

Ц,84а1
Г-701

27/ХІ-69

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 4753

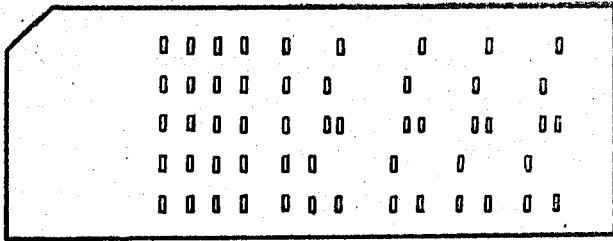


ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

Е.Д. Городничев, Г.М. Кадыков,
В.Н. Садовников, Н.Н. Морозова

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕРЫВАНИЯ ПРОГРАММ
В БЭСМ-4 ОИЯИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТАХ И СИСТЕМАХ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

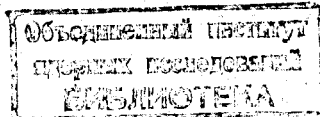
1969



10 - 4753

Е.Д. Городничев, Г.М. Кадыков,
В.Н. Садовников, Н.Н. Морозова

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕРЫВАНИЯ ПРОГРАММ
В БЭСМ-4 ОИЯИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТАХ И СИСТЕМАХ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ



8094/2 нр

Разработка и осуществление в универсальных электронно-вычислительных машинах систем прерывания программ расширяет возможности ЭВМ по обработке данных и область их применения /1,2/.

Конкретная схема прерывания определяется системой команд и структурой ЭВМ, а также требованиями к скорости переключения программ. В данной работе описывается система прерывания, реализованная на машинах БЭСМ-4 ОИАИ, с учетом требований, предъявляемых к прерыванию измерительными и регистрирующими приборами и устройствами, работающими на линии связи с БЭСМ-4 в ОИАИ.

Слово состояния программы

Во время выполнения на БЭСМ-4 некоторой программы состояние машины при любой команде характеризуется значениями нескольких регистров управления /3/. Совокупность этих значений образует слово состояния программы ССП. ССП содержит всю информацию, не находящуюся в памяти, но необходимую для выполнения программы. Запоминая ССП в ячейке памяти, программа может сохранить детальные сведения о состоянии машины для последующего использования. Засылкой нового ССП на регистры можно изменить состояние машины. Формат ССП приведен на рис.1. В отличие от состояния серийной БЭСМ-4, ССП содержит разряды маски системы прерывания. Каждому разряду соответствует источник (причина) прерывания. Это могут быть необычные условия, возникающие в программе, или сигналы от устройств, работающих на линии связи с ЭВМ. Когда разряд маски - единица, возможно прерывание по данной причине. Когда разряд маски - нуль, соответствующий источник не может вызвать прерывания.

Установка значений разрядов маски в ССП осуществляется стандартной командой "57" - ИРП. Разряды 15, 18, 21, 24 команды 57 заносятся на регистр маски RгМ. Разряды 26, 27 являются признаками,

Слово состояния программы - ССП

45	44	43	42	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	42	1
		П	П					П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П		
		МБ						МСК	МСК	КРА	МСК	А1	А2	А3	МСК	А3	А3	МСК	А3	А3	КРА	КРА	РА

Назначение полей в ССП

- 1-12 - содержимое регистра адреса - РА
- 13-24 - адрес текущей команды - КРА
- 25-26 - приращение третьего адреса - РП-А3
- 27 - маска прерывания - МСК
- 28-29 - приращение второго адреса - РП-А2
- 30 - маска прерывания - МСК
- 31-32 - приращение первого адреса - РП-А1
- 33 - маска прерывания - МСК
- 34-35 - приращение адреса команды - РП-КРА
- 36 - маска прерывания - МСК
- 37 - приращение номера магн. ленты - РП-ПЛ
- 40-42 - приращение номера магн. барабана - РП-МБ
- 43 - управляющий сигнал ω - ω

Рис. 1. Назначение разрядов в слове состояния программы.

разрешающими изменение регистра маски. Формат команды ИРП приведен на рис. 2.1.

Напомним, что команда ИРП в серийной БЭСМ-4 осуществляет запоминание в оперативной памяти по третьему исполнительному адресу текущего состояния регистра приращений МОЗУ и ВЗУ и устанавливает их новые значения /3/.

Выполнение прерывания

Система прерывания в БЭСМ-4 ОИЯИ позволяет изменить состояние машины по сигналам от программы и от внешних сигналов. Прерывание всегда представляет собой запоминание текущего ССП в качестве старого ССП и выборку первой команды программы прерывания (ПП). Выполнение ПП обуславливает установку нового ССП. Если в конце программы прерывания имеется команда сделать старое ССП текущим, то восстанавливается состояние машины, предшествовавшее прерыванию, и прерванная программа продолжается.

Запоминание ССП при прерывании осуществляется стандартной командой засылки состояния машины в ячейку МОЗУ - команда Ма с условным числом "30". Формат команды приведен на рис. 2.2.

По A_2 исп. осуществляется безусловная передача управления. Номер МОЗУ указывается в 34, 35 разрядах команды. По A_3 исп. запоминается ССП в МОЗУ с номером, определяемым 31, 32 разрядами команды. Время выполнения команды - 52 мксек. Вызов команды запоминания ССП из ячейки памяти осуществляет схема прерывания (рис.3). Условиями для начала работы схемы являются:

1. Наличие сигнала прерывания (наличие причины).
2. Разрешение на прерывание по данной причине в регистре маски.
3. Отсутствие блокировок на прерывание.

КОМАНДА ИЗМЕНЕНИЯ РЕГИСТРОВ ПРИРАЩЕНИЯ (МАСКИ) - ИРП

45/44	43/42	37/36	35/34	33/32	31/30	29/28	27/26	25/24	23/22	21/20	19/18	17/16	15/14	13/12
П ₁ П ₂	КОП "57"	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁	ПР МБ ПР А ₂ ПР А ₁

КОМАНДА ЗАСЫЛКИ СОСТОЯНИЯ МАШИНЫ (ПРОГРАММ) - ЗСП

45/44	43/42	37/36	35/34	33/32	31/30	29/28	27/26	25/24	23/22	21/20	19/18	17/16	15/14	13/12
П ₁ П ₂ П ₃	КОП "50"	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁

КОМАНДА ВОЗВРАТА СОСТОЯНИЯ МАШИНЫ (ПРОГРАММЫ) - ВСП

45/44	43/42	37/36	35/34	33/32	31/30	29/28	27/26	25/24	23/22	21/20	19/18	17/16	15/14	13/12
П ₁ П ₂ П ₃	КОП "50"	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁	ПР А ₂ ПР А ₁

1
2
3

указаны в ИРП
состояния в ИРП
состояния в ИРП
состояния в ИРП

к 47
50

Рис. 2. Формат команд БЭСМ-4 для управления прерыванием.

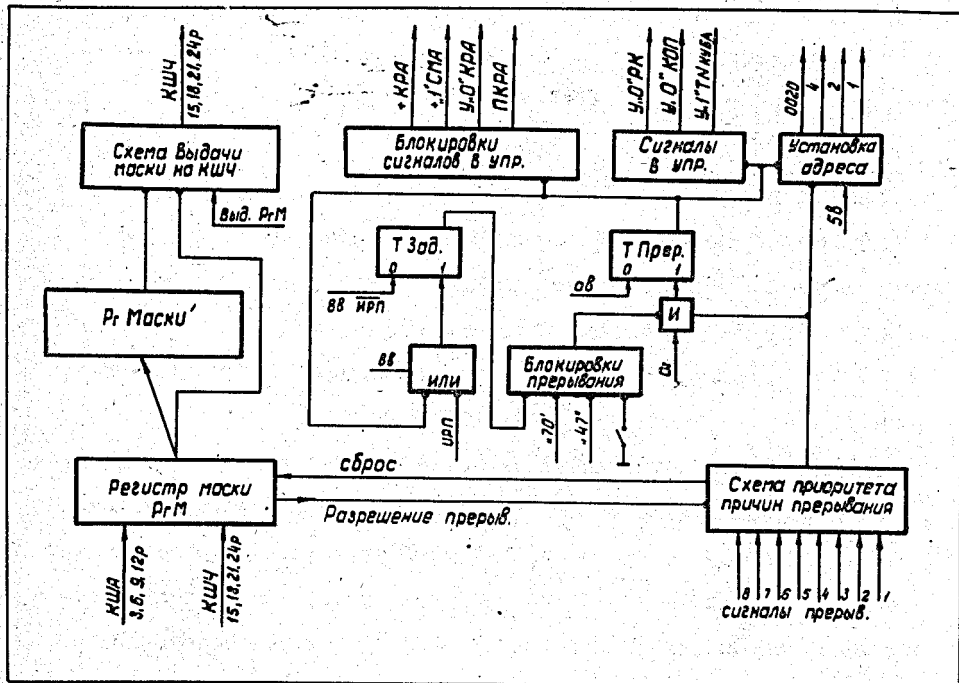


Рис. 3. Функциональная схема прерывания в БЭСМ-4 ОИЯИ.

Временная диаграмма входа в прерывание приведена на рис.4. Работа схемы начинается всегда после выполнения одной команды и перед началом выполнения другой.

По сигналу От стандартного цикла устройства управления устанавливается триггер прерывания (Т Прер.) в схеме прерывания. На потенциале "I" Т Прер. осуществляется сброс в ноль регистра команд (РЕ) и регистра коммутатора операций (КОП). В устройстве управления машины вместо очередной $1 + i^{ой}$ команды будет выполняться стандартная команда "Ноль-ноль", т.е.

000. 0000. 0000. 0000.

Эта команда не изменяет ССП за исключением регистра адреса команд (КРА). Для сохранения значения КРА потенциалом "I" Т Прер. осуществляется блокирование стандартных сигналов +КРА, +I СМА, У"0" КРА, ПКРА в устройстве управления БЭСМ-4.

По сигналу 5в на "I" Т Прер. устанавливается триггер номера блока памяти, и в сумматор адреса (СМА) заносится фиксированный для данной причины прерывания адрес. Обращение к памяти по этому адресу и выборка следующей за "ноль-ноль" команды осуществляется стандартным путем. В фиксированную ячейку заранее заносится команда запоминания слова состояния программы (ЗСП). Команда ЗСП осуществляет запоминание ССП в ячейке памяти, включая содержимое регистра маски, и передает управление на программу прерывания. В начале выполнения ЗСП по сигналу Ов сбрасывается триггер прерывания. Блокирование прерывания в начале выполнения ЗСП осуществляет триггер задержки прерывания (рис.3).

Восстановление состояния машины после выполнения программы прерывания осуществляется командой "Возврат состояния" - команда Ма с условным числом "34" (ВСП). Формат команды приведен на рис. 2.3.

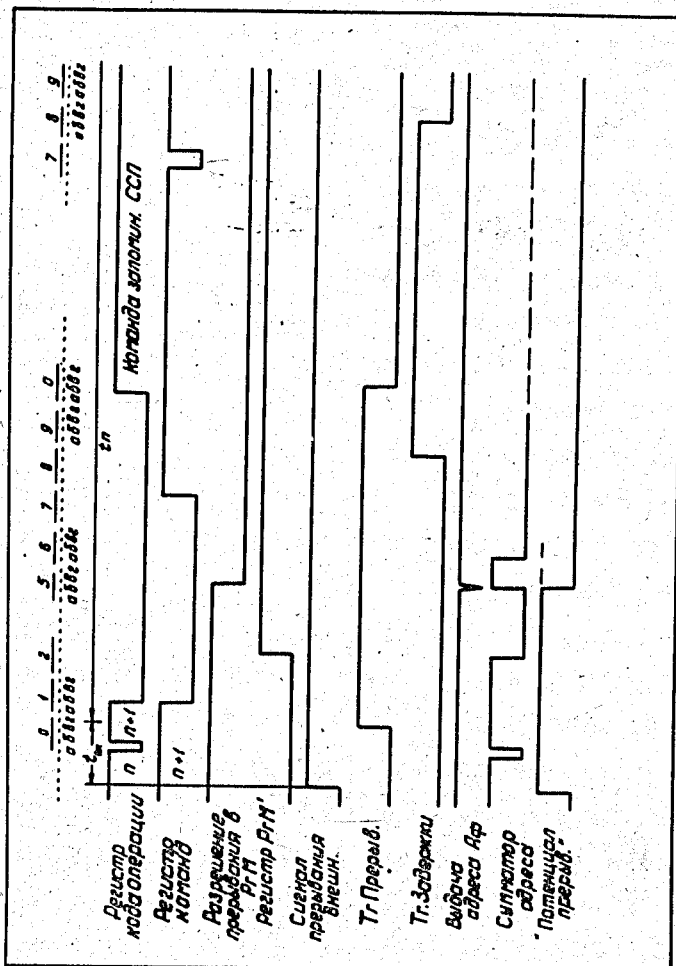


Рис. 4. Временная диаграмма входа в прерывание по одной причине.

По второму исполнительному адресу A_2 -исп. команды вызывает-ся слово состояния ССП и заносится на регистры управления в соответствии с форматом. Номер блока памяти для A_2 исп. указывается в 34, 35 разрядах команды, третий адрес не используется. Время выполнения ВСП - 52 мксек. Напомним, что команда возврата осуществляет передачу управления к ячейке памяти с адресом, находящимся в 13-24, 34, 35 разрядах ССП.

Блокировки прерывания

От кодов некоторых операций для устранения прерывания между парой команд, от специального триггера задержки прерывания и с пульта управления машины могут вырабатываться сигналы, блокирующие работу схемы прерывания.

Сигналы появляются в следующих случаях:

1. От кода операции "47" - вывод младших разрядов произведения, для устранения прерывания между командами "Умножение" и "Вывод младших разрядов произведения".

2. От кода команды "70" - исполнительной команды обращения к внешним ЗУ, для устранения прерывания между исполнительной и подготовительной командами.

3. От триггера задержки прерывания при выполнении команды ИРП, для устранения прерывания между ИРП и следующей командой. Данная блокировка обуславливается тем, что вызов следующей за ИРП команды производится по старому значению РП КРА.

4. От триггера задержки прерывания при выполнении команды "Ноль-ноль" при входе в прерывание. Данная блокировка устраняет прерывание между командой "Ноль-ноль" и командой ЗСП.

5. Для устранения повторного прерывания после выполнения команды запоминания ССП, соответствующий разряд в регистре маски

бросывается в ноль по сигналу 5в на потенциале "Г" Т Прер.
Для сохранения "старого" значения PгМ ко времени выполнения
команды ЗСП содержимое регистра по сигналу 2в на "Г" Т Прер.
передается на дополнительный регистр PгМ'.

6. По желанию оператора блокирование схемы прерывания
осуществляется тумблером "Бл. Прер." с пульта управления.

Причины прерывания

Схема прерывания рис. 3 содержит восемь линий для сигналов
прерывания. Причины прерывания различаются по ячейкам памяти, в
которые записываются команды запоминания ССП.

авост, стандарт, дем. устр.

— 1 линия - ячейка I0020	} <i>внутренние прерывания</i>
— 2 линия - ячейка I0021	
3 линия - ячейка I0022	
4 линия - ячейка I0023	
5 линия - ячейка I0024	
6 линия - ячейка I0025	
7 линия - ячейка I0026	
8 линия - ячейка I0027	

Имеется два вида прерываний:

- внутренние прерывания от программы^{*)}
- внешние прерывания от физической аппаратуры и линий связи.

Внутренние прерывания занимают 1 и 2 линии. Все команды,
вызывающие останов центрального управления машины, объединены
в одну причину прерывания. Это команды, вызывающие "Авост АУ",
"Авост ВЗУ", команды "77" и "35". Линия прерывания - 1, фикси-
рованная ячейка I0020.

^{*)} Внутренние прерывания реализованы на машинах БЭСМ-4 ЛВЭ
и БЭСМ-4 ЛНФ.

Команды обращения к внешним устройствам (режимы Пч 8, Пч 10, АЦПУ, ПФ, РЛ, Л, Б)^{/3/} также объединены в одну причину. Линия для сигнала-2, фиксированная ячейка 10021.

Внешние прерывания занимают линии 3-8. В настоящее время нет однозначного соответствия устройств и линий прерывания, используемых этими устройствами. В приложении I показывается использование схемы прерывания аппаратурой и приборами, работающими совместно с БЭСМ-4.

Приоритет прерываний

Во время выполнения команды в ЭВМ может возникнуть несколько запросов на прерывание на линиях 1-8 (рис.3). Одновременные запросы на прерывание рассматриваются в установленном порядке, называемом правилом приоритета. Электрическая схема приоритетов прерываний приведена на рис.5.

Работа схемы прерывания при обслуживании одной причины заключается в том, что осуществляется вход в прерывание через цикл "ноль-ноль", запоминание текущего ССП и выборка первой команды программы прерывания. Схема приоритетов вырабатывает в этом случае "потенциал прерывания" для данной причины, который исчезает после сброса триггера регистра маски в цикле "ноль-ноль" (рис.4). А при наличии нескольких причин прерывания "потенциал прерывания" будет сохраняться до тех пор, пока не будут обслужены все запросы прерывания. В этом случае вначале произойдет вход в прерывание, запоминание текущего ССП и выборка первой команды программы прерывания, имеющей высший аппаратный приоритет. Затем без выполнения первой команды ПП осуществляется следующий вход в прерывание, запоминание ССП, в котором изменился адрес команды, и выборка первой команды программы прерывания

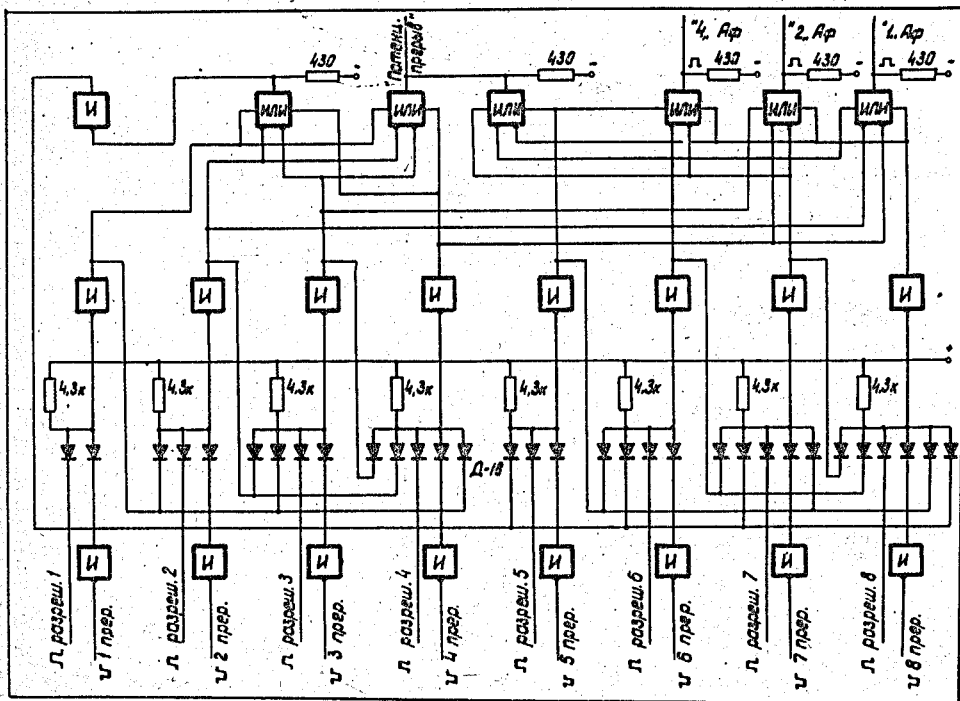


Рис. 5. Схема приоритетов.

по следующей причине и т.д., пока не будут рассмотрены все имеющиеся сигналы прерывания. Коммутация адресов фиксированных ячеек памяти для выборки команд ЭСП осуществляется схемой приоритетов.

Выполнение программ прерывания ПП производится в порядке, обратном тому, в котором выполнялись вход в прерывание, запоминание ССП и выборка команд. Первой будет выполняться программа с низшим аппаратным приоритетом. Сигнал прерывания, поступивший после того, как уже выполнено несколько прерываний, рассматривается в соответствии с его приоритетом.

Отметим, что правило приоритетов может до некоторой степени изменяться программным управлением разрешениями на прерывание.

Временная оценка режима прерывания

Описанная система прерывания программ определяет время переключения с одной программы на другую. Время от момента появления внешнего сигнала прерывания до начала выполнения первой команды программы ПП - время входа в прерывание - $t_{\text{вх. прер.}}$, складывается из времени окончания π Q_{II} команды (время ожидания), времени выполнения команд "ноль-ноль" и ЭСП (рис. 4).

$$t_{\text{вх. прер.}} = t_{\text{ож.}} + t_{\text{"00"}} + t_{\text{ЭСП}}$$

Время выполнения команды "ноль-ноль" - 40 мксек, команды запоминания состояния - 52 мксек. Таким образом, имеем

$$t_{\text{вх. прер.}} = t_{\text{ож.}} + 92 \text{ мксек.}$$

Время ожидания - величина, зависящая от момента появления сигнала прерывания по отношению к моменту окончания текущей команды. И если эта команда есть обращение к магнитной ленте либо печать результатов, то время ожидания может составить единицы секунд. Это является недостатком данной системы прерывания.

Время выхода из программы прерывания определяется временем выполнения команды восстановления состояния программы,

$$t_{\text{вых.}} = 52 \text{ мксек.}$$

Проверка прерывания

Для наладки и проверки схемы прерывания на БЭСМ-4 ОИЯИ составлен тест проверки. Программа теста в машинном коде приведена в приложении 2.

Тест проверки прерывания используется совместно с программой так называемого "объединенного теста" (ОТ). Тест ОТ проверяет арифметику и устройство управления машины и, в свою очередь, состоит из нескольких тестов, автоматически выполняемых друг за другом.

Перед вводом программы проверки прерывания и ОТ, на линиях I-8 схемы прерывания включением соответствующих тумблеров на панели управления имитируются сигналы прерывания. Работа схемы прерывания блокируется тумблером "Бл. прер."

Ввод программы теста прерывания осуществляется кнопкой "Ввод" в блок памяти с номером "0". В начале работы программы производится перепись рабочей части теста в блок памяти "I", ввод теста ОТ и передача управления на начало работы.

Включением тумблера "Бл. прер." разрешается прерывание на программе ОТ. Программа прерывания ПП (ячейки I0033 - I0051), соответствующая фиксированной ячейке I0027, включает в себя печать номера теста в ОТ, на котором произошло прерывание, печать слова состояния программы (ячейка I0I20), печать поля ячеек I0020 - I0032 для контроля и команду восстановления состояния. После выполнения этой программы восстанавливается состояние машины и продолжается работа объединенного теста.

Некоторые выводы

1. Организация данной системы прерывания достаточно проста и вместе с тем позволяет организовать работу БЭСМ-4 в режиме разделения времени (*time-sharing*).

Схемы прерывания были реализованы на четырех машинах БЭСМ-4 ОИЯИ в конце 1968, в 1969 г.г. В настоящее время система прерывания программ используется:

- в программе управления и обработки для сканирующего автомата на электроннолучевой трубке /4/;

- в программе управления системой измерительных полуавтоматов ПУОС, работающих с БЭСМ-4 /5/;

- в системе программного обеспечения электронных экспериментов на ускорителях ЛВЭ и ИФВЭ /6,7/;

- в программах накопления физической информации в спектрметрическом измерительном центре лаборатории нейтронной физики.

2. По сравнению с режимом прерывания /2/ данная система имеет вдвое большую скорость переключения программ и четыре причины прерывания с программно-управляемым разрешением (регистром маски).

3. Наличие времени ожидания прерывания в некоторой степени компенсируется тем, что в устройствах, работающих совместно с машиной, сигнал запроса прерывания вырабатывается за некоторое время до начала поступления информации. Тем самым устраняются возможные потери информации.

4. Достаточно быстро и с небольшими материальными затратами была решена проблема организации прерывания программ на нескольких машинах БЭСМ-4 измерительно-вычислительного комплекса ОИЯИ. Объем доработок в одной машине составляет 40 стандартных элементов БЭСМ-4. Эксплуатация машин в течение 1969 года показала надежную работу схем.

В заключение авторы благодарят Н.Н.Говоруна, Г.И.Забиякина, В.И.Семашко за постоянный интерес и внимание к работе, А.П.Кретова, Ю.В.Тутышкина, А.И.Барановского, В.А.Владимирова за помощь в наладке системы.

П Р И Л О Ж Е Н И Е I

Применение системы прерывания на машинах БЭСМ-4 в ОИЯИ

Линии прерывания и приоритет	Фиксир. ячейки памяти	БЭСМ-4 ЛВТА	БЭСМ-4 ЛВЭ	БЭСМ-4 ЛНФ	БЭСМ-4 СНЭО
I	I0020	-	Внутр. прерывание	Внутр. прерывание	-
2	I0021	-	Внутр. прерывание	Внутр. прерывание	-
3	I0022	-	-	-	-
4	I0023	-	Линия связи с эксперим.	Линия связи с аппаратурой ИЦ	-
5	I0024	-	-	-	Магнитофон CDC-608
6	I0025	-	-	-	Осциллограф ОСК
7	I0026	Сканирующий автомат на ЭИТ. Система ПУОС.	-	-	Линия связи с экспериментом
8	I0027	-	-	-	Линия связи с экспериментом

Управление разрешением на прерывание командой "57" - ИРП осуществляется на машинах в ЛВЭ и ЛНФ для линий прерывания I-4, на машинах ЛВТА и СНЭО - для линий 5-8.

П Р И Л О Ж Е Н И Е 2

Программа теста проверки прерывания (дополнение к объединенному тесту проверки БЭСМ-4)

0001	052 0000 0000 0000	
2	057 1700 0001 0000	
3	500 0020 0000 0020	
4	112 0040 0003 0001	
5	057 1706 4444 0000	Разрешение прерывания по линиям 5-8
6	010 0001 0010 0000	Ввод теста ОТ
7	056 0000 3737 0000	Уход на начало ОТ
0010	077 0000 0000 0000	
0011-0017	0000 0000 0000	
0020	077 0000 0000 0000	
21	077 0000 0000 0000	
22	077 0000 0000 0000	
23	077 0000 0000 0000	
24	050 1130 0030 0120	Запоминание состояния
25	050 1130 0031 0121	
26	050 1130 0032 0122	
27	050 1130 0033 0123	
0030	077 0024 0000 0000	ПП ₅
31	077 0025 0000 0000	ПП ₆
32	077 0026 0000 0000	ПП ₇
33	000 0000 0000 0000	Начало ПП ₈
34	052 0000 7777 0000	

0035	054 0177 0000 0000	}	Задержка на отключение тумблера "Бл. прер."
36	054 0177 0000 0000		
37	000 0000 0000 0000		
0040	132 0001 0035 7777		
41	050 2500 0000 3773	}	Печать номера теста в ОТ
42	070 3773 0000 0000		
43	057 1700 1111 0124		
44	050 2500 0000 0124		Печать ССП
0045	070 0120 0000 0000		
46	050 2500 0000 0032		
47	070 0020 0000 0000		
50	000 0000 0000 0000		
51	050 1034 0120 0000		Восстановление состояния

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.К., Морозов А.А. Реализация прерывания программы в универсальных ЭЦВМ. "Автоматика и приборостроение". УССР, ИТИ, 1965, № 3.
2. Городничев Е.Д. и др. Режим прерывания, вывод, ввод данных физических измерений в ЭВМ БЭСМ-3М. В кн. "Симпозиум по радиоэлектронике, 4-й. Прага. Октябрь 1966. Прага, 1967, с. 151-167".
3. Ляшенко В.Ф. Программирование для цифровых вычислительных машин М-20, БЭСМ-3М, БЭСМ-4, М-220. "Советское радио". Москва, 1967.
4. Борисовский В.Ф. и др. Сканирующий автомат на электронно-лучевой трубке. Дубна, 1967. ДАН СССР, 1969, т. 185, № 2, с. 306-308.
5. Бондаренко В.Н. и др. Применение электронных вычислительных машин для управления работой операторов в полуавтоматических системах измерения фильмовой информации. Препринт ОИЯИ, IO-3426, Дубна, 1967.
6. Говорун Н.Н., Иванченко И.М. К вопросу об использовании ЭВМ типа БЭСМ-3М, БЭСМ-4 в реальном масштабе времени эксперимента с применением искровых камер. Препринт ОИЯИ, P10-3652, Дубна, 1967.
7. Воробьев Г.Г. и др. Препринт ОИЯИ, P1-4445, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 октября 1969 г.