

94-166.



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-94-166

В.А.Калинников

СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ  
С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР  
В СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ  
ЭКСПЕРИМЕНТАХ

1994

## Введение

Современная экспериментальная установка состоит из ряда регистрирующих подсистем для различных типов детекторов, сопрягаемых между собой на уровне общих сигналов управления и сбора информации. При большом разнообразии типов детекторов все системы сбора данных по организации считывания можно разделить на два класса (рис. 1): системы считывания с дискретным представлением входной информации, где после входного усилителя используется пороговая электроника, а информация об амплитуде теряется; системы считывания с аналоговым представлением информации, в которых производится амплитудный анализ входных сигналов для определения пространственных или временных координат трека частиц.

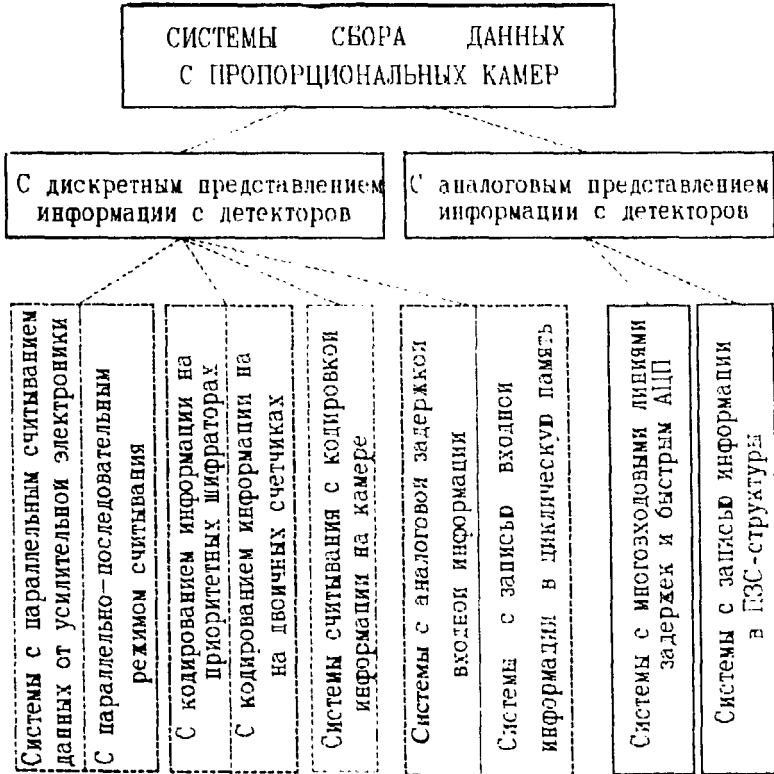


Рис. 1. Системы сбора данных с пропорциональных камер в современных физических установках

Дискретный съём информации отличается от аналогового значительной простотой и удобством обработки, поэтому системы сбора данных с дискретным представлением информации о координатах заряженных частиц нашли широкое применение в экспериментальной физике. В настоящее время созданы установки на сотни тысяч каналов регистрации / 1,2 /. Однако системы сбора в этих установках могут иметь принципиальные отличия ( рис. 1): в организации приёма и передачи информации с детекторов (это системы с параллельным или параллельно-последовательным режимом считывания сигналов от усилительной электроники); по методам кодирования ( системы с преобразованием входной информации на двоичных счетчиках и системы с кодированием на быстрых приоритетных шифраторах); по типу временной задержки ( системы с аналоговой задержкой входной информации и системы с записью информации в циклическую память). Кроме того, на отдельных установках применяется кодирование информации непосредственно на пропорциональных камерах / 3,4 / .

С возрастанием требований на точность регистрации частиц для систем с дискретным представлением информации возникли непреодолимые трудности, которые связаны с предельным шагом координатного детектора / 2,5 /. Помимо этого, повышение точности регистрации приводит к значительному возрастанию количества каналов на единицу измеряемой координаты / 2 /. В последние годы с открытием и исследованием короткоживущих частиц ( $\tau < 5 \times 10^{-13}$  с ), содержащих тяжелые кварки, актуальность этой задачи значительно возросла. Регистрация таких частиц по продуктам распада требует резкого увеличения точности определения координат. В связи с этим были разработаны новые методы регистрации частиц с аналоговым представлением входной информации и вычислением координат по центру тяжести распределения заряда, что позволило получить высокую точность измерения / 2,6,7/. В настоящее время создано несколько систем считывания информации, в которых входные аналоговые сигналы запоминаются на приборах с зарядовой связью (ПЗС) / 9-11 /. Однако аналоговые системы сбора имеют существенные недостатки: сложность электро-

ники считывания и обработки информации; необходимость обеспечения высокой стабильности параметров / 5,8-11 /. Несмотря на это, в последнее время на экспериментальных установках все большее применение находят детекторы с аналоговым представлением информации, и объем их в составе аппаратуры заметно растет, что определяется возможностью получения высокой точности измерения координат и способностью работать на больших нагрузках / 2 /.

Современные системы сбора информации должны обеспечивать быструю и надежную запись сигналов с пропорциональных камер, высокую скорость считывания данных, преобразование информации перед выводом её в ЭВМ, тестирование и калибровку аппаратуры с управлением от ЭВМ / 1,11,14 /.

В данном обзоре будут рассмотрены :

- системы сбора данных с параллельно-последовательным режимом передачи информации от усилительной электроники при различных методах кодирования и организации временной задержки;
- системы с параллельным режимом передачи информации от детекторов и программным управлением пороговой электроникой;
- системы с аналоговым считыванием информации и амплитудным анализом входных сигналов для определения пространственных или временных координат.

#### 1. Системы сбора данных с параллельно-последовательной организацией считывания информации от пропорциональных камер

Системы с параллельно-последовательной организацией передачи данных благодаря сравнительно простым способам обработки и считывания информации с детекторов, низкой стоимости канала регистрации широко используются на современных физических установках ( САСЛЕ, ЦЕРН и др.) / 1,12-15 /. Конструктивно они выполнены в виде отдельных функционально законченных модулей ( рис. 2 ):

- плат (карт) регистрации и карт управления считыванием, расположенных на пропорциональной камере и сопряженных между собой по общей шине данных;

- контроллера считывания и обработки информации, который удален от пропорциональной камеры на значительное расстояние /9-12 /.

Для этих систем характерны следующие особенности: дискретное представление входной информации; усилительно-формирующая пороговая электроника и оперативная память (ОЗУ) для записи события располагаются на картах регистрации; адресное подключение карт к шине данных камеры; асинхронный параллельно-последовательный режим считывания информации из ОЗУ / 12-16 /.

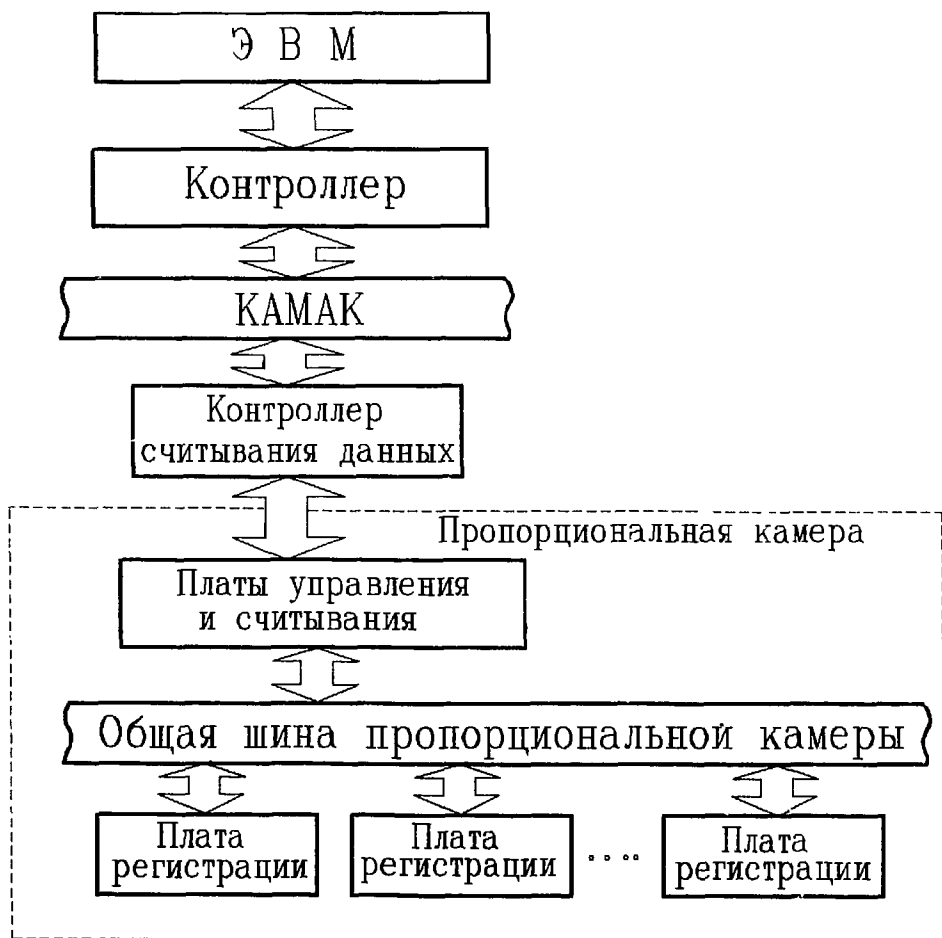
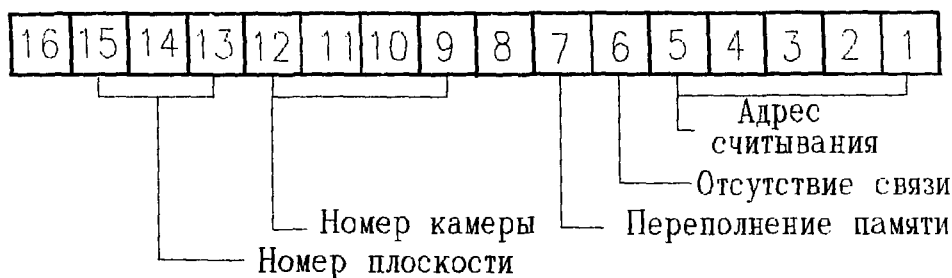


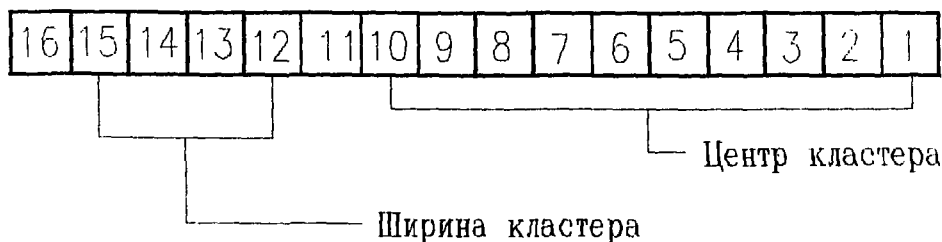
Рис. 2. Системы сбора с параллельно-последовательной организацией передачи данных

Карты регистрации ( на 8-16 входов ) выполняются на специализированных микросхемах и имеют возможность регулировки временного диапазона динамической задержки и пороговых уровней входного сигнала. Аналоговая информация с камеры поступает на входы усилителей-формирователей и после временной задержки по сигналу триггера записывается в оперативную память карты. Контроллер при адресном обращении последовательно считывает информацию с камеры и после преобразования передает её в ЭВМ для дальнейшей обработки.

Контроллеры считывания в таких системах функционально могут отличаться только в организации кодирования информации с пропорциональных камер. Так, например, в эксперименте Е-225 для увеличения скорости преобразования применяется контроллер с блоком кодирования на быстрых приоритетных шифраторах / 12-14/. При адресном обращении к магистрали камеры контроллер параллельно считывает информацию из памяти карты регистрации и записывает содержимое в регистр данных.



А



Б

Рис. 3. Формат служебного и информационного слова в блоке данных

В блоке кодирования информация о событии преобразуется из позиционного кода в реальные координаты прохождения частицы. Формат информационного слова представлен на рис. 3 б, где разряды 1-9 есть координата центра прохождения частицы, а разряды 12-15 - ширина кластера. По окончании опроса камеры контроллер посылает сигнал готовности на магистраль КАМАК. Считывание информации в ЭВМ выполняется в режиме блочной передачи данных с использованием контроля по  $Q$ . Первое слово в блоке данных содержит служебную информацию (рис. 3 а): тип плоскости и номер считываемой камеры; признаки переполнения памяти и ошибки в линии связи / 12-16 / .

К достоинствам этих систем можно отнести: сравнительно низкую стоимость каналов регистрации; простоту способов обработки и высокую надежность передачи информации от детекторов; асинхронный режим работы распределенных подсистем. Однако они имеют следующие недостатки: наличие усилителей-формирователей на картах регистрации вводит мертвое время в систему сбора данных, в связи с чем ухудшается временное разрешение и снижается коэффициент загрузки по интенсивности пучка; отсутствие программного управления порогом и задержкой затрудняет оперативную проверку и настройку каналов регистрации.

## II. Система сбора с параллельно-последовательным режимом считывания и временной задержкой на циклической памяти

По функциональным возможностям рассматриваемая система аналогична системам типа PCOS II. Отличительной особенностью является то, что в каждом канале регистрации применено ОЗУ, работающее в циклическом режиме адресации. Это позволило исключить из системы регистрации инерционный элемент задержки на формирователе, т.е. практически исключить мертвое время канала регистрации, а также ввести временную координату регистрируемого события. Причем глубина динамической задержки равна ёмкости применяемого типа ОЗУ, а временное разрешение определяется его быстродействием / 16 / .

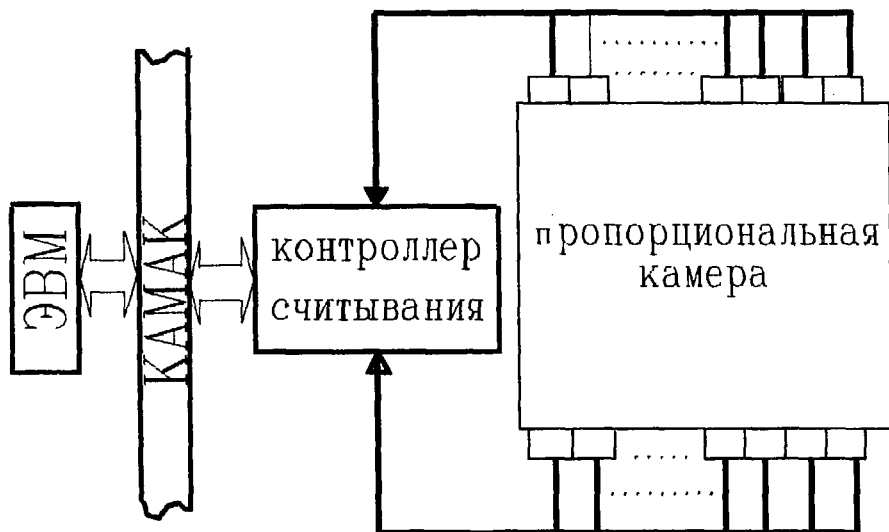


Рис. 4. Система сбора данных с организацией временной задержки на ОЗУ, работающем в циклическом режиме

Система сбора данных ( рис. 4 ) включает в себя: регистрирующую электронику, располагаемую непосредственно на камерах; аппаратуру управления считыванием, удаленную от камер на расстояние 50 м и более. Электроника регистрации ( рис. 5 ) конструктивно выполнена в виде карт на 32 канала, геометрические размеры которых допускают шаг считывания 4 мм. В каждый канал регистрации включено ОЗУ. Общий объем памяти составляет 32х16 - разрядных слов. По обеим сторонам камеры может быть размещено до 64 карт, т.е. 2048 каналов регистрации. Управление записью и считыванием выполнено на реверсивном счетчике и двух сдвиговых регистрах. Параллельные выходы сдвигового регистра обеспечивают поочередную передачу на линию связи одного из четырех байтов данных. Таким образом осуществляется последовательное считывание байтов информации без изменения адреса ОЗУ. Смену адресов ОЗУ выполняет реверсивный счетчик, который работает в циклическом режиме от тактового генератора. Причем начальный адрес считывания задается через



контроллер от ЭВМ. Запись информации в ОЗУ производится после инициализации системы непрерывно по импульсам от тактового генератора. Циклическая адресация осуществляется по этим же сигналам. Запись прекращается с приходом триггера, при этом блокируется тактовый генератор и устанавливается режим считывания данных из ОЗУ / 16 /.

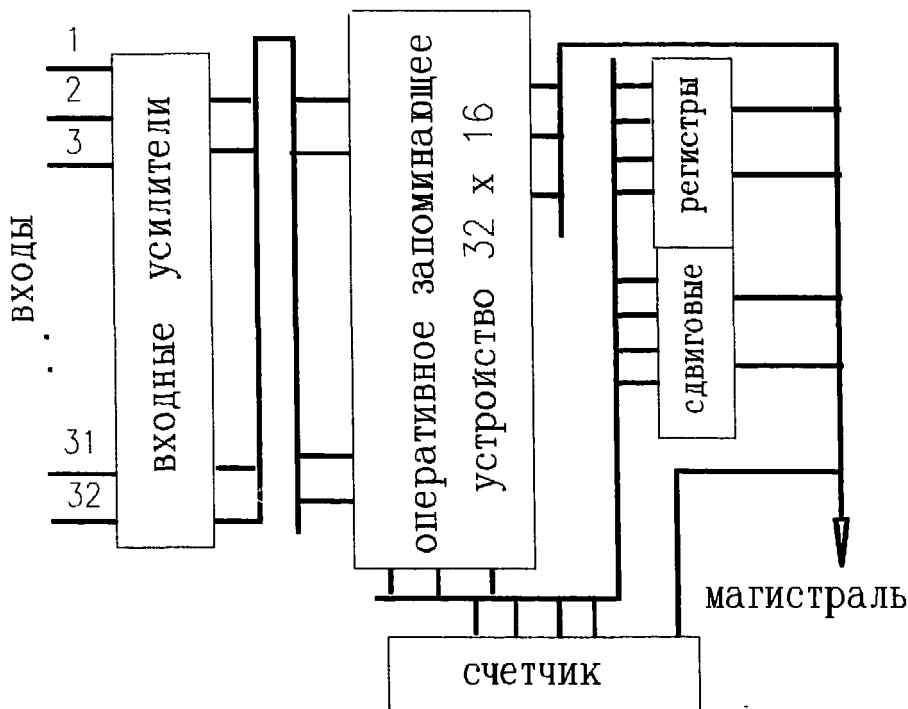


Рис. 5. Карта регистрации с временной задержкой на циклической памяти.

Функциональная схема контроллера считывания для этой системы показана на рис. 6. Обмен информацией по линии связи осуществляется в асинхронном режиме, что обеспечивает высокую надежность работы. Считывание информации производится по двум независимым входам контроллера (предусмотрены мультиплексный и нормальный режимы считывания). Сигналы с этих входов коммутируются таким образом, что данные с двух соседних каналов обрабатываются и кодируются за один такт генератора. Особенностью схемы контроллера является использование тактового генератора импульсов на 5-10-20 МГц. Данные из

ОЗУ поступают на вход регистра РП2 с частотой 5 МГц. По мере заполнения РП2 информация из него параллельно передается в регистр РП1, затем начинается ее последовательный вывод с частотой 10 МГц. Использование более высокой частоты сдвига в РП2 позволяет завершить обработку содержимого в РП1 до прихода новой информации из РП2. При помощи двоичных счетчиков данные из РП1 преобразуются в адрес центра и ширину кластера, которые записываются в буферную память. Считывание информации в ЭВМ выполняется также в блочном виде с контролем по  $Q/16$ .

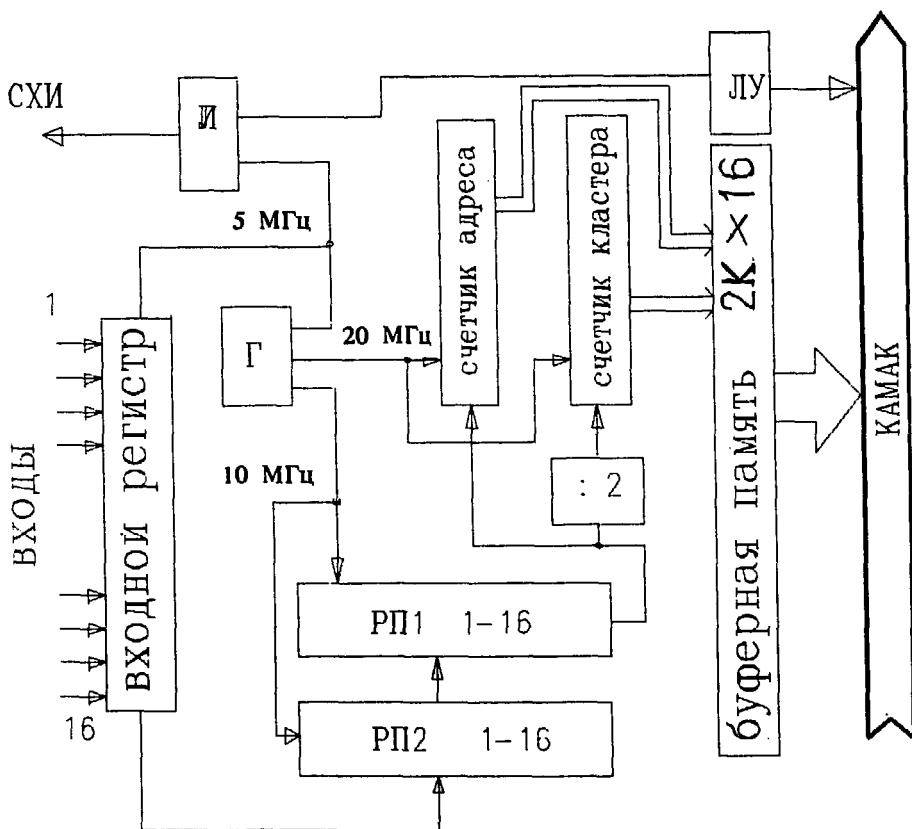


Рис. 6. Функциональная схема контроллера считывания

Основными достоинствами этой системы являются: возможность измерения временной координаты регистрируемого события; практически нулевое мертвое время каналов регистрации; простота и удобство в эксплуатации (не требуют выравнивания задержек в каналах регистрации). К недостаткам можно отнести сравнительно большое время считывания информации ( время считывания ненулевой строки с плоскости камеры при длине линии связи 50 м примерно 400 мкс), что ограничивает область применения данных систем.

### III. Системы сбора данных с параллельным режимом передачи информации от детекторов и программным управлением пороговой электроникой

Системы сбора с параллельной организацией передачи данных (PCOS III, МИСС и др.) предназначены для быстрого считывания информации от многопроводных пропорциональных камер. Эти системы благодаря применению современной технологии, новых подходов в конструировании, специальных интегральных микросхем – стали наиболее предпочтительными, экономически выгодными для современных физических экспериментов / 17-19 / . Системы построены по модульному принципу и включают в себя управляющие блоки (системные и автономные контроллеры) и управляемые блоки ( карты регистрации, блоки программируемых задержек и порогов, блоки быстрой памяти) / 17,19 / . По функциональным возможностям эти системы практически не отличаются, но выполнены на различной элементной базе. Так, например, многоканальная информационная скоростная система (МИСС), разработанная в ИФВЭ, является аналогом PCOS III, но выполнена на отечественной элементной базе / 18-20 / . При проектировании МИСС, учитывался уровень отечественной микроэлектронной техники, существующие технологические и производственные возможности ИФВЭ. Система обеспечивает запись, чтение и передачу информации с регистрирующей электроникой в блоки быстрой памяти с циклом 100 нс/слово / 18 / . Блоки МИСС конструктивно выполнены в системе ВЕКТОР. Основу элементной базы составляют микросхемы серии К500 и К1500.

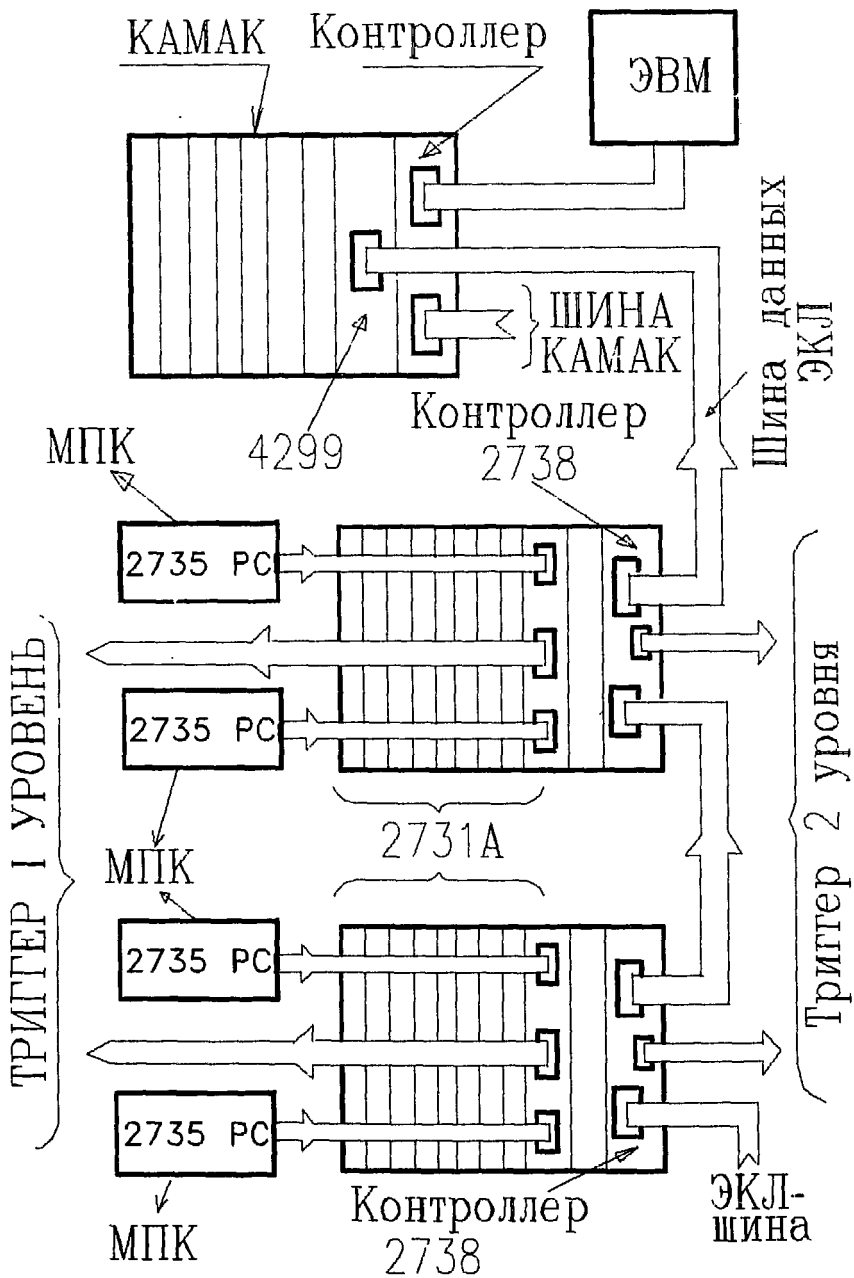


Рис. 7. Система сбора данных с пропорциональных камер PCOS III

Рассмотрим функциональные возможности этих систем на примере PCOS III. Карты регистрации 2735 PC устанавливаются непосредственно на пропорциональной камере. Блоки программно-управляемых порогов и задержек, а также контроллеры считывания и кодирования данных удалены от детектирующей электроники, чтобы не подвергаться облучению на пучке (рис. 7). В одном блоке под управлением системного контроллера обслуживаются 23 модуля 2731A на 736 каналов регистрации. Уровни порогов для компараторов и время задержек для каждого канала устанавливаются в блоках 2731A программно от ЭВМ через контроллер связи 2738. Чтобы упростить систему PCOS III, были специально разработаны четырехканальные зарядовые усилители, программно-управляемые схемы задержек RIPPLETHRU и дискриминаторы. Конструктивно система легко может быть связана с магистралью ФАСТБАС или КАМАК. Использование быстрого параллельного кодирования позволяет с высокой скоростью считывать события так, что сигналы с камер могут быть включены в решение быстрого триггера для анализа треков.

Карты регистрации (на 16 каналов) выполнены на четырехканальных усилителях TRA 402S и дискриминаторах MVL 407S. Применение специально-разработанных усилителей с низкоомным входом, большим коэффициентом усиления по току обеспечивает высокое отношение сигнал/шум. Чувствительность по порогу для данных карт не хуже 2 мкА, а временное разрешение не менее 8 нс. Карта легко может быть перестроена как для катодных, так и для анодных сигналов с пропорциональной камеры. Выпускаются две модификации карт регистрации 2735 DC и 2735 PC <sup>17</sup> /. Более быстрые карты 2735 DC используются в системах с высоким временным разрешением сигналов. Карты 2735 PC имеют дополнительные внешние фильтры между усилителем и дискриминатором, в связи с чем ухудшается временное разрешение, но увеличивается стабильность и отношение сигнал/шум. По сигналу триггера системный контроллер 2738 формирует необходимую длительность ВОРОТ СОВПАДЕНИЙ, которыми стробируется запись с карт регистрации в регистр данных блока 2731A. При наличии знача-

шей информации блок 2731А выставляет требование на обслуживание его системным контроллером. Для триггера первого уровня он вырабатывает 16 дифференциальных ЭКЛ-сигналов **БЫСТРОЕ ИЛИ**, длительностью 50 нс.

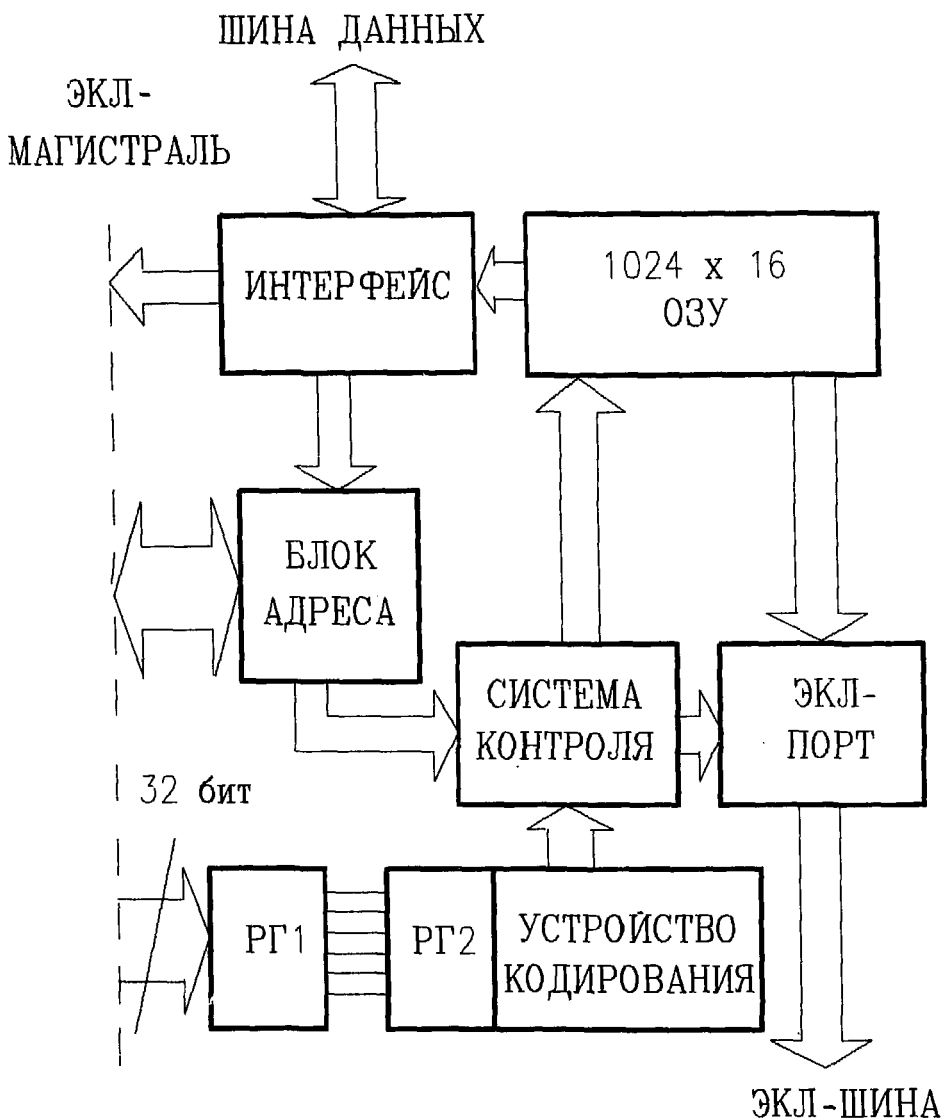


Рис. 8. Функциональная схема контроллера 2736

Системный контроллер 2736 предназначен для кодирования и передачи информации в ЭВМ. Контроллер преобразует входную информацию в двоичный адрес

центра и ширины кластера. Функциональная схема контроллера представлена на рис. 8. Контроллер за 100 нс выполняет считывание содержимого регистра данных блока 2731А, который выставил на магистраль крейта сигнал готовности и записывает эту информацию в буферный регистр. Для повышения скорости обработки на входе контроллера имеется два буферных регистра. Содержимое из первого регистра параллельно переписывается во второй регистр и затем кодируется на быстрых приоритетных шифраторах, а в это же время в первый регистр записывается информация из следующего блока 2731А. Общее время от приема данных до записи их в ОЗУ не превышает 300 нс. Емкость памяти ОЗУ контроллера составляет 1К x 16 слов. Выходной ЭКЛ-порт на передней панели контроллера позволяет организовать быструю передачу данных из ОЗУ ( 20-80 нс/слово ) в триггерный процессор второго уровня, или запись их в модули быстрой памяти КАМАК или ФАСТБАС / 17 / .

Контроллер 4299 выполняет обмен информацией между системой крейтов LeCroy и магистралью КАМАК. Он организует считывание данных с PCOS III, осуществляет тестирование и загрузку всех систем. Имея достаточную емкость памяти на несколько событий, контроллер 4299 может работать в режиме быстрой буферной памяти и сконструирован с максимальной гибкостью для считывания данных в data acquisition system.

Основными достоинствами этих систем являются:

- простота, высокая надёжность и экономичность, которые достигаются благодаря применению новой технологии и подходов в конструировании, а также специально разработанных больших интегральных микросхем;
- высокая радиационная стойкость, т.к. блоки программно-управляемых задержек, контроллеры считывания и кодирования данных удалены от детектирующей электроники на значительное расстояние;
- программный контроль порогов и задержек позволяет настраивать каналы регистрации с хорошими параметрами по чувствительности и временному разрешению;

-высокая скорость считывания событий в КАМАК или ФАСТБАС позволяет использовать информацию о событии в решении триггера второго уровня.

К недостаткам можно отнести наличие мертвого времени в каналах регистрации, в связи с чем уменьшается временное разрешение системы сбора.

#### IV. Системы сбора данных на приборах с зарядовой связью

Создание детекторов с высоким координатным разрешением являлось всегда одной из важных задач ядерной физики и физики элементарных частиц. Так как системы считывания с дискретным представлением входной информации достигли своих предельных возможностей, возникла необходимость в разработке и применении новых методов регистрации треков частиц в современных экспериментальных физических установках. Одним из таких решений является применение детекторов с аналоговым представлением информации и измерением координат по центру тяжести распределения заряда. В работах / 2,6 / по исследованию пропорциональных камер было отмечено, что при образовании электронной лавины вблизи анодной проволоки на всех остальных близлежащих электродах наводятся импульсы положительной полярности ( рис. 9). Было предложено использовать этот эффект для регистрации второй координаты в пропорциональных камерах, что позволило получить высокие точности измерения координат и способность работать на больших нагрузках. Вычисление координат заряженных частиц по центру тяжести зарядовых распределений, возникающих в газовых проволочных детекторах, позволяет получить точность регистрации трека в системе сбора данных не менее  $50 \text{ мкм}$  / 7,8 /.

Применение ПЭС-структур в системах сбора с аналоговым запоминанием входной информации весьма перспективно, так как это позволяет значительно повысить точность регистрации координаты, осуществить мультиплексирование сигналов, оптимизировать соотношение между количеством каналов и числом блоков считывания в зависимости от загрузки /8,20-23/. Возможность записи и хранения аналоговой информации в ПЭС позволяет использовать их совместно



с менее быстродействующими, но более точными АШП ( можно использовать один АШП на группу ПЭС). Эти особенности ПЭС и явились определяющими при создании высоконадёжных и точных систем считывания информации с многоканальных детекторов частиц на новых экспериментальных установках / 9-11 / .

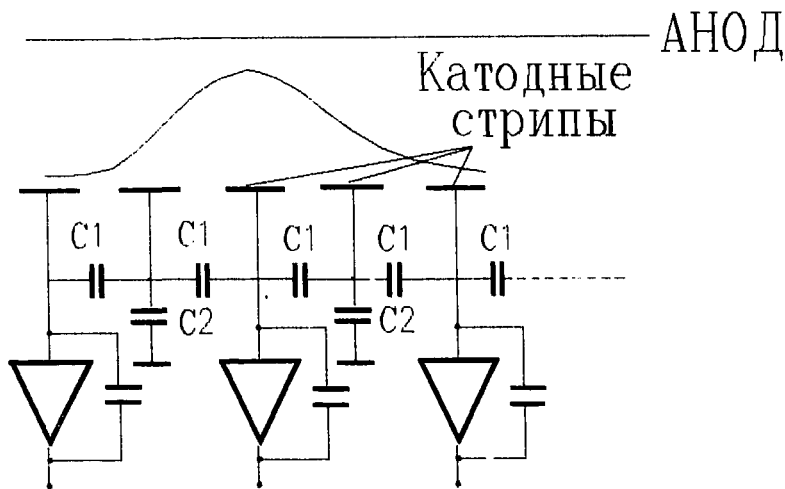


Рис. 9. Распределение аналоговой информации на катодных стриппах

На установке РЕР-4 считывание информации с сигнальных проволочек и катодных стриппов из время-проекционной камеры (ТРС) организовано на ПЭС-регистрах / 9,10 /. Импульсы со стриппов камеры поступают на вход предварительных усилителей ( рис. 10 ), где формируется сигнал длительностью 0,5 мкс, и затем записываются в ПЭС-регистр. Сдвиг информации в ПЭС осуществляется с тактовой частотой 10 МГц, так что входной импульс занимает 5-6 ячеек ПЭС-регистра. По сигналу триггера информация об амплитуде с выходов ПЭС поступает в быстрый АШП, где она преобразуется в двоичный вид и записывается в запоминающее устройство. Точность регистрации по координате для данной системы составляет 340 мкм, а погрешность определения времени не более 6,8 нс / 9,10 /. Необходимо отметить, что эти параметры могут быть значительно улучшены, если использовать методы обработки зарядовой информации по центру тяжести / 8 / .

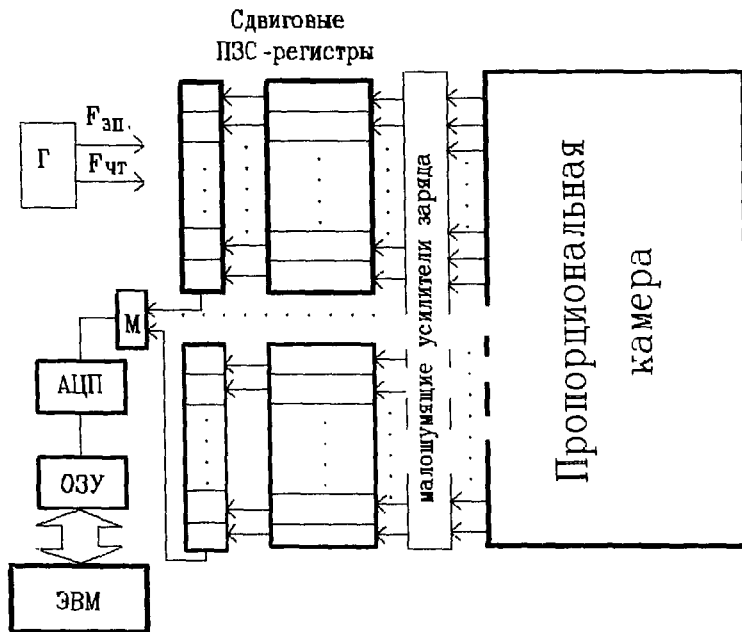


Рис. 10. Система сбора информации с пропорциональных камер на ПЭС-регистрах в установке РЕР-4

В проекте БЕМ для восстановления 2-проекции трека было предложено использовать систему многопроволочных пропорциональных камер ( ПРС / 11 / ). Для организации считывания информации с ПРС было решено применить специально разработанные ПЭС-регистры с параллельно-последовательной ( 256x16 ) и параллельной ( 16x1 ) записью информации / 11 / . Основные требования к данной системе считывания: отношение сигнал/шум не более 0,5 %; минимальное время считывания, позволяющее включить эту информацию в решение триггера; высокая радиационная стойкость. Входная информация с катодных стрипов, усиленная предварительными усилителями поступает на вход параллельно-последовательного ПЭС-регистра, где она запоминается (рис. 11). Затем по сигналу триггера содержимое этого регистра в параллельно-последовательном режиме считывается 16-входовым ПЭС-регистром и через мультиплексор передается на быстрый АЦП для преобразования в двоичный вид.

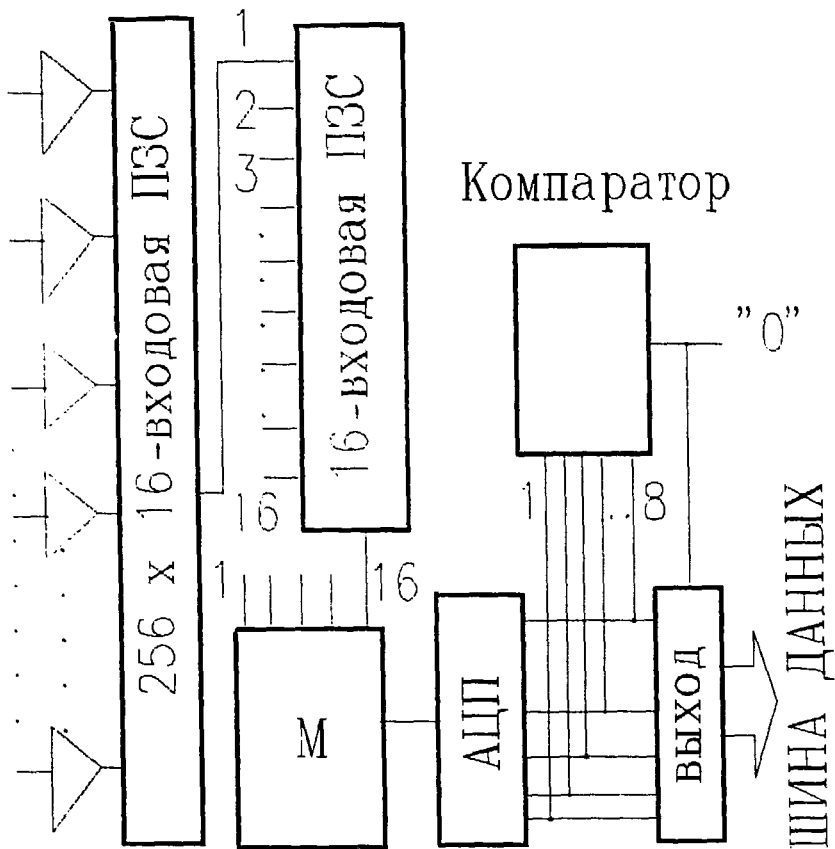


Рис. 11. Система сбора данных с ИРС в эксперименте GEM

Для повышения скорости вывода информации на магистраль данных после АЦП применяется быстрый компаратор, который отсекает нулевую информацию, таким образом в ЭВМ поступает только значащая информация. Несмотря на это, общий объем двоичной информации, который необходимо передать в ЭВМ достигает 50 Мбит/с, в связи с чем планировалось применить оптоволоконную линию связи.

Основными достоинствами этих систем являются:

- высокая точность определения временных и пространственных координат треков частиц;
- мультиплексный режим считывания только значащей информации с ПЗС-регист-

ров значительно уменьшает общий поток информации, передаваемой в ЭВМ;

-высокая скорость записи и считывания информации в ПЭС-регистрах ( частота записи – 60 МГц, считывания – 10 МГц ) обеспечивает возможность работы на больших нагрузках по интенсивности пучка;

-высокая радиационная стойкость обеспечивает надежную работу системы считывания на больших энергиях ускорителя.

Однако при работе с ПЭС-системами считывания существуют определенные сложности. Дело в том, что качество записи и считывания информации в такой системе зависит от выбора режимов работы ПЭС-регистра, а это требует индивидуальной подстройки и настройки каждого канала регистрации<sup>8</sup> / .

### Заключение

Создание детекторов с высоким координатным разрешением являлось всегда одной из важных задач экспериментальной физики. Системы считывания с дискретным представлением входной информации, несмотря на простоту и удобство обработки данных, высокую надежность и экономичность, достигли своих предельных возможностей, которые связаны с минимально допустимым шагом координатного детектора. Кроме того, повышение точности регистрации приводит к значительному возрастанию количества каналов на единицу измеряемой координаты. Системы сбора с кодированием данных на пропорциональных камерах позволяют уменьшить общее количество считываемой информации с плоскости детектора, но эти системы невозможно сделать универсальными, так как кодирующие устройства для уменьшения функциональной избыточности строятся применительно к конкретной установке и к классу решаемых задач.

Таким образом, возникла необходимость в разработке и применении новых методов регистрации треков частиц. Одним из таких решений является применение детекторов с аналоговым представлением информации и измерением координат по центру тяжести распределения заряда, что позволяет получить высокую точность измерения параметров трека частиц. Несмотря на сложности

с настройкой каналов регистрации на ПЭС- структурах, в последнее время на экспериментальных установках все большее применение находят детекторы с аналоговым представлением информации. Это связано с возможностью получения высокой точности измерения координат и способностью работать на больших нагрузках, что позволяет реализовать качественно новый уровень исследований. Например, такие системы могут быть использованы для регистрации слабых распадов частиц с разрывом от точки взаимодействия до распадной вершины 50 - 100 мкм.

## Литература

1. Заневский Ю.В.-Проволочные детекторы элементарных частиц.  
М.: Атомиздат, 1978.
2. Барабаш Л.С. - Физика элементарных частиц и атомного ядра. ТОМ 22,  
ВЫП. 3, 1991, стр. 716.
3. Калинин В.А. и др.-Препринт ОИЯИ Р10-85-252, Дубна, 1985.
4. Никитюк Н.М.-Препринт ОИЯИ Р11-80-484, Дубна, 1980.
5. Головкин С.В. и др.-Препринт ИФВЭ 80-10, Серпухов, 1980.
6. Charpak G. et al. -Nucl. Instr. and Meth., Vol.62, 1968, pp.83-91.
7. Barabash L.S. et al.-Nucl. Instr. and Meth., A288, 1990, p. 375.
8. Барабаш Л.С., Калинин В.А. и др.-Препринт ОИЯИ Р13-90-511,  
Дубна, 1990.
9. Камае Т. et al.-Nucl. Instr. and Meth., A252, 1986, p. 423.
10. Anders H. et al.-CERN/EF 85-10, July 1985.
11. Baber R. et al.-GEM TN-92-63, March 1992.
12. Калинин В.А.-Препринт ОИЯИ Р10-94-96, Дубна, 1994.
13. Arigon M. et al.-Nucl. Instr. and Meth., A262, 1987, p. 207.
14. Olliver B. et al.-Internal Report DPhPE, 1974, SEN-Saclay.
15. LeCroy PCOS II (Proportional Chamber Operating System), Geneva, 1972.
16. Беспалова Т.В. и др.-Препринт ОИЯИ Р10-81-412, Дубна, 1981.
17. 1990 Research Instrumentation Catalog. LeCroy Corporation, 1990.
18. Бушнин Ю.Б. и др.-Препринт ИФВЭ СЭФ 74-122, Серпухов, 1974.
19. Бушнин Ю.Б. и др.-Труды II Всесоюзного семинара по автоматизации  
научных исследований, Новосибирск, 1982, 18.
20. Евграфов Г.Н. и др.-Препринт ИФВЭ 82-85, Серпухов, 1982.
21. Носов Ю.Р. Шилин В.А. - Полупроводниковые приборы с зарядовой связью,  
М.: Советское радио, 1976.
22. Иванюшенков Ю.М. и др. -Препринт ИФВЭ 88-35, Серпухов, 1988.
23. Астахов А.Я. и др.-Препринт ОИЯИ Р10-80-227, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 мая 1994 года.