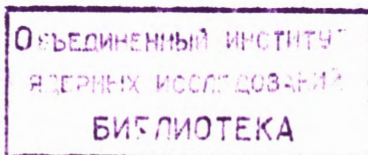


Таблица 1

Время занятости магистралей интерфейсов

№ Тип интерфейса	Время занятости магистралей в цикле обмена, мкс	Время занятости магистралей в цикле обработки запроса, мкс
1. Системный крейт КС	6,52	5,4
2. Многоконтроллерный крейт	4,4	3,4
3. Системный крейт ДЕ	2,4	2,4
4. КОМПЕКС	2	3
5. Быстрая магистраль	0,15	
а/ с использованием Т-магистралей		0,28
б/ с использованием основной магистрали		0,15

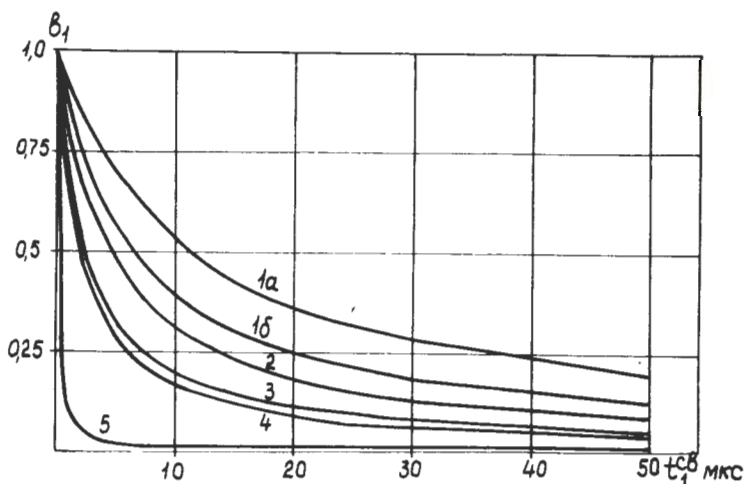


Рис.1. Зависимость коэффициента занятости магистралей в цикле обмена данными от величины времени незанятости магистралей в цикле. 1 - системный крейт фирмы Kinetic Systems: 1а - время доступа 5 мкс, 1б - время доступа 0,12 мкс, 2 - многоконтроллерный крейт, 3 - системный крейт фирмы GEC-Elliott; 4 - КОМПЕКС, 5 - быстрая магистраль.

В случае систем КАМАК расчет для табл.1 выполнен для конфигурации с параллельной ветвью. Структура циклов МК и КОМПЕКС аналогична структуре циклов системных крейтов КС и ДЕ соответственно. Время задержки в контроллерах ветви принято минимальным - 1,2 мкс¹⁴, время задержки ИВ - 0,2 мкс¹⁵, время доступа к М здесь и далее считается минимальным и равным 0,12 мкс, длительность цикла в крейте КОМПЕКС примерно на 30-40% меньше длительности цикла в крейте КАМАК, а длительность выполнения команды в БМ принята равной 0,15 мкс. На рис.1 приведена зависимость коэффициента занятости магистралей интерфейса при выполнении команды с обменом данными от величины времени незанятости М в цикле обмена. Так как в системном крейте КС магистраль доступа функционально не выделена и обработку запросов ведет К, в течение времени доступа М занята, поэтому для СК КС приведена вторая кривая для величины времени доступа к М $t_d = 5$ мкс.

В области малых значений свободного времени цикла t_1^{CB} пропускная способность интерфейса с ростом t_1^{CB} растет быстрее, чем в области больших значений t_1^{CB} .

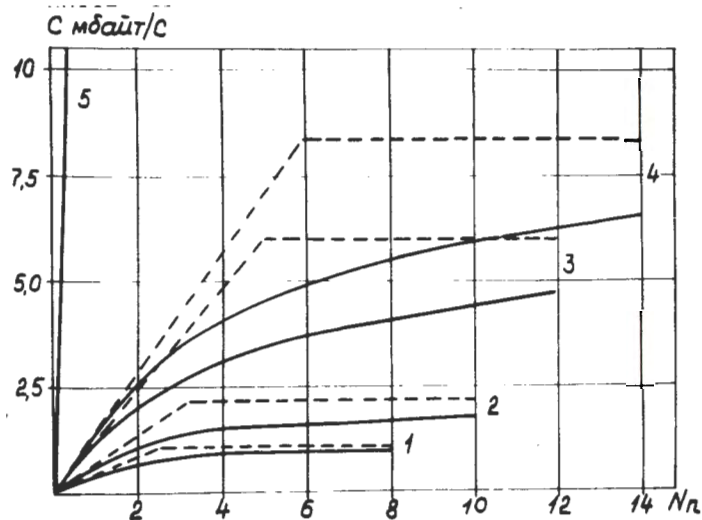


Рис.2. Зависимость пропускной способности обмена от числа источников программ для времени незанятости в цикле обмена $t_1^{CB} = 10$ мкс. Пунктир - максимальные значения, сплошная линия - минимальные. 1 - системный крейт фирмы Kinetic Systems, 2 - многоконтроллерный крейт, 3 - системный крейт фирмы GEC-Elliott, 4 - КОМПЕКС, 5 - быстрая магистраль.

Зависимость пропускной способности обмена различных интерфейсов от числа процессоров в ЦУ для величины $t_1^{CB} = 10$ мкс приведена на рис.2. Минимальная пропускная способность рассчитана для случая, когда каждый источник программы N_{II} должен ждать конца работы $N_{II}-1$ других ИП, прежде чем начать работу на M , по формуле /16/:

$$C_{\text{мин}} = C_{II} N_{II} \frac{1}{1 + b_1(N_{II}-1)} \text{ байт/с,}$$

где C_{II} - пропускная способность И с одним ИП.

Отметим, что для этой и всех других функций с аргументом N_{II} для наглядности на графиках приведены сглаженные кривые.

3. ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ СТОИМОСТИ ИНТЕРФЕЙСОВ

Для сравнения систем целесообразно в дополнение к характеристикам, приведенным в работе /13/, проводить сравнение также по следующим характеристикам: относительной стоимости обмена информацией e , относительной стоимости обработки запросов e_3 и для систем с несколькими ИП - по относительной стоимости на один источник программы e_{II} .

Относительная стоимость обмена информацией e равна

$$e = \frac{E \text{ усл.ед.}}{C \text{ байт/с}},$$

где E - стоимость интерфейса /устройства обмена - УО /13/, системы/, C - пропускная способность в системе при однословной или блочной передачах. Относительная стоимость обмена характеризует выгодность затрат на создание интерфейса с точки зрения пропускной способности обмена.

Относительная стоимость обработки запросов обслуживания e_3 равна

$$e_3 = \frac{E \text{ усл.ед.}}{C_3 \text{ запросов/с}}$$

и характеризует выгодность затрат на создание интерфейса /УО, системы/ с точки зрения пропускной способности обработки запросов.

Относительная стоимость на один источник программы e_{II} характеризует затраты на создание интерфейса /УО, системы/ в пересчете на один ИП.

Стоимости системы и ее интерфейса равны соответственно

$$E_C = E_{II} + E_{II}, \quad E_{II} = E_{YO} + E_M,$$

где E - стоимости E_C - системы, E_{II} - интерфейса системы, E_{YO} - устройства обмена, E_M - приемников и источников информации /модулей/, E_{II} - источников программ.

При сравнении УО необходимо для расчетов брать стоимости УО или стоимости интерфейса или системы с одинаковым числом приемников и источников информации и источников программ. Сравняя получаемые относительные стоимости, можно оценить относительные характеристики стоимости соответственно для УО, интерфейса или системы. При сравнении интерфейса или системы необходимо для расчетов брать их стоимости. Сравняя получаемые относительные стоимости, можно оценить относительные характеристики интерфейса или системы для реальных систем. В этой работе при сравнении различных стандартных интерфейсов используются стоимости соответствующих интерфейсов компактных систем с одинаковым числом источников и приемников информации и источников программ. Сравнение по относительной стоимости обмена проводится по методике, изложенной в работе /16/.

На рис.3 приведена зависимость относительной стоимости обмена в условных единицах /одна единица примерно равна переводному рублю/ от числа ИП для систем с двумя ветвями КАМАК, а для БМ - с эквивалентным числом модулей. При этом учтено, что площадь платы БМ в 2,5 раза больше площади платы КАМАК /9/. Стоимость компонентов МК принята равной стоимости аналогичных компонентов СК ДЕ, стоимость компонентов КОМПЕКС в 1,5 раза, а стоимость компонентов БМ в 5 раз больше стоимости аналогичных компонентов СК КС за исключением кабелей связи. Стоимость интерфейсов КАМАК подсчитана по методике, изложенной в работе /13/. Стоимость интерфейса на основе быстрой магистрали $E_{\text{БМ}}$ для конфигурации, показанной на рис.4, складывается из стоимости интерфейсов ИП $E_{\text{ИП}}$, кабелей связи ИП и интерфейсов ИП $E_{\text{КИ}}$, сегментов $E_{\text{СГ}}$, интерфейсов связи сегментов $E_{\text{СС}}$, кабелей связи сегментов $E_{\text{КС}}$ и модулей E_M и равна

$$E_{\text{БМ}} = N_{II} (E_{\text{ИП}} + 2E_{\text{КИ}}) + C(E_{\text{СГ}} + E_{\text{СС}}) + (C-1)E_{\text{СК}} + M_{II}E_M,$$

где C - число сегментов в системе.

По графикам рис.3 можно для выбранного значения t_1^{CB} определить оптимальное число ИП в ЦУ и сравнить различные стандартные интерфейсы. Кривые имеют явно выраженный минимум, который достигается при $N_{II} = N_{II}^{\text{мин}}$. В области значений $N_{II} < N_{II}^{\text{мин}}$ выгодно увеличивать число ИП в ЦУ, так как относительная стоимость обмена быстро убывает. В области значений $N_{II} > N_{II}^{\text{мин}}$ увеличение числа ИП ведет к постепенному росту относительной стоимости обмена, причем она растет медленнее для интерфейсов с меньшим значением времени занятости M в цикле. При числе ИП $N_{II} \approx 8-10$ интерфейсы СК ДЕ и КОМПЕКС становятся эквивалентными по относительной стоимости обмена.

На рис.5 приведена зависимость относительной стоимости интерфейса на один ИП от числа ИП. Из графиков этого рисунка также очевидна выгодность увеличения числа ИП при небольшом их числе.

$e \frac{\text{усл.ед}}{\text{байт/с}}$

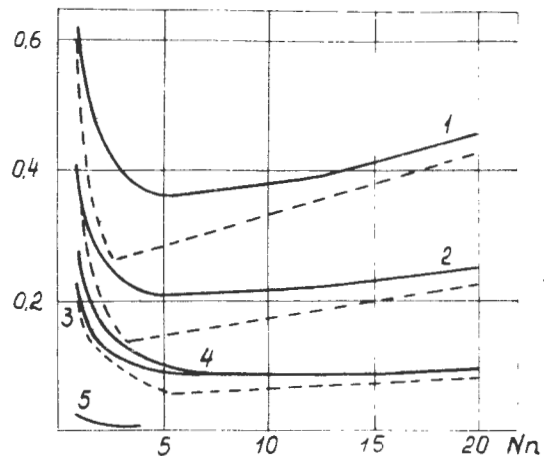


Рис.3. Зависимость относительной стоимости обмена от числа источников программ для времени занятости в цикле обмена $t_1^{CB} = 10$ мкс. Пунктир - максимальные значения, сплошная линия - минимальные. 1 - системный кейт фирмы Kinetic Systems, 2 - многоконтроллерный кейт, 3 - системный кейт фирмы GEC-Elliott, 4 - КОМПЕКС, 5 - быстрая магистраль.

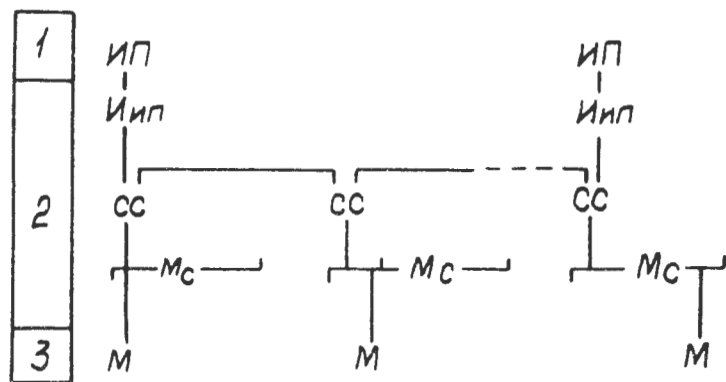


Рис.4. Структурная схема системы на основе быстрой магистрали и функциональные уровни ее компонентов: СС - интерфейс связи сегментов, Мс - магистраль сегмента, М - модуль.

На рис.6 показана зависимость относительной стоимости обработки запросов обслуживания для интерфейса от числа ИП в системе. Следует отметить малые значения относительной стоимости обмена и обработки запросов для БМ /рис.3,6/.

На рис.7 приведена зависимость относительной стоимости обмена от пропускной способности для различных интерфейсов

$e_n \text{ отн. } e_d$

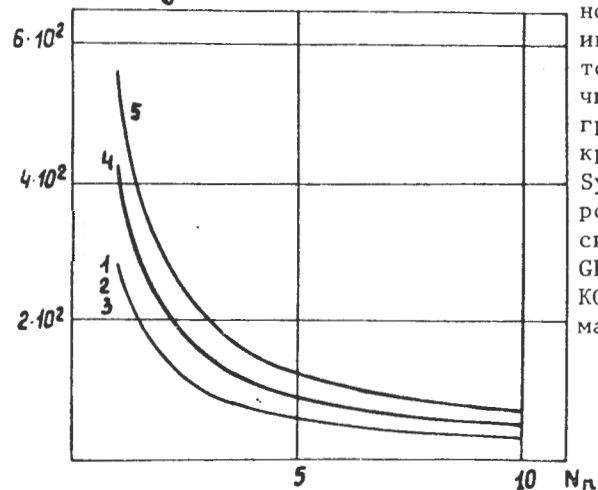


Рис.5. Зависимость относительной стоимости интерфейса на один источник программы от числа источников программы. 1 - системный кейт фирмы Kinetic Systems, 2 - многоконтроллерный кейт, 3 - системный кейт фирмы GEC-Elliott, 4 - КОМПЕКС, 5 - быстрая магистраль.

$e_3 \frac{\text{усл.ед}}{\text{запр./с}}$

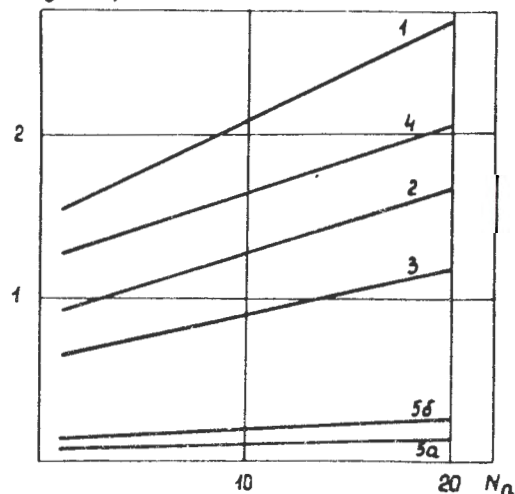
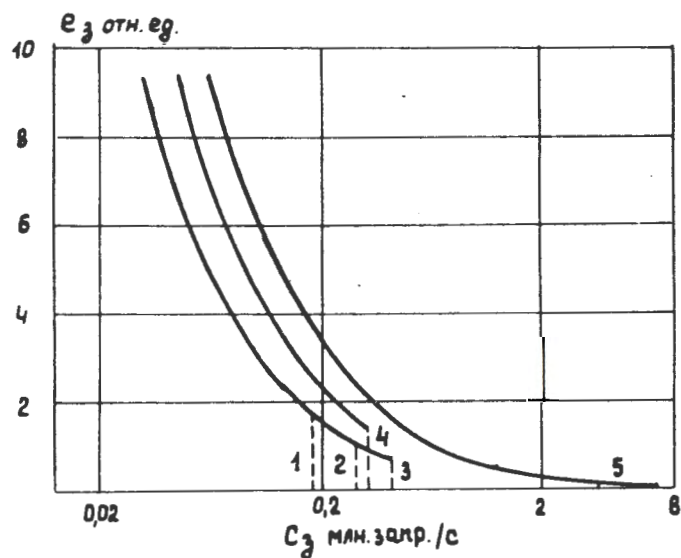
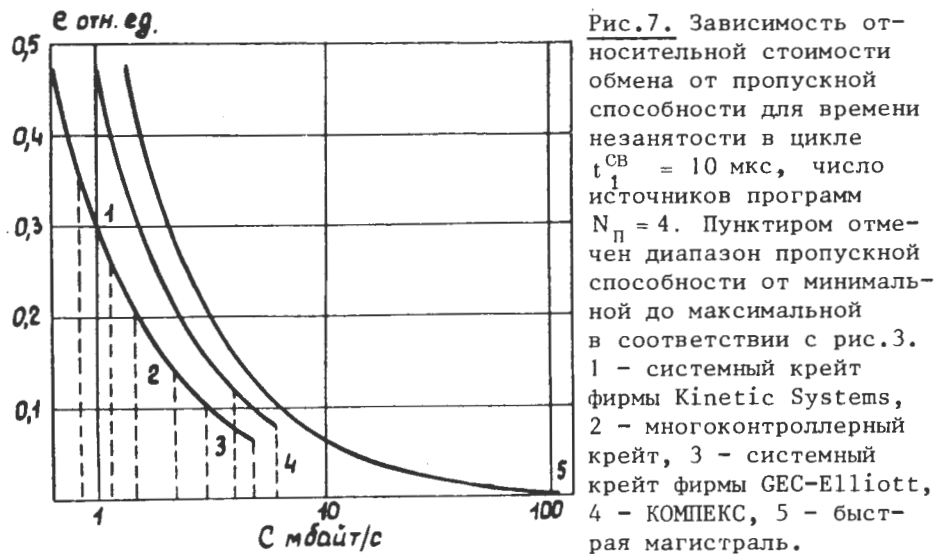


Рис.6. Зависимость относительной стоимости обработки запросов от числа источников программ. 1 - системный кейт фирмы Kinetic Systems, 2 - многоконтроллерный кейт, 3 - системный кейт фирмы GEC-Elliott, 4 - КОМПЕКС, 5 - быстрая магистраль.

при $t_1^{CB} = 10$ мкс и числе ИП в ЦУ $N_{II} = 4$. Для И с меньшими значениями коэффициента занятости М при обмене данными b_1 диапазон пропускной способности от минимальной до максимальной уже и смещен в область больших значений относительной стоимости.

На рис.8 приведена зависимость относительной стоимости обработки запросов от соответствующей пропускной способности для различных интерфейсов с числом ИП в ЦУ $N_{II} = 4$. Из графиков рис.7,8 видно, что неэффективное использование интерфейса, то есть работа его с меньшими пропускными способностями, более



выгодна для интерфейсов с большим значением свободного времени в соответствующем цикле.

Необходимо отметить, что если стоимость компонентов БМ будет превышать стоимость аналогичных компонентов СК КС в 10, а не в 5 раз, как принято в этой работе, относительные стоимости БМ будут все же в несколько раз ниже относительных стоимостей других И.

4. СРАВНЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ

Прежде чем сформулировать выводы, целесообразно обобщить рассмотренные сравнительные характеристики различных стандартных интерфейсов. Итоговая табл.2 для сравнения составлена по результатам табл.1 и графиков рис.3,5,6. Как видно из графиков рис.3,5, число ИП в ЦУ на основе любого интерфейса выгодно увеличивать до числа, минимизирующего относительные стоимости обмена и стоимость на один ИП.

Из табл.2 видно, что из интерфейсов КАМАК лучшие сравнимые характеристики имеет СК ДЕ и худшие - СК КС, а КОМПЕКС и МК занимают промежуточное положение. Чем выше пропускная способность обмена И, тем в большинстве случаев выше пропускная способность обработки запросов. Для систем автоматизации физики высоких энергий, как известно, важнейшей характеристикой является пропускная способность обмена, в то время как для систем управления "быстрыми" электрофизическими установками требуется высокая пропускная способность обработки запросов при умеренной пропускной способности обмена. Из табл.2 следует, что интерфейсы с функционально специализированной М /СК ДЕ, КОМПЕКС/ имеют более высокую пропускную способность обмена. Интерфейсы с выделенной магистралью доступа /СК ДЕ, КОМПЕКС, МК/ и несколькими процессорами для обработки запросов имеют более высокую пропускную способность обработки запросов.

В то же время необходимо отметить, что конструктивное выделение магистрали доступа и выполнение ее по схеме "цепочки"^{17/} /СК ДЕ, МК, КОМПЕКС/ снижает надежность И и увеличивает время доступа к основной М. Кроме того, наличие внешних соединений затрудняет переконфигурацию системы. Недостаток интерфейса СК ДЕ состоит также в том, что приемники запросов фиксированы^{2/}, в то время как в других И они могут переназначаться программой в ходе работы системы.

Таким образом, применение СК КС обеспечивает в сравнении с другими интерфейсами КАМАК среднюю пропускную способность в ЦУ. Но при этом обеспечиваются высокая надежность, возможности легкого изменения конфигурации и динамической переадрес-

Таблица 2

Пропускная способность и относительная стоимость стандартных интерфейсов

Характеристики интерфейсов	Интерфейсы в порядке уменьшения пропускной способности и увеличения относительной стоимости				
Пропускная способность обмена	БМ	КОМПЕКС	ДЕ	МК	КС
Пропускная способность обработки запросов	БМ	ДЕ	КОМПЕКС	МК	КС
Относительная стоимость обмена байтом	БМ	ДЕ	КОМПЕКС	МК	КС
Относительная стоимость обработки запросов	БМ	ДЕ	МК	КОМПЕКС	КС
Относительная стоимость на один источник программы	МК, ДЕ		КС	КОМПЕКС	БМ

сация запросов на обслуживание различным ИП. Применение СК ДЕ обеспечивает максимальную пропускную способность в ЦУ. При этом изменение конфигурации системы сложнее, надежность ниже и возможность динамической переадресации запросов на обслуживание отсутствует.

С точки зрения выгоды эксплуатации систем на основе интерфейсов КАМАК лучшие характеристики у СК ДЕ и КОМПЕКС, так как при падении пропускной способности в системе с этими И относительные стоимости обмена и обработки запросов растут медленнее, чем в системах с другими УО.

Наиболее перспективен из интерфейсов КАМАК стандарт КОМПЕКС, так как постепенное снижение стоимости его компонентов при изготовлении их промышленностью сделает его лучшим по сравнимым характеристикам, тем более, что он обладает рядом свойств, позволяющих эффективное использование микропроцессоров и блоков памяти большой емкости.

Несмотря на высокую абсолютную стоимость интерфейса на основе быстрой магистрали - стандарта, специально разрабатываемого для экспериментов физики высоких энергий, относитель-

ные стоимости обмена и обработки запросов для этого интерфейса будут, по-видимому, в несколько раз ниже, чем для других интерфейсов. Кроме того, так как УО на основе БМ содержит только один тип интерфейса, математическое обеспечение системы может быть проще.

Необходимо отметить, что в системах автоматизации научных экспериментов можно обеспечить высокие характеристики, применяя в одной системе различные стандартные интерфейсы. Иллюстрированный анализ необходимо дополнить также анализом программного обеспечения.

В заключение автор выражает благодарность И.Ф.Колпакову за поддержку работы, В.И.Какуриной и Л.Г.Булаевой за помощь при оформлении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. GEC-Elliott System Crate Philosophy, A.2951-22, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1977.
2. Executive Controller, A.2951-2, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1977.
3. 3960 System Crate Controller, CAMAC 1980-1981 Kinetic Systems Catalog, Lockport, USA, 1980.
4. Multiple Controllers in a CAMAC Crate, ESONE Committee, EUR 6500e, Luxembourg, CEC, 1978.
5. Compatible Extended Use of CAMAC Dataway - Draft, ESONE Committee, London, 1980.
6. Pietfield A.C. IEEE Trans., 1980, NS-27, p.610.
7. FASTBUS Modular High Speed Data Acquisition System for High Energy Physics and other Applications, Draft Tentative Specification, Washington, US NIM Committee, 1980.
8. Wadsworth B. IEEE Trans., 1980, NS-27, p.612.
9. Downing R.W. IEEE Trans., 1980, NS-27, p.622.
10. Downing R.W. IEEE Trans., 1980, NS-27, p.622.
11. Larsen R.S. IEEE Trans., 1979, NS-26, p.679.
12. Gustavson D.E. SLAC-PUB-2378, Stanford, USA, 1979.
13. Колпаков И.Ф. ПТЭ, 1979, №2, с.7.
14. Organization of Multi-Crate Systems (Parallel Branch Highway), EUR 4600e, Luxembourg, CEC, 1975.
15. Branch Coupler BR-CPR-3, A.2951-3, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1977.
16. Reiling G. Performance and Control of Multiple Microprocessor Systems. Computer Design, 1974, v.13, p.81.
17. Thurber K.J. et al. A Systematic Approach to the Design of Digital Bussing Structures, AFIPS Press, Montvale, NJ, 1972, p.719.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 декабря 1980 года.