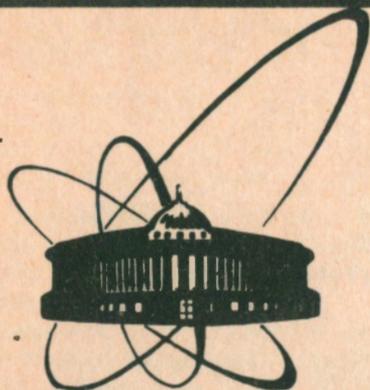


90 - 63



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Р 693

13-90-63

Ю. И. Романов

**ПОМЕХОЗАЩИЩЕННАЯ СВЕТОВОДНАЯ СИСТЕМА
ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ИОННОГО ИСТОЧНИКА**

1990

В высоковольтном ускорителе заряженных частиц на базе импульсного трансформатора необходимо решать проблему дистанционного управления /ДУ/ режимами работы ионного источника форинжектора ускорителя/1/.

Создание ДУ сопряжено с определенными трудностями, так как электронная аппаратура и исполнительные устройства, задающие режимы работы источника, находятся в тяжелых радиационных условиях, при сезонных перепадах температур $+5 \div +35/^\circ\text{C}$, под потенциалом ~ 700 кВ относительно "земли" ускорителя. Питание радиоэлектронной аппаратуры, расположенной на высоковольтном терминале, осуществляется от машинного генератора переменного напряжения 220 В, вращаемого с "земли" через изолирующий вал. На высоковольтной платформе находятся энергоемкие дистанционно управляемые структуры — системы питания ионного источника. Последние подключены к соответствующим электродам, формирующим ионный пучок. Напряжение питания этих систем регулируется с помощью лабораторных автотрансформаторов /ЛАТРов/. Управление ЛАТРами осуществляется с "земли" с помощью валов из дельта-древесины длиной 3 м, выполняющих функцию гальванической развязки. Валы на уровне "земли" приводятся во вращение реверсивными двигателями постоянного тока /типа МПР-3/. Последние имеют редукторы с определенным передаточным отношением и потенциометрические датчики положения. Управление электроприводами производится по проводному каналу связи, положение валов индицируется стрелочными индикаторами на пульте управления.

При настройке режимов работы ионного источника типа дуаплазatron характерно использование следующих регулировок:

- 1/ ток магнита источника;
- 2/ напряжение на катоде;
- 3/ напряжение экстракции ионов;
- 4/ напряжение заряда линии;
- 5/ скорость натекания газа /палладий/;
- 6/ напряжение на фокусирующем электроде.

Оператор на пульте управления, выбрав соответствующий канал управления и манипулируя кнопками "больше" или "меньше", приводит токосъемник ЛАТРа, установленного на высоковольтном терминале, во вращение, изменяя, таким образом, в ту или иную сторону значение выбранного параметра, а значит, и режим работы ионного источника.

Применяемые на ускорителях ионов системы ДУ характеризуются многопроводностью электрических каналов управления, использованием большого количества изолирующих валов ≈ 8 , сложной механикой приводов, их высокой стоимостью.

Предпосылкой для создания новой, более совершенной системы ДУ с возможностью наращивания числа регулируемых параметров, на наш взгляд, послужила бы интеграция отдельных электромеханических узлов в один "мотор - ДАТР" с потенциометрическим датчиком положения. Для управления шестью или более "интегрированными" таким образом узлами, установленными на высоковольтной платформе, можно использовать волоконно-оптическую линию связи /ВОК/ с последовательной передачей команд /1/. Релейно-контактная аппаратура, реализованная в выходной ступени устройства системы ДУ, обеспечит надежное управление электроприводами.

В соответствии с проектом "Нуклотрон"/2,3/ и с учетом опыта эксплуатации аппаратуры ДУ на инжекторе СПИН/4/ был разработан и изготовлен более совершенный 50-метровый помехозащищенный световодный канал дистанционного управления режимами работы ионного источника, описанный ниже.

Световодный канал управления включает в себя задающую /рис. 1/ и исполнительную /рис. 5/ части.

Задающая часть /рис. 1/ состоит из устройства автоматического выбора канала управления /АВКУ/, кодирующего устройства /кодера/, передающего оптического модуля /ПОМ/ с оптическим соединителем /ОС/. Коммуникационной средой световодного канала служит волоконно-оптический кабель /ВОК/. АВКУ предназначено для последовательного подключения каналов /1 : 14/ и управления этими каналами.

В устройстве предусмотрена возможность в процессе переключения зафиксировать любой канал управления на длительное время, вернуться в начальное положение с любого положения и с этого положения продолжить коммутацию в прежней последовательности. Номер каждого включенного канала вы-

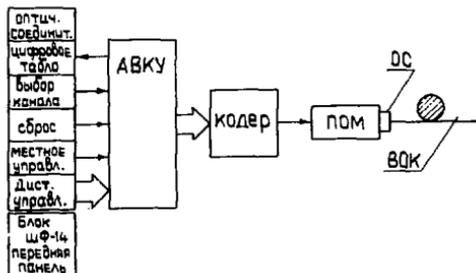


Рис. 1. Структурная схема задающей части световодной системы дистанционного управления.

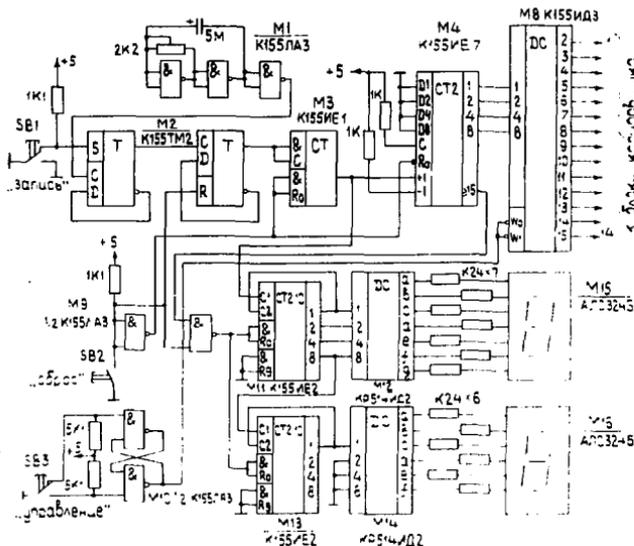


Рис. 2. Электрическая схема устройства автоматического выбора канала управления /ABKU/.

свечивается светодиодным индикатором, что позволяет оператору наблюдать за функционированием устройства в целом.

Электрическая схема ABKU показана на рис. 2. Устройство собрано на микросхемах серии 155 и 514. На микросхеме M1 собран генератор прямоугольных импульсов, частоту которого можно изменять в широких пределах. Импульсы с выхода генератора поступают на вход делителей частоты на 4 /M2/ и делитель на 10 /M3/. Далее эти импульсы с частотой повторения, в 40 раз меньшей частоты генератора, поступают на двоичный /M4/ и двоично-десятичный /M11, M13/ счетчики. Двоичный 4-разрядный счетчик /M4/ связан с дешифратором /M8/ команд управления. Выходы последнего подключаются к соответствующим входам кодировщика /кодера/. Для вывода информации, содержащейся в данный момент в счетчиках /M11, M13/, на цифровые индикаторы /M15, M16/ использованы дешифраторы /M12, M14/.

Выбор канала управления осуществляется кнопкой SB1. При подаче "лог.1" на вход S /M2/ начинается счет импульсов. Отпус-

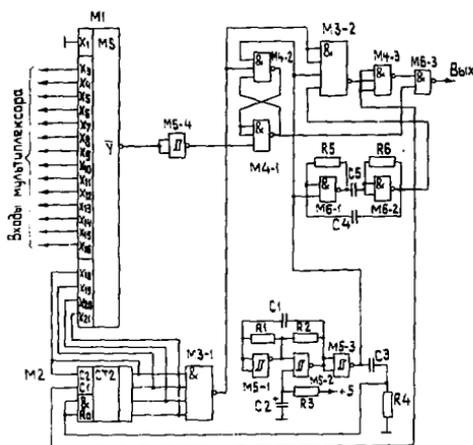


Рис. 3. Электрическая схема кодирующего устройства /кодера/: M1 – K155КП1; M2 – K155ИВ5; M3 – K155ЛА1; M4 – K155ЛА4; M5 – K155ТЛ3; M6 – K155ЛА3.

тив кнопку SB1, счет прекращается и счетчик хранит полученную информацию. Таким образом, на неограниченное время остается записанным адрес канала управления. Подача команды на исполнение производится нажатием

ем кнопки SB3. При нажатии на кнопку SB2 "сброс" делителя /M2, M3/ и счетчики M4, M11, M13 устанавливаются в нулевое состояние. Синхронизация двоично-десятичных счетчиков /M11, M13/ с работой двоичного счетчика /M4/ осуществляется 15-м импульсом, поступающим от вывода окончания счета на увеличение, который и производит их обнуление. Электрическая схема кодирующего устройства /кодера/ изображена на рис. 3.

Кодер состоит из мультиплексора /M1/, тактового генератора /M5.1, M5.2, M5.3/, генератора импульсов /M6.1, M6.2/, счетчика /M2/, формирователя сигнала окончания посылки /M3.1/, триггера /M4.1, M4.2/, коммутатора импульсов /M3.2, M4.3, M6.3/.

В зависимости от выбранного канала управления на выходе кодера генерируются посылки, состоящие из $2 \div 15$ импульсов длительностью ~14 мкс с частотой повторения посылок ~250 Гц.

Кодер команд работает следующим образом. При включении источника питания генератор одиночного импульса, выполненный с использованием R3C2 - цепочки и инвертора M5.2, устанавливает триггер /M4.1, M4.2/ в исходное состояние, генератор импульсов /M6.1, M6.2/ при этом блокируется. Когда напряжение на C2 достигнет уровня "лог. 1", тактовый генератор /M5.1, M5.2/ запускается. На выходе инвертора M5.3 возникает положительный перепад напряжения. Продифференцированный цепью R4C3, он поступает на вход /R_с/ счетчика M2 и устанавливает его в нулевое состояние. Одновременно включается ге-

Отличительной особенностью используемого ПОМ является лучшая способность подавления электромагнитных помех, излучаемых шинами питания. В схеме использован принцип переключения тока, заданного генератором стабильного тока /Т1, Т2/. В исходном состоянии входной потенциал интегральных вентилях /М1/ имеет уровень "лог. 1", диод Д2 заперт и светодиод Д1 дает максимальное свечение, генерируя световой поток стабильной мощности. При включении М2 ее выходной потенциал резко снижается, диод Д2 отпирается и практически весь ток переключается в цепь интегральных вентилях. Светодиод Д1 в этом случае быстро запирается. Максимальный ток нагрузки вентилях и ток проводимости открытого светодиода не превышает 80 мА, т.е. уровни, заданный генератором стабильного тока, и, таким образом, четко регламентированы. Изменением величины резисторов R2, R3 можно "программировать" выходную мощность излучателя. Диод Д3 служит для температурной стабилизации генератора стабильного тока.

Использование описанной схемы модулятора сводит к минимуму временные искажения импульсов, генерируемых ПОМ, что имеет важное значение при больших скоростях передачи данных. Шины питания источника не моделируются перепадами тока, достаточно длинные проводники печатных плат, действующие как антенны, излучают более слабые поля в соответствии с меньшими амплитудами изменения тока. Таким образом, уровень электромагнитных помех, излучаемых ПОМ, минимизируется.

Исполнительная часть /рис. 5/ состоит из приемного оптического модуля /ПРОМ/ с оптическим соединителем /ОС/ для подключения волоконно-оптического кабеля /ВОК/ и декодирующего устройства /декодер/.

Приемный оптический модуль /ПРОМ/ включает в себя следующие узлы /рис. 6/: трансимпедансный усилитель /ТИУ/, выполненный на микросхеме М1, линейный неинвертирующий усилитель /Т1, Т2/, компаратор /М2/. В качестве детектора оптического излучения использован фотодиод типа ФД256, работающий в режиме

обратного смещения. Он смонтирован в розеточном узле оптического соединителя /ОС/. Функцию преобразования "ток - напряжение" выполняет ТИУ. Для повышения разрешающей способности пре-

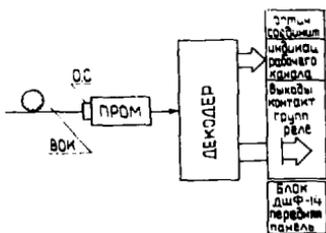


Рис. 5. Структурная схема исполнительной части световодной системы дистанционного управления.

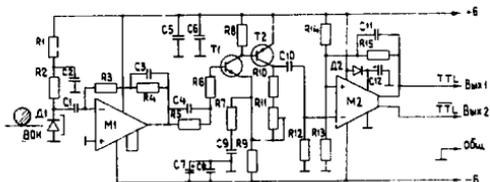


Рис. 6. Электрическая схема приемного оптического модуля /ПРОМ/: M1 - K544UD2A; M2 - K521CA4; T1 - KT368; T2 - KT349; Д1 - ФД256; Д2 - КД208.

образователя необходимо, чтобы сигнальный ток превышал значение входного тока операционного усилителя /ОУ/. Этому и другим требованиям в основном отвечает ОУ типа K544UD2A с полевыми транзисторами на входе /M1/. Данный ОУ имеет низкий входной ток /~0,1 нА/, малое приведенное напряжение шумов и скорость нарастания входного напряжения 20 В/мкс. ТИУ имеет коэффициент усиления /КУ/ ~50. Линейный неинвертирующий усилитель на T1, T2 имеет КУ ~20. Он используется для подстройки световодного тракта при изменении величины потерь, а также строительной длины ВОК. Уровень порога срабатывания компаратора /: 100 мВ/ устанавливается резистором R11 таким образом, чтобы компенсировать собственные шумы широкополосного фотоусилителя. Компаратор решающего устройства выполнен на интегральной микросхеме K521CA4 с парафазным входом и выходом. Для устранения многократных срабатываний от возможных паразитных импульсов в компараторе введена положительная обратная связь, которая переводит его в режим триггера Шмидта с гистерезисом ~1 мВ. Вывод информации из ПРОМ осуществляется последовательностью импульсов со стандартным уровнем ТТЛ.

Структурная схема декодера команд приведена на рис. 7, временные диаграммы его работы - на рис. 8.

Декодер состоит из следующих узлов: счетчика импульсов команд /СЧ/, одновибратора /ОВ/, необходимого для дешифрации импульсной посылки, регистра памяти /РП/, узла сравнения кодов /УСК/, дешифратора - демультиплектора /ДЩ/, тактового генератора /ТГ/, автомата управления /Т1, Т2 и вентили а, б, в, г/, формирователей временного интервала /Ф/, выходного релеинконтактного устройства /РКУ/ с индикаторами рабочих каналов.

Декодер команд управления работает следующим образом. Пачки импульсов, сформированные приемно-оптическим модулем /ПРОМ/, поступают на вход одновибратора /ОВ/ и счетчика /СЧ/. С при-

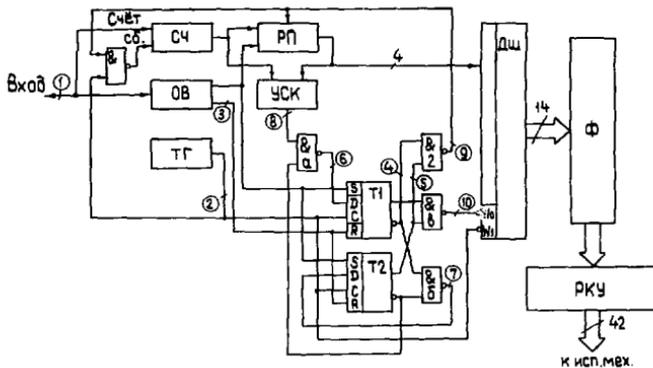


Рис. 7. Структурная схема декодирующего устройства /декодера/.

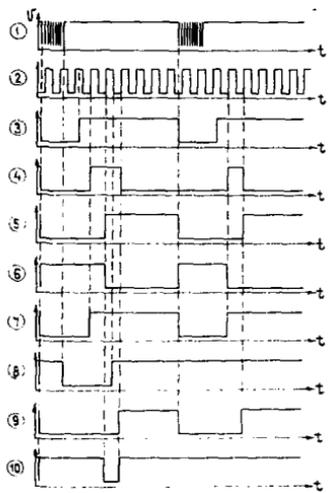


Рис. 8. Временные диаграммы работы декодера.

ходом пачки информационных сигналов счетчик /СЧ/ начинает подсчет содержащихся в ней импульсов, а на выходе одновибратора /ОВ/ устанавливается уровень "лог. 0". Длительность выходного импульса ОВ выбрана ~ на 10, большей, чем длительность самой большой пачки информационных сигналов /15 импульсов/. Уровень "лог. 0" с выхода одновибратора поступает на входы R-триггеров /Т1, Т2/ и устанавливает автомат в исходное состояние /уровни "лог. 0" на выходах 5 и 9, Т1 и Т2 соответственно/. Выходной код двоичного счетчика /СЧ/ сопоставляется в узле сравнения

/УСК/ с кодом предыдущей посылки, записанной в регистр памяти /РП/. Если эти коды идентичны, то после окончания последнего импульса в пачке на выходе узла сравнения кодов /УСК/ появляется сигнал "лог. 0". Инвертированный уровень этого сигнала приводит к установке "лог. 1" на входе Д-триггера /Т1/. На аналогичном входе триггера /Т2/ остается прежний уровень "лог. 0".

Через некоторое время одновибратор /ОВ/ возвращается в исходное состояние. Уровень "лог. 0" на входах R-триггеров /Т1, Т2/ сменяется уровнем "лог. 1". Следующий импульс тактового генератора переводит автомат в логическое состояние, при котором уровни на выходах триггера /Т1/ меняются на противоположные. Предположим, автомат управления изменил свое состояние. Тогда на прямых выходах триггеров /Т1, Т2/ устанавливаются уровни "лог. 1". С выхода вентиля "в" на вход W_0 - дешифратора-демультиплексора /ДШ/ поступает сигнал "лог. 0", разрешающий выдачу команды на выход. Она появляется в виде импульса отрицательной полярности / $t_{\text{н}} \approx 30$ мкс/ после окончания действия тактового генератора.

При изменении автоматом управления своего состояния на выходах триггера /Т1/ уровни сигналов меняются на противоположные и остаются до прихода следующей пачки импульсов. При этом в регистр памяти /РП/ переписывается выходной код двоичного счетчика /СЧ/ и он возвращается в исходное /нулевое/ состояние.

При появлении на входе дешифратора-демультиплексора /ДШ/ команд очередной пачки импульсов процесс, описанный выше, повторяется только в том случае, если число импульсов в ней такое же, как и в предыдущей. Предположим, что в работе ПРМ зафиксирован сбой командной посылки. Тогда сигнал "лог. 0" на выходе узла сравнения кодов /УСК/ после окончания посылки не появляется /рис. 8 /8//. Автомат управления переходит в такое состояние, когда на прямом выходе триггера /Т1/ устанавливается уровень "лог. 0", на одноименном выходе /Т2/ - "лог. 1". При этом информация из счетчика /СЧ/ переписывается в регистр памяти /РП/, но разрешения на выдачу команды дешифратор-демультиплексор /ДШ/ не получает, так как на вход W_0 микросхемы поступает сигнал "лог. 1".

Таким образом, командный сигнал поступает на привод реле /Ф, РКУ/ только в том случае, если число импульсов в принятой посылке такое же, как и в предыдущей.

Формирователи временного интервала /Ф/ - одновибраторы / $T_{\text{н}} = 7$ мс/. Они служат для увеличения длительности воздействия сигнала управления на приводы релейно-контактного устройства /РКУ/, построенного с использованием транзисторов КТ312В и реле типа РЭС-10.

В процессе изготовления линии связи с использованием ВОК основные технологические операции производились на специальной установке.

РАБОТЫ, ПРОВОДИМЫЕ НА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ УСТАНОВКЕ

1. Изготовление ВОЛС с различными строительными длинами предполагает умение наращивать волоконно-оптический кабель /ВОК/. В данной работе для надежного соединения отдельных кусков ВОК применялось сварочное устройство, позволяющее сваривать оптические волокна с помощью электрической дуги. Своиства сварных соединений, в отличие от клеевых, не ухудшаются со временем. Кроме того, при сварке происходит самоочировка волокон, обусловленная силами поверхностного натяжения в расплаве. Для повышения механической прочности сварного соединения проводились следующие мероприятия:

- а/ работа производилась в перчатках и при минимальном времени разогрева волокон;
- б/ концы волокон защищались не механически, а химически, путем травливания покрытия в горячей серной кислоте с промывкой в ацетоне;
- в/ захват волокон при бандаже после выполнения сварного соединения осуществлялся только за покрытие.

Для увеличения механической прочности сварного соединения его усиливают. Упрочняющий элемент был изготовлен из тонкой металлической пластины, из которой формировался U-образный бандажный профиль, куда укладывалось сварное соединение. Специальным инструментом концы упрочняющего элемента с уложенным внутри сварным соединением деформировались таким образом, чтобы обеспечить надежную фиксацию с покрытием волокна. Затем это сборно-сварное соединение укладывалось в полость защитной металлической муфты /рис. 9/. Последняя своими резьбовыми частями надежно фиксирует защитную оболочку ВОК, образуя, таким образом, механически прочное неразъемное соединение. Проведенные замеры затухания в сварном соединении с помощью оптического тестера "Электроника ОТ-7" показали, что потери энергии в сростке оптических волокон менее 0,3 дБ.

2. Получение пространственно однородного фронта волны предполагает высокое качество торцевой поверхности, а также перпендикулярность среза волокна к его оси. Эти требования необходимо учитывать при подготовке оптического волокна /ОВ/ перед заделкой в наконечник /вилочную часть оптического соединителя/. Для получения высококачественных торцевых поверхностей ОВ также использовался электрический дуговой разряд

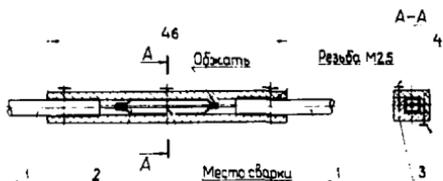


Рис. 9. Защитная муфта для сварного оптического соединения: 1 - световод; 2 - бандажный V-образный профиль; 3 - половинки защитной муфты; 4 - стяжные винты.

Сущность метода заключается в том, что ОВ подвергается обработке электрической искрой, в результате чего на обрабатываемой поверхности образуется торец, оптические качества которого достаточно высоки. Чтобы получить такой высококачественный горцевой срез ОВ, оси электродов и световода должны находиться в одной плоскости и быть взаимно перпендикулярными. На электродуговой установке для крепления ОВ и электродов использовалось приспособление, представляющее собой кольцо из стеклотекстолита, в котором с высокой точностью просверлены взаимно перпендикулярно две пары отверстий. В одну из них вставлялись вольфрамовые электроды сварочного аппарата, в другую пару отверстий - стеклянные направляющие капилляры, через которые вводилось ОВ. Таким образом достигалось точное взаимно перпендикулярное расположение световода и электродов в одной плоскости.

Эксперименты по обработке торцов световодов с помощью электрической дуги производились на волокнах типа "кварц-полимер" с размером сердцевинки 200 мкм, а также "кварц-кварц" со ступенчатым и градиентным профилями показателя преломления сердечников. Геометрические параметры ступенчатых ОВ: диаметр оболочки 150 мкм, диаметр сердечника 60 мкм; для градиентных ОВ - соответственно 125 и 50 мкм. При обработке торцов ОВ электрической дугой зона разогрева волокна составляет 1,5 - 2 диаметра вдоль каждого из разрезаемых волокон. Такая ширина зоны дуги получена при расстоянии между вольфрамовыми электродами $1,5 \div 1,8$ мм, угле заточки электродов $30^\circ \div 35^\circ$ /конус/ и токе дуги $15 \div 20$ мА. Эксперименты показали, что существенное влияние на качество обработки поверхности ОВ оказывает время оплавления торцов волокон, которое подбирается в пределах $0,5 \div 1$ с. Последующие операции по обработке ОВ заключались в промывании их бензином, мыльной водой и 50% раствором этилового спирта^{18/}. Контроль качества обработки ОВ под микроскопом показал, что шероховатость поверхности торца ОВ соответствует ~12-13 классу обработки, а перпендикулярность находится в пределах $0,5^\circ \div 0,8^\circ$. При этом следует заметить, что получение такого высокого качества торца ОВ в значитель-

ной степени зависит от удачного выбора режимов электродуговой обработки.

Технологический процесс заделки волоконно-оптического кабеля в штекер /кабельный наконечник оптического соединителя/ проводится по стандартной методике^{/9/}.

В юстируемом оптическом соединителе^{/10/} используются цилиндрические сопрягающиеся поверхности. Корпусной узел соединителя состоит из двух частей: одна из них - унифицированная - обеспечивает необходимое сопряжение кабельных наконечников с оптическими элементами; в другой /розеточная часть/ устанавливаются излучатель или фотодиод. После выполнения юстировочной процедуры положение кабельного наконечника относительно оптического элемента, установленного в розеточной части, фиксируется.

Для повышения радиационной стойкости ВОЛС^{/11/} использовано оптическое волокно типа "кварц-полимер" с размером сердцевины 200 мкм, числовой апертурой $NA > 0,2$ и затуханием 40 дБ/км.

Измеренная эффективность ввода излучения в волокно составила $1 \pm 0,1\%$, что близко к расчетным данным. При полной мощности излучения светодиода ПОМ 8 мВт мощность излучения на выходе кварц-полимерного ВОК длиной 50 м составила 65 мкВт, что вполне достаточно для надежной работы ВОЛС.

Таким образом, помехозащищенность описанной световодной системы дистанционного управления обеспечивается техническими и аппаратными средствами, так как она построена с использованием: а/ радиационно-стойкого ВОК типа "кварц-полимер"; б/ число-импульсного кода с защитой повторением.

Автор благодарит М.А.Воеводина за стимулирование данной работы, П.К.Маньякова за полезные обсуждения, Ю.В.Гусакова и В.В.Селезнева за разработку конструкции отдельных элементов ВОЛС, П.Н.Буйлова за монтаж электронных блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Ю.И. - ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
2. Балдин А.М. и др. - Труды 4-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. М.: Наука, 1974, т.2, с.4.
3. Василишин Б.В. и др. - ОИЯИ, 9-86-512, Дубна, 1986.
4. Шелаев И.А. и др. - ОИЯИ, Р9-83 582, Дубна, 1983.
5. Романов Ю.И. - ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
6. Романов Ю.И. - ОИЯИ, 13-86-566, Дубна, 1986.
7. Зубюк Г.Г. и др. - УМП, 1986, №6, с.39.
8. Шелков Г.А. и др. - ОИЯИ, Р13-80-84, Дубна, 1980.
9. Гаврилов И.А. и др. - ПТЗ, 1979, №4, с.277.
10. Романов Ю.И. и др. - ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
11. Романов Ю.И. - ОИЯИ, 13-88-723, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 февраля 1990 года.