

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Р 693

13-88-827

Ю.И.Романов

**ЦИФРОВОЙ ВОЛСТРОН
ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ
ИОННЫМ ИСТОЧНИКОМ**

1988

За последние 3-3,5 года уровень помех на электрофизических установках /ЭФУ/, обусловленный широким внедрением различных радиоэлектронных устройств и электроэнергетического оборудования, возрос примерно в 2 раза^{/2/}. Общим принципом устранения влияния внешних помех на тракт передачи сигналов управления - ЭФУ является существенное разнесение спектров сигналов носителя информации и возмущающего воздействия. В настоящее время перспективным и, пожалуй, единственным направлением в создании скоростных и высоконадежных каналов управления ЭФУ является использование волоконно-оптических линий связи /ВОЛС/. В системах управления ЭФУ используется, как правило, до десятка и более одноканальных ВОЛС среднего быстродействия^{/2/}. Такая многолинейная структура оптоэлектронных каналов создается путем прокладки волоконно-оптического кабеля поверх ограждения ЭФУ для обеспечения связи между блоками аппаратуры, расположенными на высоковольтном термине, и пультом управления. Степень интеграции оптоэлектронных каналов связи определяется исполнением оконечных устройств /передающих, приемных/. Каналы ВОЛС малой протяженности /5 ÷ 10 м/, как показывает практика, целесообразно изготавливать оптически неразъемными. Исключения составляют отдельные случаи, когда введение в линейный тракт дорогостоящих оптических соединителей диктуется условиями применения /например, при прохождении труб, стен, всевозможных перегородок и т.д./. Оценка эффективности применения оптоэлектронных каналов связи на ЭФУ показывает, что отказ от использования оптического соединителя в несколько раз снижает стоимость канала ВОЛС и вместе с тем повышает его надежность. Стремление сохранить в составе оптоэлектронных каналов разъемность конструкции привело к созданию более простых и дешевых "активных" соединителей, изготовленных на основе стандартных электрических разъемов^{/3,4/} с той или иной комбинацией выводов. Этот этап отражает "психологию" создания удобного в эксплуатации канала связи, с учетом его технико-экономических показателей.

Продолжение работ по совершенствованию короткометражных /монтажных/ ВОЛС позволило сформулировать теоретическое обоснование для разработки нового изделия электронной техники - волстроны^{/5,6/}, содержащего в качестве канала передачи информации отрезок волоконно-оптического кабеля /ВОК/, который оп-



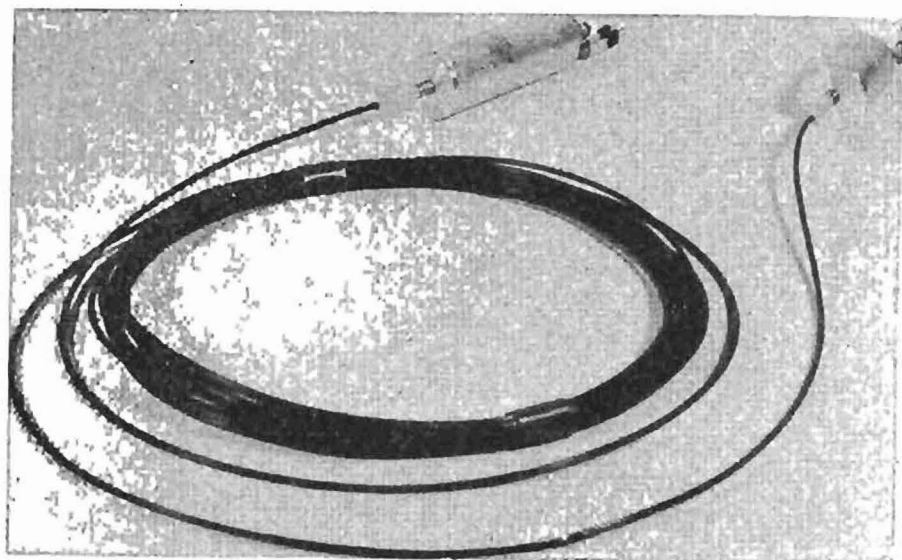


Рис. 1. Внешний вид волстро́на.

тически и механически неразъемно соединен с оконечными устройствами /рис. 1/, одно из которых выполняет функцию преобразования электрического сигнала в оптический /передающий оптический модуль - ПОМ/, а другое - преобразования оптического сигнала в электрический /приемный оптический модуль - ПРОМ/.

Таким образом, волстро́н - механически неразъемное изделие, все элементы которого, как оптические, так и электронного обрамления, интегрированы в процессе его изготовления. Это отличие носит принципиальный характер, так как волстро́н в отличие от ВОЛС, оснащенной разъемными соединителями, представляет собой не набор элементов, а единый прибор.

По сравнению с ВОЛС, в которой используются оптические соединители, волстро́н обеспечивает выигрыш в энергетике светопередачи, вследствие лучших условий ввода излучения в волокно и отсутствия потерь на разъемных соединителях. Этот выигрыш может достигать $4 \div 6$ дБ, что позволит снизить ток возбуждения излучателя и повысить надежность работы ПОМ. Поскольку стоимость оборудования оконечных устройств у такого прибора сравнительно невелика /сравнима со стоимостью интегральных микросхем/, волстро́н не подлежит ремонту.

Технический уровень волстро́на определяется, в первую очередь, характеристиками используемой элементной базы и степенью согласованности элементов между собой. К основным из них

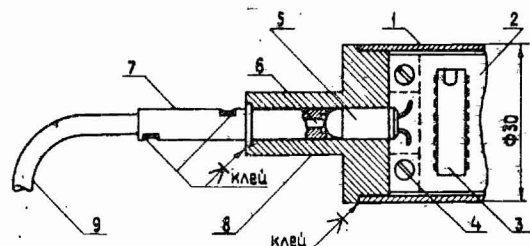


Рис. 2. Конструкция волстро́на: 1 - корпус /алюминиевый стакан/, 2 - печатная плата, 3 - микросхема, 4 - винт крепления платы, 5 - светодиод /фотодиод/, 6 - волоконный светодиод с полусферической микролинзой, 7 - наконечник, 8 - обойма, 9 - волоконно-оптический кабель.

относятся: излучатель, волоконно-оптический кабель с элементами оптического соединения, фотоприемник, микросхемы электронного обрамления, корпуса оконечных блоков:

1. Оптимальными излучателями для волстро́на признаны светоизлучающие диоды, созданные на основе галлий-арсенидовых структур, работающие в диапазоне $820 \div 950$ нм. Генерируемая ими световая мощность достаточна для короткой неразъемной линии, а превосходство перед полупроводниковыми лазерами в долговечности, надежности, экономичности, простоте применения и низкой стоимости. В данной конструкции использован специально подобранный светодиод АЛ107Б^{7/}, с остро направленной индикатрисой без существенного смещения направления максимального излучения относительно геометрической оси кристалла излучателя.

2. Для волстро́нов желательны высокоапертурные волокна с большим диаметром световедущей области. Для повышения эффективности ввода излучения от электролюминесцентного диода в оптическое волокно /отношения мощности, введенной в волокно, к полной мощности излучателя/ необходим согласующий элемент^{8/}. Этим требованиям, в основном, отвечает ступенчатое кварц-кварцевое волокно /КК-150/60/ с полусферической микролинзой, сформированной на его торце /рис. 2/. Такая линза выполняется интегрально с волокном путем разогрева световода в плазме электрического разряда, не требует юстировки относительно волокна, достаточно проста в изготовлении. При аккуратном проведении этой операции полусферическая линза будет иметь диаметр, равный диаметру оболочки волокна /~150 мкм/. Необходимо качественно подготовить торец волокна к оплавлению. Точное оплавление обеспечивает получение ровных, гладких, свободных от поверхностных несовершенств линз. Противоположный конец волоконного световода /стыкуемый с фотоприемником/ для получения высокого качества торцевой поверхности и перпендикулярности среза волокна к его оси в специальном приспособлении также подвергался обработке электрической искрой. В результате проведе-

ния этой операции образуется торец, оптические качества которого достаточно высоки. При проведении технологической обработки волокна использовалась установка для сварки волоконных световодов.

3. В качестве фотоприемника, как и для любых коротких линий, для волстрона наилучшим по сочетанию высокого быстродействия, чувствительности и простоты применения являются р-и-п фотодиод и поверхностно-барьерный высокочастотный фотодиод /ПБФД/. В данной конструкции использован ПБФД типа ФД-256/9/, /далее по тексту - ФД/.

4. Элементная база волстрона /см. далее рис. 4 и 6/ в значительной степени подобна элементной базе ВОЛС. Передающий оптический модуль /ПОМ/ построен с применением распространенных цифровых интегральных схем серии 155. Приемный оптический модуль /ПРОМ/ построен с использованием аналоговых интегральных схем серий 544 и 554. Вспомогательные узлы модулей /индикации и сопряжения/ выполнены на цифровых интегральных схемах серии 155. Комплексная миниатюризация оптоэлектронных узлов /ПОМ и ПРОМ/ позволила выполнить их в виде функционально законченных оптоэлектронных модулей.

5. Конструктивно волстрон представляет собой прибор, оконечные блоки которого неразъемно соединены с волоконно-оптическим кабелем /рис. 1/. Электрические схемы ПОМ и ПРОМ смонтированы на печатных платах /45x30 мм², 85x30 мм²/. Они настраиваются, тренируются и отбраковываются, затем помещаются в алюминиевые стаканы от электролитических конденсаторов. Отдельные элементы изделия /наконечник с ВОК, алюминиевый стакан и др./ фиксируются клеем "циакрин". Таким образом, после монтажа волстрона волоконно-оптическая линия становится неизвлекаемой. При установке приборов в кассеты 2М механического стандарта КАМАК /рис. 3/ корпус волстрона закрепляется конструктивным элементом, расположенным внутри ячейки. Подсоединение изделия к аппаратуре производится с помощью электрических соединителей. Для монтажа волоконно-оптических кабелей /ВОК/ на передней панели кассеты сделан Т-образный паз с раздвижным фиксатором положения ВОК внутри этого паза.

При создании волстрона существенным является выбор источника излучения, оптимального с точки зрения требуемых технических характеристик и экономичности.

Передачик оптический /рис. 4/. Известно, что время нарастания и спада светового импульса определяется не только собственными характеристиками используемого светодиода, но и амплитудой токового импульса^{/10/}. Время нарастания и спада импульса можно сократить, подавая на светодиод не прямоугольный, а ступенчатый импульс тока, амплитуда которого в начальный

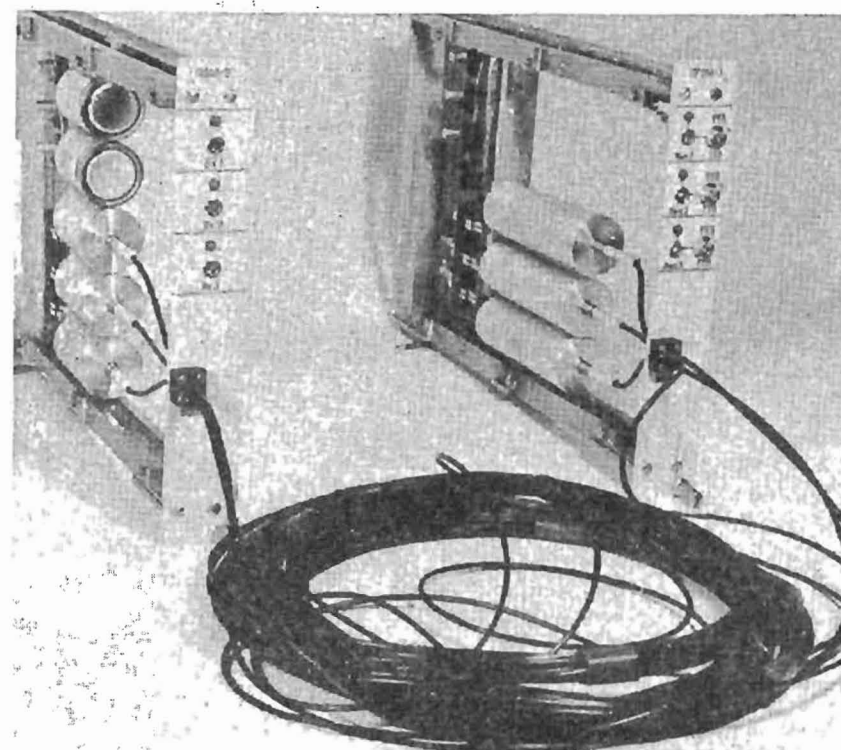


Рис. 3. 3-канальные блоки связи на основе волстрона.

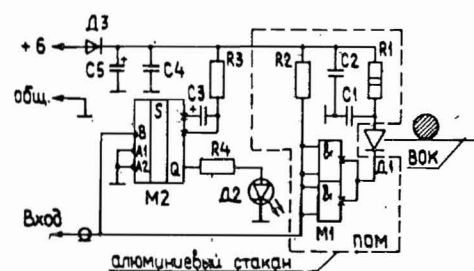


Рис. 4. Электрическая схема ПОМ: /M1 - К155ЛИ5, M2 - К155АГ1; на электрической схеме ПОМ не показан резистор, включенный между выходом M1 и шиной источника питания +5 В/.

момент времени значительно больше его стационарного значения /способ "пульсаций"/^{/11,12/}. На рис. 5 показано действие пульсаций. Условия эксплуатации светодиода АЛ107Б в качестве излучателя для волстрона допускают работу при амплитуде токового импульса до 0,5 А, что позволяет реализовать его накачку ступенчатым импульсом тока большой амплитуды. Электрическая схема

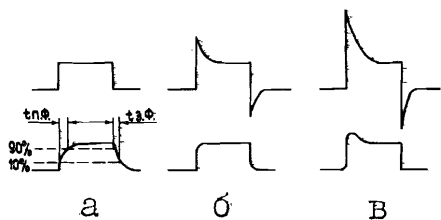


Рис. 5. Действие пульсаций.
/Вверху - импульсы на светодиоде ПОМ; внизу - на фотодиоде ПРОМ/ а - без пульсаций; б - оптимальные пульсации; в - сверхпульсации /перепульсации/.

передающего модуля волстропа, осуществляющего режим светодиода, близкий к необходимому /рис. 4/, состоит из двух ТТЛ-вентилей, включенных параллельно /микросхема К155ЛП5/, ускоряющего емкости C_1 , резистора R_1 и светодиода АЛ107Б с временем нарастания и спада ~ 300 нс. При отсутствии сигнала на входе микросхемы напряжение на ее выходе равно 4 В, на ускоряющей емкости $V_{C1} = 5$ В. Падение напряжения на светодиоде составляет ~ 1 В, что недостаточно для его возбуждения. При подаче на вход устройства сигнала "лог.0" напряжение на его выходе падает до 0,5 В, и через светодиод начинает течь ток от емкости C_1 и источника питания через резистор R_1 . В начальный момент времени после переключения микросхемы на светодиод подается напряжение, равное $V_{C1} - V_{кл}$ /где $V_{кл}$ - напряжение открытого ключа/, т.е. $V_{сд} = 4,5$ В. Этим напряжением и дифференциальным сопротивлением светодиода $r_{сд}$ определяется начальный ток $I_{н} \sim 80$ мА/, который задает крутизну нарастания светового импульса. После окончания сигнального импульса на входе напряжение на C_1 устанавливается на уровне $V_{C1} = \sim 2,5$ В, а на выходе микросхемы $\sim 4,5$ В. Таким образом, к светодиоду прикладывается обратное напряжение $V_{сд} = V_{C1} - V_{кл} = 2,5$ В - 4,5 В = -2 В, что способствует быстрому разряду емкости объемного заряда светодиода и уменьшению времени спада светового импульса. Применяя способ "пульсаций" в оптическом передатчике, удалось при меньшем токе возбуждения \sim на 50% уменьшить инерционность светодиода и обеспечить более высокую скорость передачи. На микросхеме M_2 собрано устройство индикации поступающей на вход M_1 цифровой информации.

Приемник оптический /рис. 6/ включает в себя следующие узлы: трансимпедансный усилитель /ТИУ/ на микросхеме M_1 , линейный неинвертирующий усилитель /М2/ и компаратор /М3/. В качестве приемника оптического излучения использован фотодиод D_1 , работающий в режиме обратного смещения. Для преобразования токового выхода фотодиода в напряжение применен широкополосный операционный усилитель M_1 К544УД2А, имеющий коэффициент усиления /КУ/ ~ 50 . Линейный неинвертирующий усилитель /М2/ с КУ ~ 20 использован для подстройки коэффициента тракта при измене-

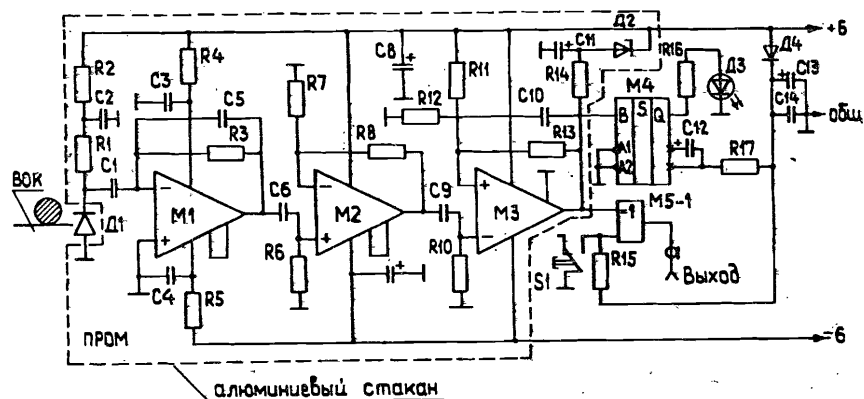


Рис. 6. Электрическая схема ПРОМ: M_1, M_2 - КР544УД2А; M_3 - К554СА3В; M_4 - К155ВГ1; M_5 - К155ЛП5.

нии величины потерь, а также строительной длины ВОК. При использовании в качестве приемника излучения D_1 кремниевого ПБФД типа ФД-256 на длине волны излучения арсенид-галлиевых светодиодов /820 950 нм/ была получена крутизна преобразования ~ 30 В/мВт. Пиковое значение напряжения шумов на выходе ~ 50 мВ. Уровень порога срабатывания компаратора ≤ 150 мВ/ контролировался на стенде перед установкой микросхемы M_3 в изделие. Для устранения многократного срабатывания от возможных паразитных импульсов в компараторе введена положительная обратная связь, которая переводит M_3 в режим триггера Шмитта с гистерезисом в 1 мВ. Вентиль M_5-1 выполняет функции согласующего элемента /буфер, инвертор/. На M_4 собрано устройство индикации наличия информации на выходе оптического приемника.

Основные параметры волстропа

- | | |
|--------------------------------------------|--------------|
| 1. Длина кабельной части волстропа, м | - 10 |
| 2. Вид входных сигналов | - ТТЛ |
| 3. Вид выходных сигналов | - ТТЛ, ТТЛ |
| 4. Скорость передачи, Кбит/с | - 0,16...300 |
| 5. Напряжение питания ПОМ, В | - +6 |
| 6. Напряжение питания ПРОМ, В | - +6, -6 |
| 7. Ориентировочная стоимость изделия, руб. | - ~ 100 |

На рис. 7 приведены структурные схемы оптоэлектронных каналов, используемых на ЭФУ^{8,13}. На рис. 8а изображен один из элементов световодного канала связи - "длинный" оптоэлектрон. В основе интегрированного изделия¹⁴ - световодная ли-

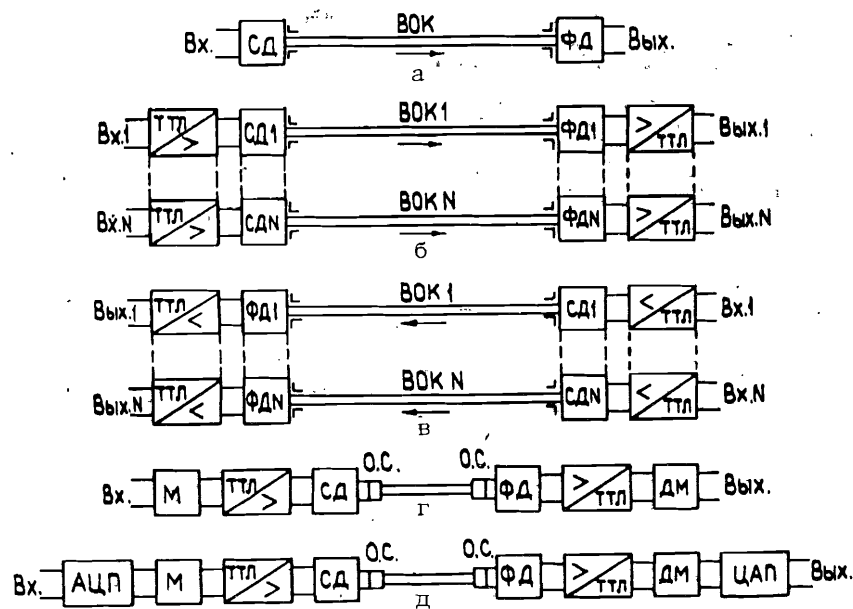


Рис. 7. Структурные схемы оптоэлектронных каналов связи: СД - светодиод, ВОК - волоконно-оптический кабель, ФД - фотодиод, М - мультиплексор, ОС - оптический соединитель, ДМ - демультиплексор, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь.

ния связи /отрезок ВОК/ и оптоэлектронные компоненты, размещенные в миниатюрных электрических разъемах типа LEMO. Ниже на рисунках показано, что интеграция каналов связи характеризуется наращиванием числа простых каналов типа "Волстрон" в параллель /рис. 7б и 7в/, а также усложнением световодных каналов связи за счет повышения уровня интеграции оконечных устройств и расширения их функциональных возможностей /рис. 7г, 7д/.

Параллельная организация каналов ВОЛС на ЭФУ используется для повышения скорости передачи цифровой информации на малые и средние расстояния. При передаче данных на большие расстояния применяются устройства уплотнения/разуплотнения информации, входящие в состав передающего /приемного/ устройства /рис. 7г и 7д/. В случае передачи аналоговых сигналов в цифровые каналы ВОЛС добавляются схемы АЦП и ЦАП на входе передающего и выходе приемного устройств /рис. 7д/.

Общая стоимость канала ВОЛС C_{Σ} складывается из стоимости передающих $C_{ПОМ}$ и приемных $C_{ПРОМ}$ оптических модулей,

волоконно-оптического кабеля $C_{ВОК}$, а также стоимости затрат, связанных с изготовлением $C_{И}$, монтажом $C_{М}$, эксплуатацией $C_{Э}$ в соответствии с формулой

$$C_{\Sigma} = C_{ПОМ} + C_{ПРОМ} + C_{ВОК} + C_{И} + C_{М} + C_{Э}.$$

Снизить C_{Σ} можно путем уменьшения каждой составляющей формулы. Так, переход от гибридной технологии к твердотельной при изготовлении передающих и приемных модулей существенно снизит их себестоимость. Применение оптически неразъемных соединений в коротких /монтажных/ ВОЛС упрощает и тем самым также удешевляет изготовление световодных каналов для высоковольтных ЭФУ.

Когда объем передаваемой информации достаточно большой, может применяться ее уплотнение с помощью волоконно-оптических мультиплексоров /15/. Однако для оптоэлектронных каналов связи малой протяженности $5 \div 10$ м, используемых на ЭФУ для синхронизации управления и телеметрии, при уплотнении информации ухудшается быстродействие такого канала связи. Кроме того, уплотнение информации теряет всякий смысл при передаче ее на малые расстояния, поскольку возрастает /в соответствии с формулой, приведенной выше/ общая стоимость канала ВОЛС за счет аппаратной избыточности. Поэтому при использовании монтажных ВОЛС на высоковольтных ЭФУ наиболее оптимальным является использование параллельной передачи информации по параллельным каналам ВОЛС.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее широкое применение во внутриобъектовых системах управления ЭФУ найдут короткие оптические неразъемные оптоэлектронные каналы связи, как наиболее дешевые и простые в изготовлении и эксплуатации /входные и выходные электрические параметры контролируются обычной электроизмерительной аппаратурой/.

Автор благодарит М.А.Воеводина, П.К.Маньякова, И.А.Шелаева за обсуждение результатов эксперимента, П.Н.Буйлова за помощь в монтаже и испытаниях 3-канальных блоков в системе управления инжектором установки СПИН /16/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Katzel S. - *Feinwerktechnik & Mestechnik*, 1983, 91, No.4, p.187.
2. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
3. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
4. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-83-478, Дубна, 1983.
5. Носов Ю.Р. и др. - *Электронная промышленность*, 1983, вып.6 /123/, с.12.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

6. Носов Ю.Р. - Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1984, Вып.4 /170/, с.57.
7. Диоды и тиристоры /под ред. Н.А.Чернышева/. М.: Энергия, 1980.
8. Аюц Ю.Х. и др. - Квантовая электроника, 1982, т.9, №11, с.2197.
9. Ишанин Г.Г. Приемники излучения. Л.: Машиностроение, 1986.
10. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-10103, Дубна, 1976.
11. Werner, Wiesner - Elektronik, 1984, 26/28, 12, 88.
12. Вилисов А.А. и др. - Радиотехника, 1984, №8, с.77.
13. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
14. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
15. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-88-636, Дубна, 1988.
16. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, P9-83-582, Дубна, 1983.

D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
D3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
D1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
D9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
D7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
D2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
D4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
D2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
D14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
D17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 ноября 1988 года.