



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-97-286

Ю.И.Романов

«ОТКРЫТЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ КАНАЛ» —
ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ
ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ
УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1997

Введение

Сложность борьбы с помехами на ускорительном комплексе увеличивается из-за широкого спектра рабочих сигналов синхрофазотрона и нуклотрона [1] и, соответственно, сигналов паразитных наводок. С учетом размещения систем питания и управления ускорителями в отдельно стоящих зданиях и на различных этажах система коммуникаций требует тщательной экранировки линий связи от электромагнитных наводок и развязки заземленных элементов от блуждающих токов. Большие трудности возникают и при автоматизации ионных источников [2,3], расположенных на высоковольтной платформе под потенциалом ~ 750 кВ относительно земли и в радиационной зоне.

Кардинальное решение этих проблем может быть достигнуто за счет широкого внедрения оптических линий связи (ОЛС), активно разрабатываемых в последние годы. Поскольку оптическая связь использует в качестве носителя информации свет, представляющий собой электромагнитные колебания, то по аналогии с электросвязью ее подразделяют на два вида: «проводную» и «беспроводную» оптическую связь. Основным направлением оптической связи является внедрение в практику волоконно-оптических линий связи [4—23]; поскольку уже разработаны волоконные световоды с замечательными характеристиками передачи. Однако оптическая связь, построенная по принципу передачи информации в открытом пространстве, также представляет значительный интерес.

Современные достижения в области электронной базы ОЛС подтверждают целесообразность и своевременность рассмотрения возможности создания и внедрения на электрофизических установках вообще, и на нуклотроне в частности, систем передачи цифровой информации «Открытый оптический канал», использующих инфракрасное излучение (ИК-излучение).

В отличие от электромагнитных колебаний радиодиапазона ИК-излучения распространяются в атмосфере со значительным затуханием из-за поглощения и рассеяния. Величина затухания сильно зависит от состояния атмосферы и длины волны излучения. В ИК-диапазоне есть участки, на которых ИК-излучение при распространении в атмосфере Земли испытывает минимальное затухание. Таких участков три: от 0,75 до 1,7 мкм; от 3 до 5 мкм и от 7 до 14 мкм, и они представляют определенный интерес для создания цифровых линий связи типа «Открытый оптический канал».

Появление устройств, позволяющих принимать, регистрировать, измерять параметры ИК-излучений, положило начало широкому использованию этого диапазона в науке и технике. Последние достижения полупроводниковой электроники позволили реализовать системы связи в ИК-диапазоне.

Преимущество ИК-излучения перед более «длинными» электромагнитными волнами состоит в том, что зона распространения ИК-лучей ограничена рамками данного помещения. Это исключает влияние ИК-передатчика на аналогичную радиоаппаратуру, установленную в соседних помещениях. В силу очень малой длины волны и довольно широкого спектра излучения исключаются интерференционные помехи при отражениях от стен помещения и находящихся в нем предметов.

Основные функциональные составляющие «Открытого оптического канала» цифровой передачи сообщений — ИК-излучатели, ИК-приемники и вопросы, связанные с помехозащищенностью и качеством передаваемых сигналов.

Источниками ИК-излучения в настоящее время чаще всего служат арсенидгаллиевые светодиоды [13]. Они имеют сравнительно узкий спектр излучения от 0,92 до 0,96 мкм и выходную мощность до 10 мВт. Однако для уверенного приема сигналов внутри помещений такой мощности оказывается недостаточно. Чтобы увеличить мощность излучения необходимо включение 6 ÷ 8 светодиодов. При удвоении числа излучающих диодов удваиваются мощность излучения и выходной ток приемного фотодиода, что соответствует увеличению мощности сигнала на входе приемника в 4 раза и улучшению соотношения сигнал/помеха на 6 дБ.

Для приема сигналов, передаваемых в ИК-диапазоне, используют кремниевые ($p-n$) и ($p-i-n$)-фотодиоды [13], которые можно использовать как эффективные приемники ИК-излучений, с высоким КПД преобразования лучистой энергии, малой собственной емкостью. Эти приборы могут работать при относительно высоких частотах модуляции, с малым коэффициентом шума и высокой линейностью характеристик. Спектральная чувствительность фотодиодов относительно мало меняется в широком спектре излучений. Однако такая «широкополосность» ухудшает соотношение сигнал/помеха на входе приемника. Это заставляет принимать меры к оптической фильтрации сигналов. Например, установка перед фотоприемником «черного» фильтра позволяет практически полностью избавиться от влияния помех в видимом участке спектра.

Существенным недостатком приемных фотодиодов является малая светочувствительная поверхность и в связи с этим относительная узкая диаграмма направленности. Поэтому желательно, чтобы световой поток, приходящий к фотоприемнику со всех сторон, концентрировался на светочувствительной поверхности. Создать такую оптическую систему задача довольно сложная. Наиболее просто увеличить телесный угол восприятия ИК-лучей, например до

120°, можно, применив стеклянные или пластмассовые линзы, которые увеличивают коэффициент усиления «оптической антенны».

При передаче информации в ИК-диапазоне возникают еще две проблемы: помехозащищенность тракта от ИК-излучений случайных источников и повышение эффективности излучения и приема сигналов. Источником помех в ИК-диапазоне является любое тело с температурой поверхности большей абсолютного нуля. Чем выше температура источника, тем больше интенсивность ИК-излучения.

Наилучшей защитой от такого рода помех является модуляция ИК-излучения сигналами со сложным спектром. Обычная амплитудная модуляция для этих целей практически непригодна, так как оптический приемник не защищен от воздействия импульсных помех. Поэтому применяют комбинированную модуляцию — ИК-излучение модулируют по амплитуде несущей, которая, в свою очередь, промодулирована по частоте сигналами данных, т.е. имеет место АМ-ЧМ-модуляция. Этот способ позволяет значительно повысить помехоустойчивость приема цифровых сигналов [17].

1. Оптические каналы передачи информации (ОКПИ) с высоковольтных платформ

Наибольшую опасность для входных каскадов фотоприемников, расположенных на высоковольтном терминале и работающих с входными сигналами милливольтового уровня, представляют помехи, создаваемые:

- а) пробоями в ускоряющей системе и разрядной камере ионного источника;
- б) мощными генераторами токов высокой частоты;
- в) эффектами высокого напряжения (тлеющий разряд, коронирование, искрение и т.д.);
- г) импульсной работой тиратронов и тиристоров.

Эти помехи носят спонтанный характер и проникают в аналоговую часть фотоприемника из общего фидера электропитания через паразитную емкость обмоток силового трансформатора источника и общий провод питания. Компенсационные стабилизаторы напряжения не успевают реагировать на короткие импульсы сетевых помех из-за ограниченности собственной полосы пропускания. Сетевые фильтры [24], выпускаемые промышленностью для защиты от помех, оказались недостаточно эффективны. Как показал опыт работы, для исключения помех по «земле» и эффектов, создаваемых контурами заземления, в аппаратуре необходимо наличие гальванических развязок [22,23]. Существенно улучшить характеристики создаваемой аппаратуры ОКПИ можно применением незаземленных источников питания [15,19].

По типу оптической трассы ОКПИ можно разделить на следующие:

- с закрытым оптическим каналом (ЗОК), информация через который передается по воздуху, внутри светонепроницаемой изоляционной трубы;
- с использованием волоконно-оптического кабеля (ВОК), оптическая трасса которого представляет собой волоконный световод;
- с открытым оптическим каналом (ООК), воздушный промежуток которого является трассой направленной передачи цифровой информации;
- с использованием комбинированного оптического канала (КОК).

На рис.1 приведены варианты организации передачи информации и управляющих сигналов в системе управления ионным источником, установленном на высоковольтном терминале линейного ускорителя ЛУ-20.

При использовании ВОК — излучатель, устройство его модуляции, фотоприемник и демодулятор размещаются в кассетах КАМАК (крейты КАМАК 2 и 3 на рис.1а). Использование волоконно-оптической линии связи в условиях высокого уровня помех снимает значительную часть этих проблем, поскольку ВОК нечувствителен к электромагнитным помехам и наводкам. Малая масса и габаритные размеры ВОК позволяют создавать компактные системы связи. Все эти качества оптического канала способствуют высокой

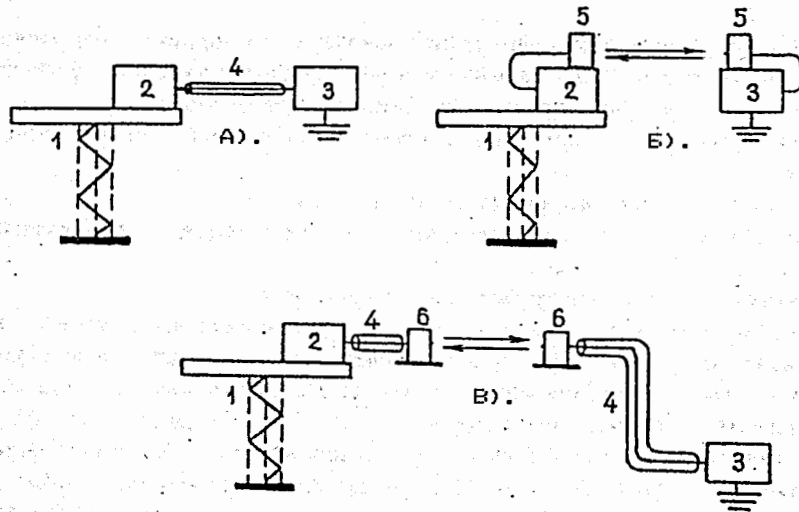


Рис.1. Функциональная схема организации передачи информации на высоковольтном ускорителе. (1 — высоковольтная платформа; 2,3 — крейты КАМАК; 4 — волоконно-оптический кабель; 5 — оптический передатчик; 6 — экспериментальная головка КОК)

достоверности передачи информации (ошибка передачи данных для проводных и кабельных линий лежит в пределах $10^{-4} + 10^{-5}$, для систем с использованием ВОК этот параметр не превышает 10^{-9}).

Широкое практическое внедрение световодных систем на ускорителях заряженных частиц с использованием ВОК сдерживается, на наш взгляд, отсутствием инструментария и высокой стоимостью элементной базы.

При использовании ООК (рис.1б) — оптические модули с излучателем и устройством его модуляции, а также фотоприемное устройство с демодулятором могут располагаться вне крейтов КАМАК, но в пределах прямой видимости. Конструктивно ООК может быть выполнен в виде выносной приемопередающей оптической головки, укрепленной на крейте, световая энергия которой распространяется в открытом пространстве. Открытый оптический канал, организованный по такой схеме, предназначен для передачи информации на расстояние порядка 5 + 10 м для связи с устройствами, находящимися под высоким напряжением. Для работы на большем удалении в оптических модулях ООК используются импульсные инфракрасные полупроводниковые лазеры.

При использовании КОК (рис.1б') — оптические головки 6, представляющие собой оптические системы с устройствами юстировки, в фокусе которых находятся торцы волоконно-оптических кабелей 4, расположенные вне крейтов КАМАК 2 и 3. Излучатели, устройства их модуляции, фотоприемники и демодуляторы смонтированы в кассетах крейтов. Данная функциональная схема размещения оборудования имеет ряд достоинств:

- обеспечивается высокая гальваническая развязка (так как существует воздушный промежуток с высоким пробивным напряжением);
- имеется возможность располагать оптические головки в удобном для юстировки месте на высоковольтном терминале ЛУ-20 (так как оптические головки 6 не привязаны к аппаратуре 2 и 3 электрическими кабелями, длина которых ограничена электрическими требованиями и степенью помехозащищенности используемой элементной базы).

Таким образом, с помощью технологической интеграции модулей ВОК и ООК можно сократить строительную длину ВОК и существенно снизить стоимость оборудования для передачи информации.

Функциональная схема оптической головки показана на рис.2, общий вид экспериментальной аппаратуры КОК — на рис.3. Оптическая головка предназначена для установки выходного торца волоконно-оптического кабеля [13] в фокусе объектива. Она состоит из оптического соединителя [20], оправы, линзы и инфракрасного светофильтра, предназначенного для режекции фоновой засветки. В устройстве предусмотрена возможность подстройки положения торца волоконно-оптического кабеля относительно фокуса линзы ($f = 35$ мм) в пределах ± 5 мм. Механическая часть КОК состоит из

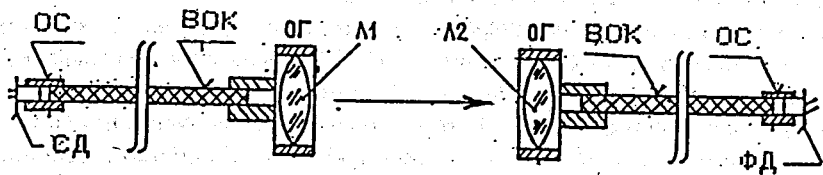


Рис.2. Функциональная схема оптической головки. (Л1, Л2 — линзы; ВОК — волоконно-оптический кабель; ОС — оптический соединитель; СД — светодиод; ФД — фотодиод; ОГ — оптическая головка)

юстировочного устройства, которое служит для обеспечения взаимной ориентации в пространстве (нацеливания) передающей и приемной головок с помощью микрометричного поворотного устройства, платформы для установки и крепления.

В зависимости от условий эксплуатации ионного источника параметры КОК можно варьировать, добиваясь наиболее удобных соотношений. Так, в зависимости от размещения аппаратуры на высоковольтном терминале ЛУ-20,

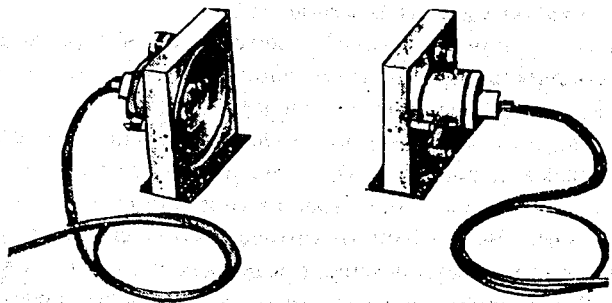


Рис.3. Экспериментальная головка КОК

а также расстояния от нее до безопасной зоны может изменяться длина оптических кабелей как у первого, так и у второго комплекта КОК. При этом становится важным определение величины необходимого энергетического потенциала системы связи (т.е. требуемой мощности излучателя при нормированных шумах) [9], который задается соответствующим выбором оптических элементов КОК.

2.ОКПИ для связи

внутри помещений ускорительного комплекса

Конфигурация сети ОКПИ состоит из рефлекторов и приемопередатчиков. Рефлектор устанавливается на потолке комнаты. Он может использоваться несколькими приемопередатчиками, расположенными у своих терминалов. На рис.4 показана конфигурация сети «Открытый оптический канал». Рефлектор и приемопередатчик имеют ИК-излучатели и оптические приемники для обеспечения двухсторонней связи. Разнонаправленные линии связи (снизу вверх и сверху вниз) работают на разных несущих частотах для отсеивания собственного отраженного сигнала. Локальная сеть образуется путем соединения нескольких рефлекторов коаксиальным кабелем. Система связи «Открытый оптический канал» использует схему с прямой видимостью рефлектора, обладающую следующими свойствами:

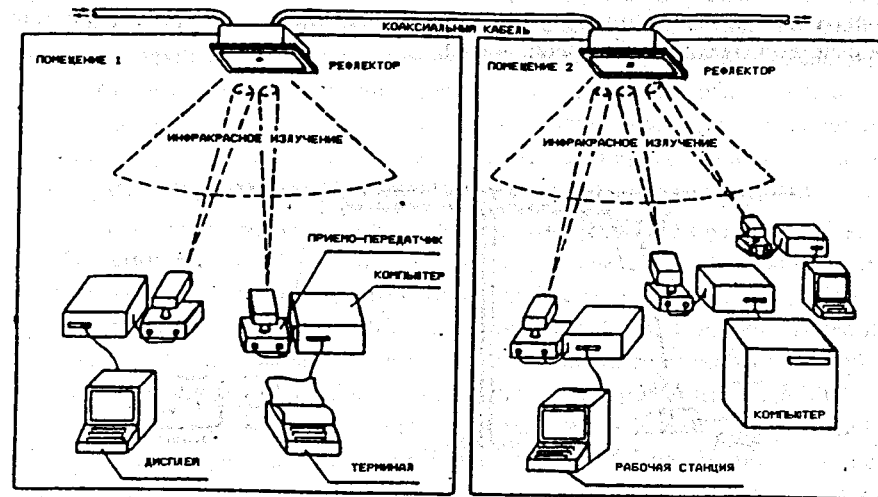


Рис.4. Конфигурация сети «Открытый оптический канал»

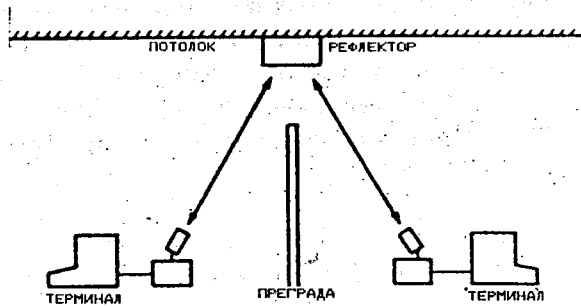


Рис.5. Взаимодействие терминалов при наличии преграды

- возможностью устанавливать устойчивую связь вне зависимости от размеров комнаты и коэффициента отражения стен;
- возможностью связи через рефлектор при наличии преграды между двумя приемопередатчиками (рис.5);
- возможностью приемопередатчикам, расположенным в разных комнатах, соединяться между собой через рефлекторы и кабели связи (рис.6).

В рефлекторах и приемопередатчиках используются однотипные блоки ИК-светодиодов. Светодиоды, установленные в рефлекторе, дают широкий пучок излучения, направленный вниз (~120°). В приемопередатчике светодиоды снабжены линзами, фокусирующими ИК-излучение на отражателе (телесный угол расхождения пучка ~10°).

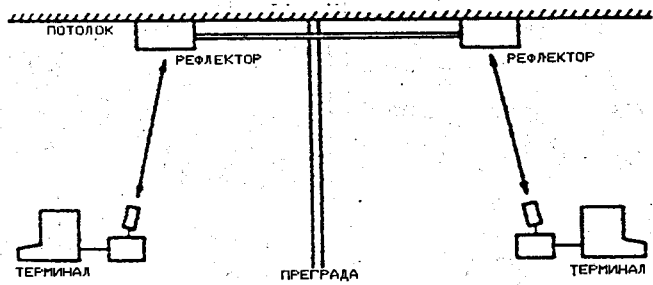


Рис.6. Взаимодействие терминалов, расположенных в разных комнатах

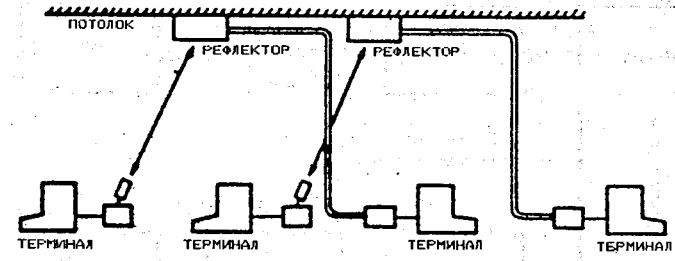


Рис.7. Взаимодействие терминалов с различными информационными системами

Фотоприемником излучения в рефлекторе служит фотодиод с большой светочувствительной поверхностью для приема сигналов с разных направлений. Приемопередатчики снабжены линзами Френеля. Последние фокусируют ИК-излучение, идущее от рефлектора, обеспечивают направленность приема, повышая эффективность работы фотодиода в приемнике информации. Такая конструкция настольного комплекта канала связи обеспечивает защиту данных от искажений, позволяет переключаться на другую информационную систему наведением на соответствующий рефлектор, из установленных в комнате (рис.7). Рефлектор излучает принятое сообщение, а также передает его по коаксиальному кабелю на другие рефлекторы, которые, в свою очередь, излучают сигнал на все приемопередатчики, расположенные под ними. Скорость передачи данных может достигать 1 Мбит/с. Поскольку увеличение расстояния ухудшает отношение сигнал/шум, экспериментально установлено максимальное расстояние между приемопередатчиком и рефлектором, при котором вероятность ошибки не превышает $\sim 10^{-7}$. Оно составляет 5 м.

Приемопередатчик (рис.8) состоит из генератора, управляемого напряжением (ГУН), схемы пропускания, драйвера светодиодов (СИД), преусилителя тока фотодиода (ФД), усилителя-ограничителя, частотного детектора и модуля интерфейса. Приемопередающий интерфейсный модуль обеспечивает интерфейс RS-232C (или специализированный МККТТ V24). Распространенные протоколы передачи файлов — XMODEM и Kermit [25]. Они определяют начало передачи и выключение ИК-излучения, а также проверяют наличие информации на выходе приемника. Если обнаружено сообщение от другого терминала, то модуль ждет окончания передачи. Кроме того, модуль интерфейса определяет столкновение пакетов и информирует об этом.

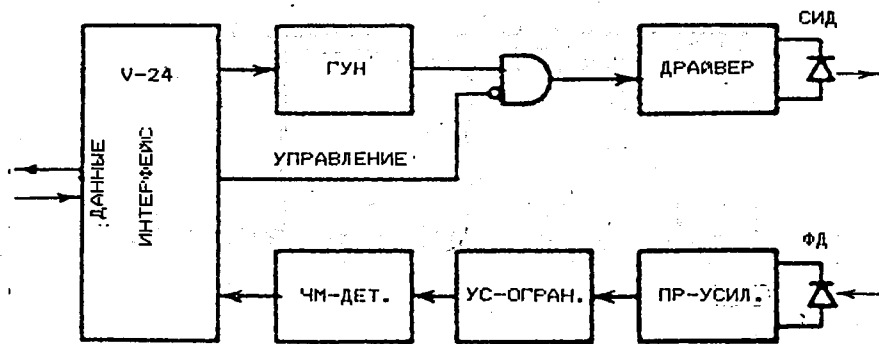


Рис.8. Функциональная схема приемопередающего интерфейсного модуля

Приемопередатчик, выполненный по другой схеме, обеспечивает кабельный интерфейс. Этот модуль реагирует на сигнал от терминала и включает ИК-излучатель только при наличии пакета данных для передачи.

Рефлектор-ретранслятор (рис.9) принимает сигнал от настольного приемопередатчика, отфильтровывает поднесущую сигнала, демодулирует и снова модулирует сигналами данных, несущую ИК-излучения своего передатчика, работающего на другой частоте.

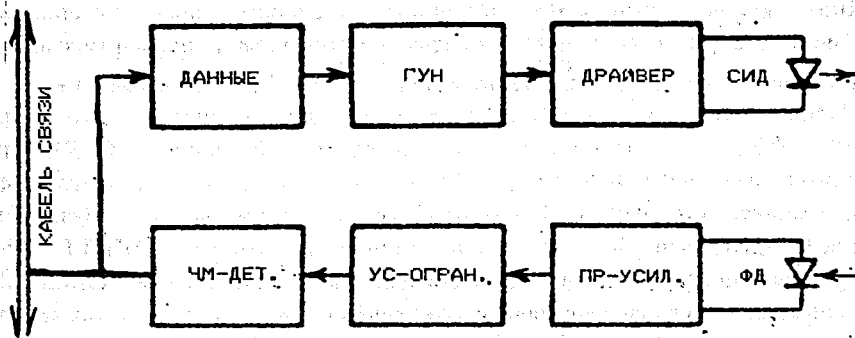


Рис.9. Функциональная схема рефлектора-ретранслятора

Цифровая система связи «Открытый оптический канал» не лишена недостатков. Оптическая линия связи может быть разорвана объектом, нарушившим прямую видимость между приемниками и передатчиками. Это так называемые ошибки блокирования. Процедура исправления таких ошибок может быть решена как программными, так и аппаратными средствами. Например, пакет данных передается несколько раз (с повторением каждые 10 мс).

Автор выражает благодарность В.А.Белякову и П.К.Маньякову за обсуждение данной работы.

Литература

1. Балдин А.М. и др. — Труды 4-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. М.: Наука, 1974, т.2, с.4.
2. Пилипенко Ю.К. и др. — ОИЯИ, Е13-80-500, Дубна, 1980.
3. Коваленко А.Д., Овсянников В.П., Романов Ю.И., Царенков А.П. и др. — Краткие сообщения ОИЯИ, 2(59)-93, Дубна, 1993, с.53.
4. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 10-81-295, Дубна, 1981.
5. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
6. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-83-478, Дубна, 1983.
7. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-580, Дубна, 1985.
8. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-599, Дубна, 1985.
9. Романов Ю.И., Турзо И. — ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
10. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
11. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-566, Дубна, 1986.
12. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-636, Дубна, 1988.
13. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-723, Дубна, 1988.
14. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-827, Дубна, 1988.
15. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-89-847, Дубна, 1989.
16. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-90-63, Дубна, 1990.
17. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-90-473, Дубна, 1990.
18. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-90-536, Дубна, 1990.
19. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-91-317, Дубна, 1991.
20. Гусаков Ю.В., Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-91-148, Дубна, 1991.
21. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-92-366, Дубна, 1992.
22. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-93-105, Дубна, 1993.
23. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-93-128, Дубна, 1993.
24. Гальперин М.В. — Практическая схемотехника в промышленной автоматике. М.: Энергоатомиздат, 1987, с.283.
25. Учи Г. — Персональные компьютеры для научных работников. М.: Мир, 1990, с.196.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 сентября 1997 года.