

7943

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



7943

Экз. чит. зала
II - 7943

В.М.Котов, М.Понятовский

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ
СПИРАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

11 - 7943

В.М.Котов, М.Понятовский

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ
СПИРАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

В В Е Д Е Н И Е

Характер работы управляющих ЭВМ в системах автоматизируемого управления имеет, по сравнению с работой универсальных ЭВМ, ряд принципиальных отличий, основные из которых заключаются в том, что: во-первых, решение задач на управляющих ЭВМ производится в реальном масштабе времени с одновременным обменом информацией, получаемой от большого количества внешних устройств, и во-вторых, к управляющей ЭВМ предъявляются более высокие требования по надежности и программной устойчивости к сбоям в аппаратуре, т.к. остановка машины или получение неверных результатов ведет, как правило, к остановке всего процесса управления.

Сканирующая система "Спиральный измеритель" разработана на базе управляющей ЭВМ, близкой к универсальным, которая широко применяется в различных областях научных исследований и хорошо освоена промышленностью. Стремление к максимальному использованию ресурсов ЭВМ в этом случае потребовало разработки развитой операционной системы программного обеспечения.

Обмен информацией с внешними объектами

Управляющая ЭВМ, входящая в состав современных сканирующих систем, должна обладать как программным способом передачи информации, так и внепрограммным, т.е. каналом непосредственного доступа в память. Последний способ обычно позволяет работать также в режиме "Увеличения памяти", при котором содержимое фиксированной ячейки памяти увеличивается на единицу в ответ на каждый запрос от внешнего устройства.

Программный обмен является наиболее гибким способом передачи информации и используется в спиральном измерителе как без прерывания вычислений, так и с помощью вклинивающихся программ с прерыванием вычислений. Программный обмен без прерывания вычислений применяется для передачи в ЭВМ содержимого статусных регистров СИ с целью проверки состояния отдельных электронных устройств во время выполнения функциональных алгоритмов, а также для занесения информации из ЭВМ при различного рода тестовых проверках. Устройства, обмен информацией с которыми производится таким способом, имеют достаточно большое допустимое время ожидания. Весь процесс обмена информацией в этом случае полностью синхронизирован с тактовой частотой ЭВМ и осуществляется при помощи команд ввода-вывода (код такой команды для управляющей ЭВМ СИ равен 6) по одному или двум импульсам ввода-вывода (ИВВ), генерируемых в ЭВМ во время выполнения этой команды.

Обычно в этом режиме передаётся одно или несколько слов и максимальная скорость обмена определяется временем выполнения команды ввода-вывода (4,75 мксек для передачи одного 12-разрядного слова управляющей ЭВМ). Однако цикл повторения обмена может достигать нескольких десятков мсек, потому что этот режим не имеет обратной связи от сигналов готовности внешних устройств к передаче данных, а уменьшение периода опроса ведёт к большим непроизводительным тратам времени процессора ЭВМ.

Более широко применяется в СИ передача информации при помощи вклинивающихся программ с использованием прерывания вычислений. Этот способ позволяет вести обмен информацией с внешними устройствами, требующими малого времени ожидания в обслуживании, а также с пультами управления и связи. Режим передачи может быть периодическим, если сигнал прерывания выставляется часами реального времени и затем по вклинивающейся программе производится обмен данными, или асинхронным - по сигналам прерывания от внешних электронных устройств, работающих независимо друг от друга. Инициатива обмена информацией с прерыванием вычислений принадлежит внешним устройствам и позволяет исключить непроизводительные затраты времени процессора ЭВМ на поиск и опрос электронных устройств СИ, которые не готовы или не могут быть использованы в данный момент времени для обмена информацией.

Обмен информацией в реальном масштабе времени потребовал введения в состав электронной аппаратуры СИ устройства, называемого "часами реального времени", с помощью которого квантуется и учитывается реальное время в системе. Кроме того, для мультипрограммной работы по управлению движением требуется определённая пери-

одичность по контролю и вычислению некоторых параметров режима управления. Поэтому в состав операционной системы включена программа, при помощи которой выполняется обслуживание прерываний по сигналам часов реального времени и производится запись заявок на выполнение периодических подпрограмм.

Электронные устройства СИ, нормальное функционирование которых в значительной степени определяется учётом реального времени, имеют в составе своих контроллеров собственные счётчики реального времени и один из разрядов статусных регистров этих контроллеров служит для маскирования запросов на прерывание по часам реального времени. Дисциплина обслуживания прерываний такого типа будет подробно описана в дальнейшем в отдельных работах. Но в состав комплекса СИ входит также общая аппаратура счётчика реального времени и программное обеспечение его работы, которое используется в основном для контроля за длительностью выполнения исполнительными механизмами некоторых команд управления и введения в программы временных задержек.

Прерывание вычислений позволяет при правильном выборе дисциплины обслуживания прерываний не только максимально использовать в процессе управления мощность ЭВМ, но и значительно повысить надёжность системы СИ при появлении ошибок в вычислениях и сбоях аппаратуры. Можно утверждать, что степень реализации как в аппаратурном, так и в программном отношениях возможностей прерывания (эффективность здесь пропорциональна частоте вызова прерываний, но при сохранении среднего времени ожидания заявки на обслуживание) определяет качество системы управления и полноту использования мощности ЭВМ как элемента с "переменной логикой".

В управляющей ЭВМ СИ сигнал прерывания, поступивший от какого-нибудь внешнего устройства, вызывает остановку вычислений и содержимое счётчика команд аппаратурно запоминается в ячейке по нулевому адресу, который используется затем для возврата к вычислениям после обслуживания прерываний. Запоминание содержимого сумматора, а также последующее восстановление его, разрешение прерывания и возврат к основной программе осуществляется программным способом и для выполнения этих операций требуется около 50 мксек времени процессора. Если вклинивающая программа работает с автоиндексными регистрами, то для запоминания и восстановления содержимого каждого регистра программным образом требуется ещё 16 мксек. Это время относится к непроизводительным затратам и при достаточно большой частоте вызова прерываний может достигать 5%—10% от общего времени процессора. В связи с этим, для электронных устройств СИ, требующих часто повторяющейся процедуры обмена информацией с оперативной памятью ЭВМ, применяется внепрограммный обмен, по которому, в ответ на запрос внешнего устройства, вычисления останавливаются сразу после выполнения процессором текущей команды и начинается передача информации от внешнего устройства непосредственно в оперативную память, без использования основных регистров ЭВМ. В этом случае исключаются все операции по запоминанию и последующему восстановлению содержимого этих регистров, а при снятии внешним устройством запроса на передачу данных, вычисления просто продолжают с того места, на котором была произведена остановка программы.

Кроме того, внепрограммный обмен информацией является также наиболее быстрым способом передачи и поэтому широко используется

в СИ для приёма больших массивов данных, получаемых в процессе сканирования камерных снимков. Синхронизация и временное согласование работы процессора и внешних устройств СИ осуществляется мультиплексорными каналами связи с ЭМ, разработанными применительно к данной сканирующей системе /1,2/.

Накопление информации в реальном масштабе времени

В комплексе СИ режим увеличения содержимого фиксированной ячейки памяти (в дальнейшем этот режим будем называть для краткости "Увеличение памяти") представляет собой разновидность внепрограммного обмена информацией и применяется для приёма и накопления данных с отсчётных устройств непосредственно в оперативной памяти. Это позволяет исключить из состава электронной аппаратуры двоичные счётчики для определения положения кареток измерительных устройств СИ. Выходные импульсы напряжения, получаемые в преобразователях перемещения, в этом случае используются как сигналы запроса прямого доступа и через мультиплексорный канал поступают непосредственно в ЭМ, в которой при помощи режима "Увеличение памяти" осуществляется суммирование выходных сигналов датчиков перемещений в фиксированной ячейке памяти. Таким образом, двоичный счётчик положения помещается фактически внутрь оперативной памяти ЭМ и представляет собой обычную ячейку этой памяти, доступ к которой для программы управления, а также все операции по обработке её содержимого, значительно упрощаются.

Небольшая длина слова (12 разрядов) управляющей ЭМ СИ не позволяет разместить в одной ячейке памяти полное значение коор-

динаты положения измерительных устройств СИ. Поэтому 12 младших разрядов счётчика положения размещаются в ячейке, работающей в режиме прямого доступа, по сигналу переполнения которой, сформированному аппаратурно в мультиплексоре прямого доступа в память, выставляется запрос на прерывание. По вклинивающейся программе обслуживания этого прерывания добавляется единица к содержимому другой ячейки оперативной памяти, имеющей адрес на единицу больше, которая является фактически продолжением счётчика положения и служит для регистрации старших разрядов.

Функциональная схема формирования полноразрядного значения координаты положения измерительных кареток представлена на рис.1, а на рис.2 приведена блок-схема программы обслуживания запроса прерывания по переполнению младших разрядов.

В процессе измерения снимков измерительный стол ХУ перемещается по двум направлениям, поэтому счётчики положения для отсчёта координат ХУ должны быть реверсивными и должны обеспечивать как суммирование, так и вычитание сигналов от датчиков перемещения в зависимости от направления движения кареток измерительного стола. В связи с тем, что режим "Увеличение памяти" позволяет осуществлять только прибавление единицы к содержимому данной ячейки оперативной памяти, для обеспечения режима работы, аналогичного режиму реверсивного счётчика, аппаратурно формируется запрос прерывания по каждому изменению знака перемещения стола. По программе обслуживания этого запроса прерывания (см. рис.3) содержимое обеих ячеек оперативной памяти, представляющих собой полное значение координаты положения, переводится в обратный код, что делает операцию по добавлению единицы в режиме "Увеличение памяти" равнозначной вычитанию.

Следующей массовой операцией по накоплению информации в реальном масштабе времени, которая также производится в сканирующей системе СИ, является приём в оперативную память данных, получаемых в процессе сканирования. Объём и скорость поступления этих данных не позволяет использовать режим "Увеличения памяти" для накопления и формирования в оперативной памяти текущих координат положения сканирующей щели. Поэтому в состав электронной аппаратуры отсчётного канала, предназначенного для получения и обработки трековых сигналов, включены двоичные счётчики для отсчёта значений полярных координат R, θ , передача которых в момент пересечения изображением сканирующей щели следа события на снимке, осуществляется в одноцикловом режиме прямого доступа в оперативную память / 2 /. Количество отсчётов полярных координат таких точек составляет около 2000 для проекции одного события, что соответствует 6000 слов управляющей ЭМ, т.к. для размещения координат одной точки следа необходимо три слова. / 4 /

Такой объём получаемой информации не может быть полностью размещён в оперативной памяти ЭМ и поэтому во время сканирования одновременно с приёмом данных измерения производится передача их для записи на магнитную ленту.

Для того, чтобы избежать потерь информации в процессе её накопления, работа управляющей ЭМ осуществляется в режиме разделения времени с использованием динамической буферизации. Обеспечение такого режима потребовало, во-первых, введения приоритетов в обслуживании заявок на внепрограммную передачу информации в ЭМ, и, во-вторых, выделения в оперативной памяти буферных массивов

определённой размерности и перераспределение поступающих в ЭМ потоков информации.

Приоритет в обслуживании заявок на внепрограммную передачу для отсчётного канала и контроллера магнитофонов обеспечивается аппаратно в мультиплексоре прямого доступа в память / 2 /. Для организации динамического перераспределения памяти используется программное прерывание и обслуживание заявок по вклинивающимся подпрограммам. Дисциплина обслуживания в этом режиме определяется тем, что в оперативной памяти выделяется два массива одинаковой размерности, один из которых служит в данный момент времени только для записи входных данных, поступающих из отсчётного канала, а второй — для передачи накопленных ранее данных и записи их на магнитную ленту. Размерность массивов должна быть выбрана такой, чтобы к моменту заполнения входными данными первого, второй массив был свободен.

После соответствующих проверок массивы переключаются и цикл повторяется вновь и так до конца сканирования. Весь процесс передачи данных осуществляется внепрограммным способом по каналу прямого доступа в оперативную память. Блок-схема программ управления динамической буферизацией приведена на рис. 4, 5.

Необходимость в буферизации обмена определяется тем, что скорость поступления входных данных из отсчётного канала имеет статистический характер и импульсное значение скорости значительно превышает максимальную скорость записи данных на магнитную ленту.

В то же время средняя скорость поступления данных сканирования значительно меньше скорости записи на магнитную ленту, что является принципиально необходимым для реализации режима динамической

ческой буферизации. Количественные оценки размерности буферных массивов могут быть получены из следующих рассуждений.

Максимальный объём данных получается в процессе сканирования калибровочной пластины и составляет 12 тыс. слов управляющей ЭМ. Время сканирования 4 секунды, что определяет величину средней скорости поступления входных данных из отсчётного канала, равной 3000 слов в секунду. Параметры управляющей ЭМ СИ позволяют производить запись на магнитную ленту магнитофонов ЕС 5012Р с плотностью 22 символа/мм, поэтому при скорости движения ленты 2 м/сек обеспечивается запись информации со скоростью около 20 тыс. двенадцатиразрядных слов в секунду. Видно, что полученные величины скоростей удовлетворяют требованиям динамической буферизации.

Размерность буферных массивов определяется, исходя из требований на разравнивание импульсной скорости поступления входных данных. Величина этой скорости определяется из разрешающей способности отсчётного канала и максимальной скорости движения изображения сканирующего элемента в плоскости плёнки.

Для максимального радиуса спирали 55 мм и угловой скорости вращения перископа 600 об/мин – скорость движения изображения сканирующей щели в плоскости плёнки составляет 3 мк/мксек. Если принять, что два следа события, отстоящие на 30 мкм друг от друга в плоскости плёнки, должны регистрироваться как два отдельных отсчёта, то значения полярных координат, относящихся к точкам первого следа, должны быть переданы в ЭМ в течение примерно 10 мксек, что соответствует скорости поступления данных около 300 тыс. двенадцатиразрядных слов ЭМ в секунду. (Одноцикловый

режим прямого доступа в оперативную память позволяет производить запись со скоростью 500 тыс. двенадцатиразрядных слов). Но средняя скорость поступления данных за время одного витка спирали остаётся величиной постоянной. Это заведомо выполняется для максимального радиуса развёртки, т.к. время движения изображения сканирующей щели по снимку и получение отсчётов составляет только 20% от общей длительности одного оборота перископа, а в течение остального времени изображение щели выходит за пределы снимка и получение отсчётов прекращается.

За один виток спирали снимается около 50 отсчётов, для передачи которых в оперативную память требуется $10 \cdot 50 = 500$ мксек, а время, необходимое для записи в трёхцикловом режиме по каналу прямой передачи $T = 10$ мксек этих данных на магнитную ленту не превышает $50 \cdot 10 \cdot 3 = 1500$ мксек, что в сумме составляет около 2 мсек, т.е. 2% от общей длительности одного витка спирали, равного 100 мсек. Поэтому с точки зрения разравнивающей способности достаточно выделить в оперативной памяти буферный массив с размером, меньшим, чем 256 слов управляющей ЭМ. Однако для того, чтобы потери магнитной ленты, связанные с временем разгона и торможения не превышали 50%, надо иметь, при плотности записи 22 символов/мм и скорости движения магнитной ленты 2 м/сек, длину зоны в 400–500 символов, что соответствует размеру массива в 256 слов управляющей ЭМ.

Если требования на разравнивание скорости поступления данных из отсчётного канала выполняется, то введение динамической буферизации обмена позволяет рассматривать накопление данных и запись их на магнитную ленту как синхронный процесс, фазы которого сог-

ласованы, а значит полностью реализовано быстроедействие управляющей ЭВМ и увеличена пропускная способность канала передачи: отсчётный канал - ЭВМ - магнитофон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В общем случае процесс поступления заявок от электронных устройств СИ не может считаться полностью детерминированным и интервалы времени между заявками являются случайными величинами. Это приводит к задержкам в передаче информации, а, следовательно, к неизбежным потерям её, и поэтому управляющая ЭВМ может рассматриваться как система массового обслуживания с несколькими потоками заявок.

Повышение эффективности использования ЭВМ в этом случае достигается введением приоритетной диспетчеризации обслуживания заявок от электронных устройств. Несмотря на то, что выбор дисциплины обслуживания определяет только порядок включения заявок в работу, т.е. последовательность выполнения тех или иных подпрограмм, и потому при отсутствии потерь заявок не может изменить уровень суммарной загрузки ЭВМ, этого оказывается достаточно для сокращения времени задержки информации в ЭВМ.

Разработанная операционная система для спирального измерителя /5/ и созданные мультиплексоры для каналов программного обмена и прямого доступа в оперативную память позволили максимально использовать ресурсы управляющей ЭВМ спирального измерителя, вычислительная мощность которой значительно меньше, чем у ЭВМ, применяемой в аналогичных установках, разработанных в Беркли /6/ (США) и ЦЕРНе /7/.

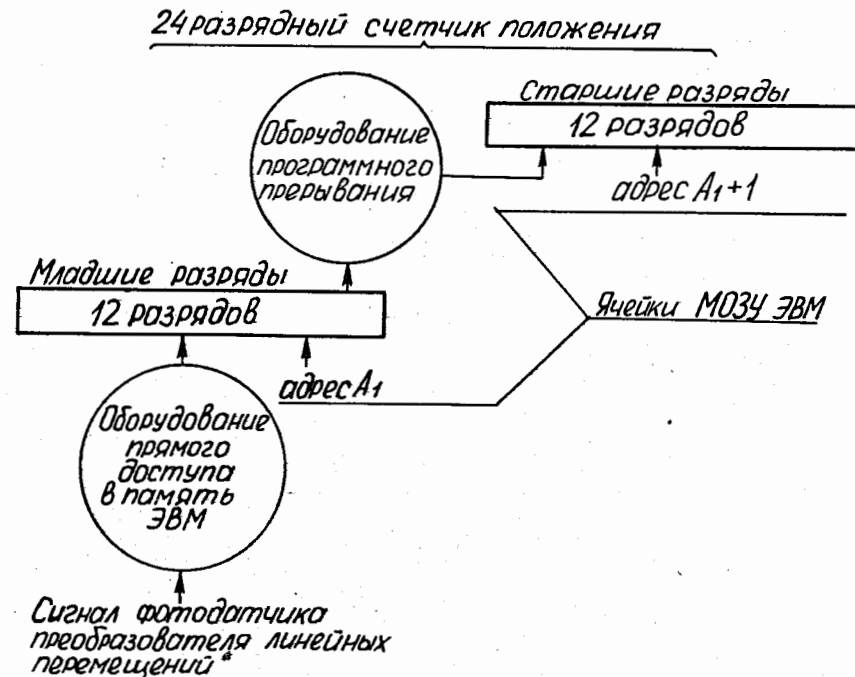


Рис. 1

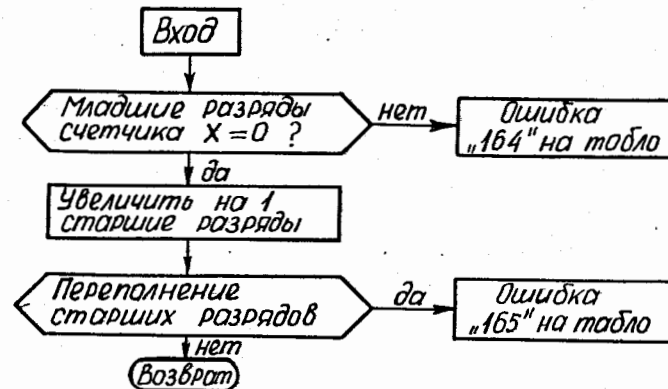


Рис. 2 Обслуживание прерывания по переполнению сч-ка X (XOWF)

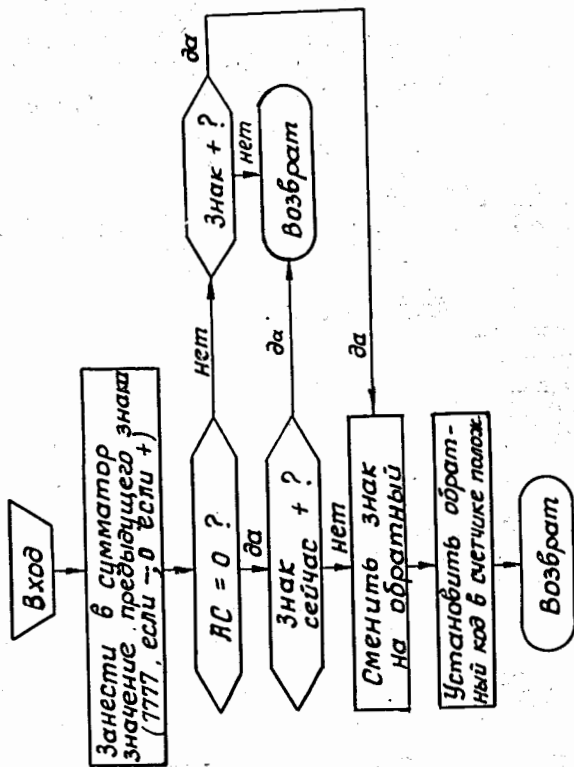


Рис.3 Обслуживание прерывания по реверсу (XREIS, YREIS)

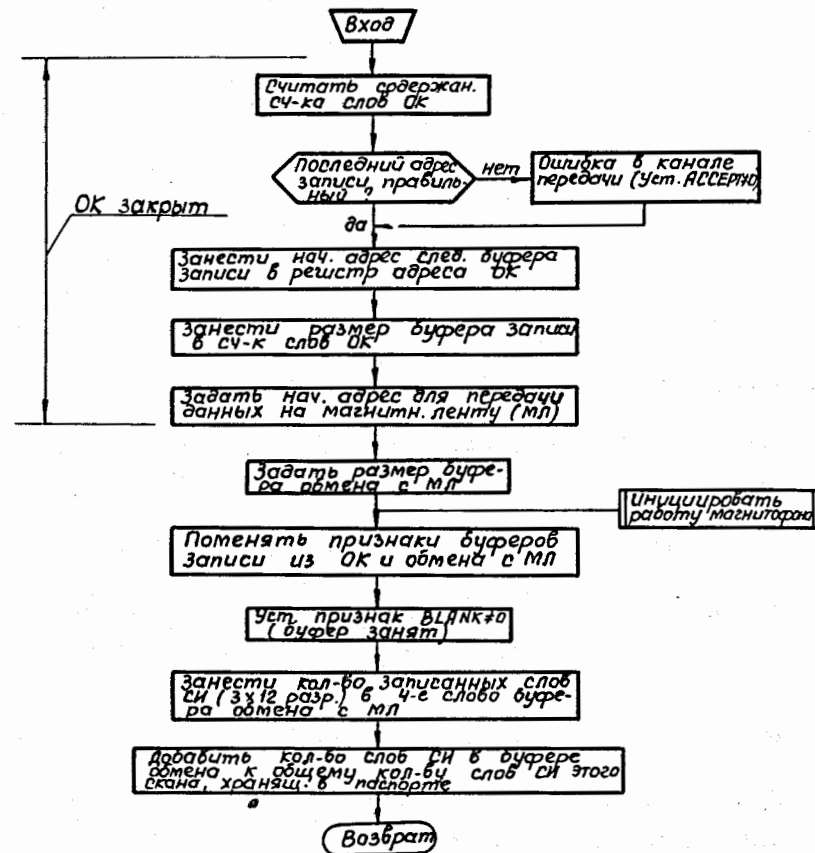


Рис.4 Блок-схема прогр. обслуж. прерывания, если сч-к слов ОК=0

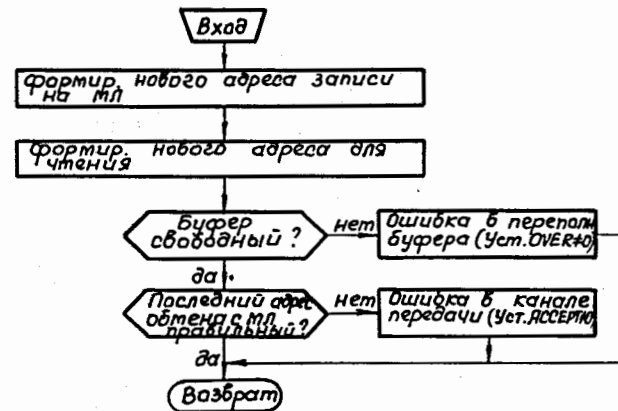


Рис.5 Блок-схема прогр. обслуж. прерывания, если сч-к слов ОК=15

ЛИТЕРАТУРА

1. Котов В.М., Эсенски Й. Сообщение ОИЯИ, II-7944, Дубна, 1974 г.
2. Котов В.М., Понятовский М. Сообщение ОИЯИ, II-7942, Дубна, 1974 г.
3. Котов В.М. и др. Препринт ОИЯИ, IO-7939, Дубна, 1974 г.
4. Беляев А.В. и др. Сообщение ОИЯИ IO-5574, Дубна, 1973 г.
5. Котов В.М. Препринт ОИЯИ, II-794I, Дубна, 1974 г.
6. Butler G.V., UCID-2848, 1966, Berkeley.
7. J.C.Gouache and J.Trembley. The LSD Project.
CERN /D. Ph. II/ INSTR. 6B-2, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1974 года.