

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3254 / 2-80

14/7-80

10-80-186

И.Ф.Колпаков

ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ТИС
В ПРОЕКТЕ УКТИ

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

Ускорительный комплекс тяжелых ионов /УКТИ/ состоит из инжектора, тяжелоионного синхротрона /ТИС/ и системы вывода ^{1/}.

Для выбора организационной структуры АСУ УКТИ необходимо:

1/ рассмотреть потоки информации $F_i(t)$ от отдельных датчиков комплекса на основе имеющихся функциональных зависимостей сигналов от датчиков и требуемых точностей измерения и вычислить времена преобразования;

2/ определить средние потоки информации и требуемые объемы буферных запоминающих устройств /ЗУ/ $S_{об}$;

3/ на основе имеющихся исходных данных о пропускных способностях С и объемах ЗУ $S_б$ источников программ сгруппировать потоки в k групп по числу требуемых источников программ так, чтобы выполнялись условия

$$\sum_{i=1}^k F_i < C, \quad \sum_{i=1}^k S_{об i} < S_б, \quad /1/.$$

с учетом функциональной и территориальной принадлежности и определить тип источников программ;

4/ определить число модулей, крейтов, структурную схему, надежность и стоимость системы.

2. ОСНОВНЫЕ СИГНАЛЫ ОТ ДАТЧИКОВ

Основные потоки информации связаны, как правило, с измерением непрерывных сигналов от датчиков. На рис.1 показаны основные сигналы от датчиков линейного ускорителя /ЛУ/, которые необходимо измерять в каждом цикле, на рис.2 - сигналы от остальных датчиков ТИС. В нижнюю часть каждого из рисунков вынесены характерные точки на оси времени. Характеристики основных импульсов от датчиков ЛУ приведены в табл.1.

Сигнал I_4 измеряется только в режиме настройки ЛУ и на рис.1 не показан. Длительность характерных временных интервалов $1'-1-2-2'$ показана в табл.2.

Основные характеристики импульсов от остальных датчиков ТИС содержатся в табл.3.

Все последовательности сигналов повторяются с периодом $T=1$ с или $0,33$ с. Для расчетов максимальных потоков информа-

Таблица 1

Точностные характеристики импульсов от датчиков ЛУ

№	Обозначение	Параметр	Точность измерений, %	Количество датчиков
1	I_1	Импульс, характеризующий энергетический спектр пучка	0,02 на вершине и 1 на фронте и спаде	3
2	I_2	Импульс тока пучка	1 на вершине и 5 на фронте и спаде	10
3	I_3	Сигнал модуляции энергии	0,5 на вершине и 2 на фронте и спаде	1
4	I_4	Импульс на коллекторной пластине	2	1

Таблица 2

Длительность характерных временных интервалов для ЛУ

№	Обозначение интервала	Длительность, мкс	
		наименьшая	наибольшая
1	$1^1 - 1$	2	50
2	$1 - 2$	15	400
3	$2 - 2^1$	5	150

ции в дальнейшем будет использовано значение минимально возможной длительности этого интервала. Пунктирными линиями на рис.2 показаны формы сигналов в случае режима быстрого вывода.

Таблица 3

Точностные характеристики импульсов от датчиков ТИС

№	Обозначение	Параметр	Точность измерений, %	Кол-во датчиков
1	I_5	Ток в кольцевом электромагните	0,01	1
2	I_6	Частота ускоряющего напряжения	0,001	1
3	I_7	Интенсивность циркулирующего пучка	1	1
4	I_8	Ток в септум-магнитах и ударном магните инжекции	0,03	6
5	I_9	Ток в корректирующих обмотках кольцевого магнита и корректорах	1	116
6	I_{10}	Ток в секступольных линзах и септум-магнитах медленного вывода	0,3 0,03	3 3
7	I_{11}	Ток в квадрупольной линзе тонкой настройки и бамп-магнитах медленного вывода	0,03	5
8	I_{12}	Ток в бамп-магнитах и септум-магнитах быстрого вывода	0,03	4

Таблица 4

Длительности характерных временных интервалов для ТИС

№	Обозначение интервала	Длительность, мс
1	1 - 2	0,022 или 0,6
2	2 - 3	1
3	3 - 8	94
4	2 - 4	5
5	4 - 5	5
6	5 - 6	70
7	6 - 7	5
8	7 - 8	10
9	9 - 10	0,001
10	8 - 11	110

3. ПОТОКИ ИНФОРМАЦИИ

Поток информации на каждом временном интервале $t_{i+1} - t_i$ определяем как

$$F_i(t) = \frac{\lg_2 \frac{1}{\sigma}}{8 \Delta t} \{h(t_i) - h(t_{i+1})\}, \quad /2/$$

где Δt - шаг стробирования и σ - среднеквадратичная погрешность измерения данной величины $I_i(t)$, а $h(t)$ - единичная функция. Таким образом, для каждого непрерывного сигнала поток информации представляется в виде гистограммы.

Полагается, что шаг квантования по уровню выбирается равным σ . Для определения шага квантования по времени Δt используется ступенчатая и линейная аппроксимации функций сигналов^{2,3}. Полагается, что погрешность интерполяции Δ при этом равна σ . Для прямолинейных участков применяется ступенчатая аппроксимация, при которой шаг стробирования равен

$$\Delta t \leq 0,03 (t_{i+1} - t_i). \quad /3/$$

Для функций $I_i(t)$, имеющих вторую производную, шаг стробирования определяется выражением

$$\Delta t \leq 0,02 \sqrt{\frac{\Delta}{I''_{i_{\max}}}}. \quad /4/$$

На рис. 3 приведены результаты расчета основных потоков информации от ТИС. Полный средний поток информации от ТИС составляет $F_{\text{ТИС}} = 175$ Кбайт/с при цикле 1 с и 0,525 Мбайт/с при цикле 0,33 с. Максимальное значение среднего потока информации может быть равно 0,8 Мбайт/с, поскольку при цикле 0,33 с около 2/3 длительности цикла связано с приемом информации.

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЭВМ

Предполагается, что в автоматизированной системе будут использоваться в качестве источников программ два основных типа ЭВМ: 1/ микро-ЭВМ⁴ с пропускной способностью по программному каналу 30 Кбайт/с, емкостью буферной памяти до 48 К и дисковой операционной системой и 2/ ЭВМ с пропускной способностью по программному каналу до 100 Кбайт/с и емкостью буферной памяти до 100 К с НМД и НМЛ⁵. Поскольку стоимость микро-ЭВМ в несколько раз ниже стоимости данной ЭВМ, предлагается структурная схема системы, в которой микро-ЭВМ служат для накопления данных, так что поток информации распределяется соответствующим образом по подсистемам с микро-ЭВМ. Обработка данных и системные

программы выполняются на ЭВМ. При использовании ЭВМ на ускорителе требуется решение таких задач, как моделирование - изучение его режимов, поэтому целесообразно полностью разгрузить ЭВМ от приема, накопления информации и первичной обработки сигналов.

Прием и первичная обработка сигналов осуществляются модулем, состоящим из микро-ЭВМ и крейта /крейтов/ КАМАК. Автоматизированная система должна принять 147 динамических и 1071 статический сигнал, около 60 временных сигналов, измерить профили пучков в 1500 точках и осуществлять управление в 176 точках.

Для разделения потока информации АСУ подразделяется на три подсистемы: инжектора, синхротрона и вывода; кроме того, внутри каждой из этих подсистем производится разделение потоков в соответствии с требуемыми пропускными способностями и буферной памятью микро-ЭВМ.

5. ПОДСИСТЕМА ИНЖЕКТОРА

Как видно из рис. 3, средний поток информации на инжекторе составляет 12,7 Кбайт/с, однако мгновенная величина потока достигает единиц Гбайт/с, поэтому требуются специальные преобразователи с переменным временем преобразования от 2 нс /точность 10^{-2} / до 0,5 мкс /точность $2 \cdot 10^{-4}$ / и буферной памятью около 0,5 Кбайт, реализация которых находится на грани возможностей современной техники. Требуемый объем буферной памяти равен 64 Кбайт, откуда следует необходимость разделения приема входного потока информации между двумя источниками программ - микро-ЭВМ МК1 и МК2 /см. рис. 4/. Микро-ЭВМ МК1 обслуживает 3 крейта, которые регистрируют импульс тока ЛУ /крейт 1/, сигналы модуляции энергии, профиля пучка /400 каналов/, сигнал с коллекторных пластин, характеризующий инжектируемый импульс, и другие /крейт 2/. Всего регистрируется 6 динамических сигналов. Крейт 3 предназначен для размещения аппаратуры измерения эмиттанса. Микро-ЭВМ МК2 обслуживает 2 крейта, из которых один предназначен для измерений импульса, характеризующего энергетический спектр /крейт 4/. В крейте 5 расположена аппаратура регистрации постоянных сигналов со 185 точек. Сигналы управления /всего 8/ поступают из соответствующих измерительных крейтов.

Для связи с пультом используется крейт 6. Пульт содержит цветные графические и алфавитно-цифровые дисплеи, сенсорную панель, кнопки управления и цифровые табло. Организация и хранение сообщений на пульте обеспечивается отдельной микро-ЭВМ МК3. Оптимизацию и моделирование режимов инжектора обеспечи-

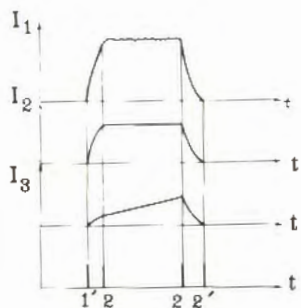


Рис. 1. Форма основных сигналов от датчиков линейного ускорителя.

Рис. 2. Форма основных сигналов от датчиков кольцевого синхротрона.

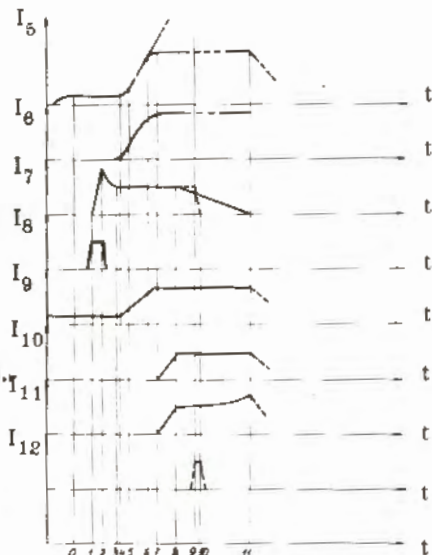


Рис. 3. Потоки информации в Кбайт/с для различных систем ТИС.

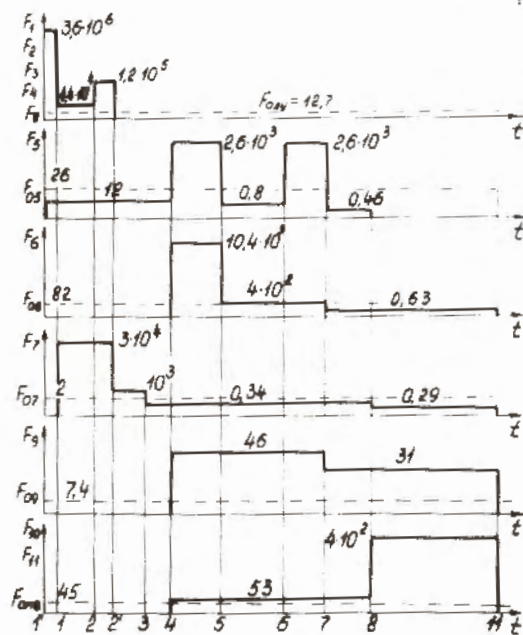
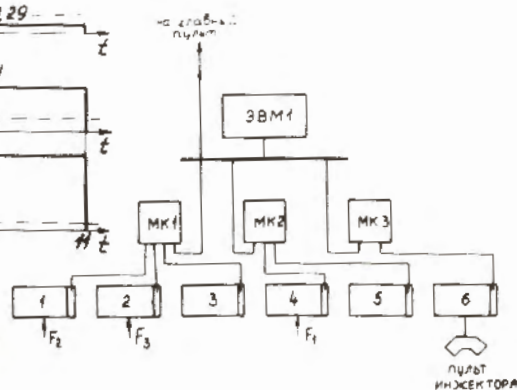


Рис. 4. Структурная схема автоматизированной подсистемы инжектора: МК1, МК2, МК3 - микро-ЭВМ, 1÷6 - крейты.



вает ЭВМ 1, к общей шине которой подсоединены микро-ЭВМ МК1-МК3. Через эту ЭВМ осуществляется связь с ЭВМ главного пульта. В системе используются 63 функциональных модуля КАМАК /5 крейтов/. Кроме того, требуются дополнительные модули и крейты в системе сбора и транспортировки информации ЛУ, а также нестандартные модули.

6. ПОДСИСТЕМА СИНХРОТРОНА

Средний поток информации от синхротрона составляет при длительности цикла 1 с около 162 Кбайт/с /см. рис.5/. Для его приема подсистема синхротрона разделяется на две части.

Первая часть принимает информацию о токе в кольцевом магните (F_5), частоте ускоряющего напряжения (F_6), интенсивности ускоряемого пучка (F_7), об орбите циркулирующего пучка, токе в септум-магнитах и ударном магните инжекции (F_8) и управляет током кольцевого электромагнита и токами в септум-магните и ударном магните инжекции. В этой части подсистемы осуществляется связь ускоряющей частоты с линейным полем кольцевого электромагнита. Поток информации, поступающий на данную часть подсистемы, равен 118 Кбайт/с. Распределение потока по крейтам 7-11 и буферным микро-ЭВМ МК4-МК8 показано на рис.5. Эта часть подсистемы обслуживает ЭВМ 2, связанная с остальными ЭВМ подсистемы - ЭВМ-3 и ЭВМ-4. Для регистрации потоков $F_5 \div F_9$ требуется разработка специальных АЦП с переменным шагом преобразования от 0,5 мкс до 140 мкс, точностью преобразования 10^{-4} и буферной памятью до 26 К, ВЦП с точностью 10^{-5} для измерения временных интервалов 0,02 мкс \pm 10 мс и буфером 80 К и других преобразователей. Для управления частотой и током в кольцевом электромагните необходимы специальные программные генераторы, воспроизводящие косинус, обратный квадратный корень и линейный закон с шагом от 28 мкс и точностью до 10^{-5} . Всего в эту часть подсистемы поступает 9 динамических сигналов и сигналы от пикап-электродов для регистрации замкнутой орбиты.

Вторая часть подсистемы принимает средний поток информации около 10 Кбайт/с. Она обслуживается ЭВМ-4. Здесь регистрируется около 130 динамических и 430 статических сигналов и производится управление в 104 точках. Основной поток информации связан с измерением токов в корректирующих элементах. Эти токи регистрируются в крейтах 15,16 и буферной памяти микро-ЭВМ МК10 и МК11. Коррекция токов производится через программные генераторы, расположенные в крейтах 17 и 18, непосредственно связанных с общей шиной ЭВМ-4 по требованиям быстродействия. Остальные сигналы регистрируются в крейтах

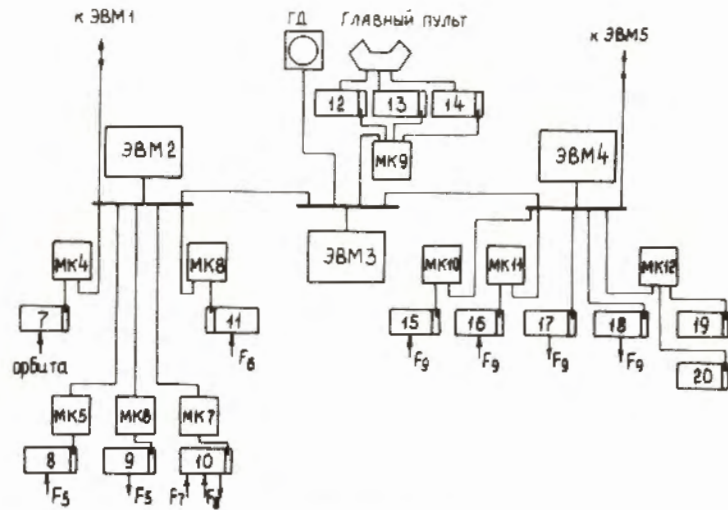


Рис. 5. Структурная схема автоматизированной подсистемы синхротрона: МК4-МК12 - микро-ЭВМ, 7-20 - крейты, ГД - графический дисплей.

19 и 20, связанных с буферной микро-ЭВМ МК12. Особенность этой части подсистемы заключается в том, что сбор сигналов в ней производится по всему периметру ТИС /150 м/ и, кроме того, необходима транспортировка этих сигналов на расстояние около 400 м, поэтому в системе сбора информации целесообразно использование последовательной магистрали КАМАК.

Главный пульт содержит цветной графический дисплей, цветные телевизионные дисплеи, сенсорные панели, управляемые потенциометры, клавиатуры и цифровые индикаторные табло, которые обслуживают ЭВМ-3 через буферную микро-ЭВМ МК9 и крейты 12-14. АСУ ТИС соединяется также с существующей системой управления на синхротроне [8].

7. ПОДСИСТЕМА ВЫВОДА

Подсистема вывода обслуживает быстрый и медленный вывод луча из ТИС /см. рис.6/. Входной поток информации составляет всего около 50 Кбайт/с, однако требуется большая буферная память, поэтому в системе используется 4 микро-ЭВМ МК13-МК16, связанные с центральной ЭВМ-5, через которую осуществляется связь с главным пультом.

В подсистеме регистрируется 11 динамических сигналов, 1100 точек от профилометров, 456 постоянных уровней, 50 вре-

Таблица 5

Параметры некоторых преобразователей аналог-код, σ_1 , σ_2 - точность преобразования при шагах преобразования Δt_1 и Δt_2 соответственно

№ пп	Тип преобразователя	Измеряемый параметр	σ_1	Δt_1	σ_2	Δt_2	$S_{об}$ Кбайт	Количество
1	АЦП	I_1	10^{-2}	2 нс	$2 \cdot 10^{-4}$	0,4 мкс	0,5	4
2	"	I_2	10^{-2}	4 нс	10^{-2}	"	0,26	10
3	"	I_3	$5 \cdot 10^{-3}$	2,5 нс	$2 \cdot 10^{-2}$	"	0,5	1
4	"	I_5	10^{-4}	0,5 мкс	10^{-4}	140 мкс	26К	1
5	"	I_7	10^{-2}	30 нс	10^{-4}	0,9 мкс	1К	1
6	"	I_8	$3 \cdot 10^{-4}$	0,5 мкс	-	-	0,25	4
7	"	I_{12}	"	30 нс	-	-	0,05	4
8	"	I_{10}	$3 \cdot 10^{-3}$	0,28 мкс	-	-	-	3
9	"	I_{10}	$3 \cdot 10^{-4}$	0,38 мкс	-	-	-	3
10	ВЦП	I_6	10^{-5}	20 нс	10^{-5}	10 мс	80К	1

Таблица 6

Характеристики программных генераторов функций, Δt_1 , Δt_2 - шаги квантования, T_1, T_2 - интервал генерации функции

№ пп	Измеряемый параметр	Функция	σ_1	Δt_1 , мкс	T_1 , мс	Функция	Δt_2 , мкс	T_2 , мс	Количество
1	I_3	at	$5 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,02	at	2	0,4	1
2	I_6	$\cos \omega t$	10^{-4}	90	5	at	7	7	1
3	I_8	$\cos \omega t$	10^{-5}	28	5	$\frac{1}{\sqrt{(N/6)^2 + 1}}$	60	70	1
4	I_9	at	10^{-2}	0,7	70	-	-	-	116
5	I_{11}	at	$3 \cdot 10^{-4}$	3	10	$e^{-\sqrt{t}}$	2450	110	5

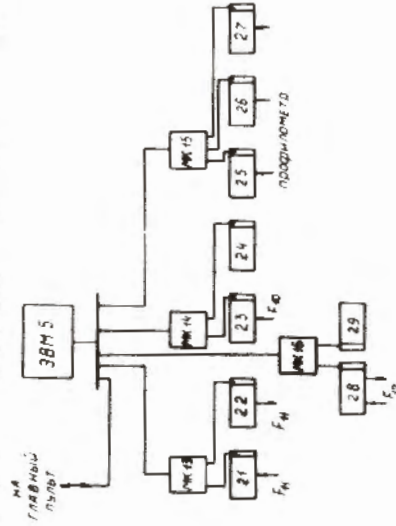


Рис. 6. Структурная схема автоматизированной подсистемы вывода: МК13-МК16 - микро-ЭВМ, 21-29 - крейты.

менных интервалов и производится управление в 64 точках. Через микро-ЭВМ МК13 осуществляется измерение и управление для токов в квадрупольных линзах тонкой настройки и бэмп-магнитах медленного вывода /крейты 21 и 22/. В крейте 23 регистрируются токи секступольных линз и септум-магнитов медленного вывода. Сигналы состояний и временные характеристики вывода измеряются в крейте 24. Крейты 23 и 24 подсоединяются к подсистеме через буферную микро-ЭВМ МК14. Микро-ЭВМ МК15 и крейты 25-24 используются для измерений профиля выведенных пучков МВ. В крейте 27 регистрируются токи в каналах транспортировки МВ. Система быстрого вывода обслуживается микро-ЭВМ МК16 и крейтами 28, 29. Для подсистемы вывода потребуются также разработки специализированных АЦП с временем преобразования 30 нс, точностью $3 \cdot 10^{-4}$ и буферной памятью до 9 К.

8. АППАРАТУРА СИСТЕМЫ

В табл. 5 приведены требуемые параметры преобразователей, которые необходимо разработать, и их количество.

Кроме того, требуется разработка оптико-электрических цифровых и аналоговых приемнико-передатчиков для рассмотренных выше сигналов.

В табл. 6 приведены основные характеристики программных генераторов функций, требующих разработки.

Всего аппаратура системы включает в себя 28 оригинальных преобразователя, 124 программных генератора функций и 277 основных модуля. Эта аппаратура располагается в 29 крейтах КАМАК, связанных с 16 микро-ЭВМ и 5 ЭВМ.

9. НАДЕЖНОСТЬ

Оценка надежности системы проводилась на основе модели последовательного соединения элементов системы ^{17/}.

Частота отказов модулей, крейтов и ЭВМ взята из результатов, полученных при долговременной эксплуатации автоматизированной системы протонного синхротрона ЦЕРНа ^{18/}. Частота отказов для микро-ЭВМ - расчетная ^{19/}. На основе этих данных время наработки на отказ /без системы сбора и транспортировки сигналов и элементов пультов/ составляет 132 часа, то есть около 5 суток, что, в целом, допустимо. Нарботка на отказ для подсистемы инжектора составляет 654 часа, для синхротрона - 237 часов и для устройства вывода - 498 часов. Около половины вклада в частоту отказов вносят микро-ЭВМ, поэтому целесообразно введение резервной микро-ЭВМ. Тогда время наработки на отказ для системы увеличивается до 228 часов,

то есть до 9,5 суток. При резервировании ЭВМ надежность системы возрастает на 15%, поэтому целесообразно ввести программное резервирование в имеющийся набор ЭВМ. Для увеличения ремонтпригодности АСУ целесообразно предусмотреть резерв модулей в количестве 10% от их общего числа.

10. ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ

Суммарная мощность, потребляемая АСУ, составляет около 30 кВт, в том числе для подсистемы ЛУ - 7,1 кВт и для подсистем, расположенных на главном пульте, - 19,9 кВт.

11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные оценки аппаратуры, требуемой для ТИС, и предложенные структурные схемы должны быть скорректированы в дальнейшем после разработки основных алгоритмов и соответствующего матобеспечения, а также системы сбора и транспортировки сигналов.

В заключение автор хотел бы поблагодарить Ю.Д.Безногих, В.И.Волкова, И.Б.Иссинского и В.А.Мончинского за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 9-11796, Дубна, 1978.
2. Четвериков В.Н. Преобразование и передача информации в АСУ. "Высшая школа", М., 1974, с.8÷16.
3. Хетагуров Я.А., Древис Ю.Г., Первов В.В. Основы проектирования АСУ. Изд-во МИФИ, 1976, ч. II, с.5÷18.
4. Микрокомпьютер МЕРА-60. Проспект фирмы МЕРА. Варшава, 1979.
5. Наумов Б.Н., Боярченков М.А., Кабалаевский А.Н. Управляющий вычислительный комплекс СМ-3. "Приборы и системы управления", 1977, №10, с. 12-15.
6. Волков В.И. и др. ОИЯИ, Д13-11182, Дубна, 1978, с.191.
7. Беккер П., Йенсен Ф. Проектирование надежных электронных схем. Пер. с англ. "Советское радио", М., 1977.
8. Crowley-Milling. Experience with the Control System for the SPS, Geneva, CERN 78-09, 1978.
9. Колпаков И.Ф. Некоторые критерии для выбора ЭВМ в автоматизированных системах физики высоких энергий. "Автоматрия", 1980, №3, с.33.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 марта 1980 года.