

90-473



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P13-90-473

Ю. И. Романов

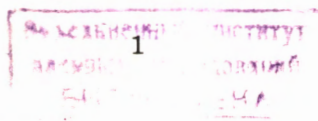
МОНОВОЛОКОННАЯ СВЕТОВОДНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ СИМПЛЕКСНОГО  
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА

1990

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), построенные на основе оптических кабелей, нашли свое применение в современных системах связи, рассчитанных на короткие и длинные расстояния<sup>1,2</sup>. В ближайшем будущем ВОЛС должны явиться основным средством связи на крупных электрофизических установках (ЭФУ). Эта объясняется как усложнением оборудования самих установок, так и более широким кругом задач, для решения которых они создаются. Разработка и производство ВОЛС для конкретных применений на ускорителях заряженных частиц подтвердили технические предпосылки и экономическую целесообразность их внедрения.

Перспектива широкого применения ВОЛС диктует быстрое развитие сопутствующей элементной базы: излучателей, фотодиодов, оптических кабелей, соединителей, направленных ответвителей и т.д., которая строится на новейших физических принципах.

В настоящее время в межобъектовых и магистральных линиях связи в качестве источников излучения все чаще применяют инжекционные полупроводниковые лазеры, а для монтажных и внутриобъектовых ВОЛС предпочтение отдается светоизлучающим диодам инфракрасного диапазона. Для удешевления ВОЛС весьма актуально создание универсального приемопередающего полупроводникового прибора, который может быть использован как источник излучения в момент передачи информации и как приемник в режиме приема, что позволит придать линиям большую гибкость и эффективность. В таких системах ВОЛС отсутствуют пассивные направленные ответвители и, следовательно, связанные с ними потери. В качестве примера можно привести светодиод-фотодиод "EROS" французской фирмы "Thomson-CSF"<sup>3,4</sup>. С его помощью была реализована ВОЛС. Появление и внедрение систем связи нового поколения вызывает интерес. Следует отметить, что характеристики приборов этого класса несколько хуже, чем у традиционных свето- и фотодиодов. Однако перспектива создания одноволоконных информативных трактов, работающих в ручном (служебная связь) и автоматическом (на принципе "запрос-ответ") режимах (телеконтроль, телесигнализация), открывает широкие возможности использования этих приборов на ЭФУ.



Проведенные исследования отечественной элементной базы показывают, что в качестве многофункциональных преобразователей "светодиод-фотодиод" в ряде случаев могут быть использованы арсенидогаллиевые мезоэпитаксиальные излучающие диоды ИК-диапазона, с плоской поверхностью излучения. Использование таких приборов в системе ВОЛС позволило реализовать симплексный режим работы при передаче аналоговых частотно-модулированных сигналов по одноволоконному световодному тракту (служебная связь).

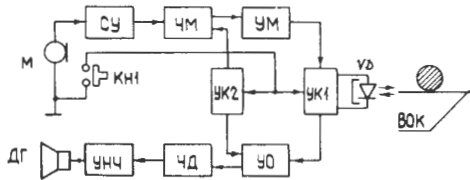
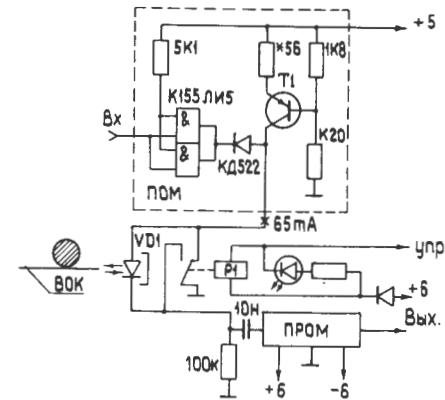


Рис. 1. Структурная схема полукомплекта системы "Волсофон".

Описываемая симплексная система "Волсофон" с использованием цифрового канала связи построена по следующей структурной схеме (рис. 1). Она состоит из двух одинаковых (ПК1 и ПК2) приемопередающих полукомплектов (на рис.1 показан только ПК1, поскольку ПК2 аналогичен), связанных между собой волоконно-оптическим кабелем (ВОК). Изменение режима работы полукомплекта осуществляется вручную, с помощью кнопки управления (КН1), расположенной на корпусе микрофона (М) и дистанционно-управляемых коммутаторов (УК1 и УК2). Предположим, что ПК1 работает в режиме передачи (кнопка КН1 нажата), а ПК2 — в режиме приема (КН1 — отпущена). Низкочастотный речевой сигнал от микрофона (М) через согласующий усилитель (СУ) подается в цепь управления частотно-модулированного генератора (ЧМ). Генератор несущей (ЧМ-генератор) вырабатывает сигнал прямоугольной формы ( $F = 100$  кГц), который модулируется по частоте НЧ-напряжением. Частотно-модулированные колебания поступают в усилитель мощности (УМ), нагрузкой которого является инфракрасный (ИК) светодиод. ИК-излучение последнего через коммуникационную среду, в качестве которой служит ВОК, переносится на приемную часть второго полукомплекта (ПК2). Фотоприемник последнего состоит из фотодиода ( $V_{д}$ ), усилителя — ограничителя (УО), частотного детектора (ЧД) и усилителя низкой частоты (УНЧ), к выходу которого подключена динамическая головка (ДГ). Передача сообщения в обратном направлении (от второго полукомплекта на первый) происходит аналогично.

Электрическая схема дистанционно управляемого коммутатора (УК1) приведена на рис.2. Основное назначение УК1 состоит в том, чтобы дистанционно, с помощью контактной группы реле Р1 производить

Рис. 2. Электрическая схема дистанционно управляемого коммутатора УК1.



изменение режимов работы многофункционального преобразователя ВД1. Для работы в качестве "светодиода" был выбран ИК-светодиод серии АЛ118, имеющий малые габариты (диаметр 2,4 мм, длина без выводов 6,3 мм) и отдающий импульсную мощность излучения не менее 10 мВт. Длина волны излучения прибора 850 нм, излучение некогерентное.

На электрической схеме рис.2 контакты реле Р1 показаны в положении "Прием". Светодиод ВД1 выполняет функцию фотодиода, работающего в фотогальваническом режиме (без напряжения смещения). Попадающий из световода частотно-модулированный ИК-сигнал создает на его выводах переменную ЭДС. Последняя на нагрузке фотодиода  $R_H = 100$  кОм составляет  $7 \div 10$  мВ.

При переключении реле Р1 в положение "Передача" вход приемного оптического модуля (ПРОМ) закорачивается контактом КР1. Прямосмещенный светодиод ВД1 получает питание от генератора неизменного тока, собранного на транзисторе Т1. Изменением величины резистора (\*56 Ом) в цепи эмиттера Т1 можно "программировать" выходную мощность оптического генератора. В качестве модулятора оптического сигнала использована микросхема К155ЛИ5, вентили которой соединены параллельно. Чтобы избежать "ступеньки" тока на шинах питания +5 В, в схеме использован "балансный" диод типа КД522. Последний позволяет фиксировать суммарный ток, потребляемый передающим модулем (ПОМ).

Полная электрическая схема полукомплекта приведена на рис.3. Блок состоит из передающей и приемной частей. В состав электронного обрамления ПК1 входят микромодули ПОМ, ПРОМ и УНЧ с экранированным монтажом.



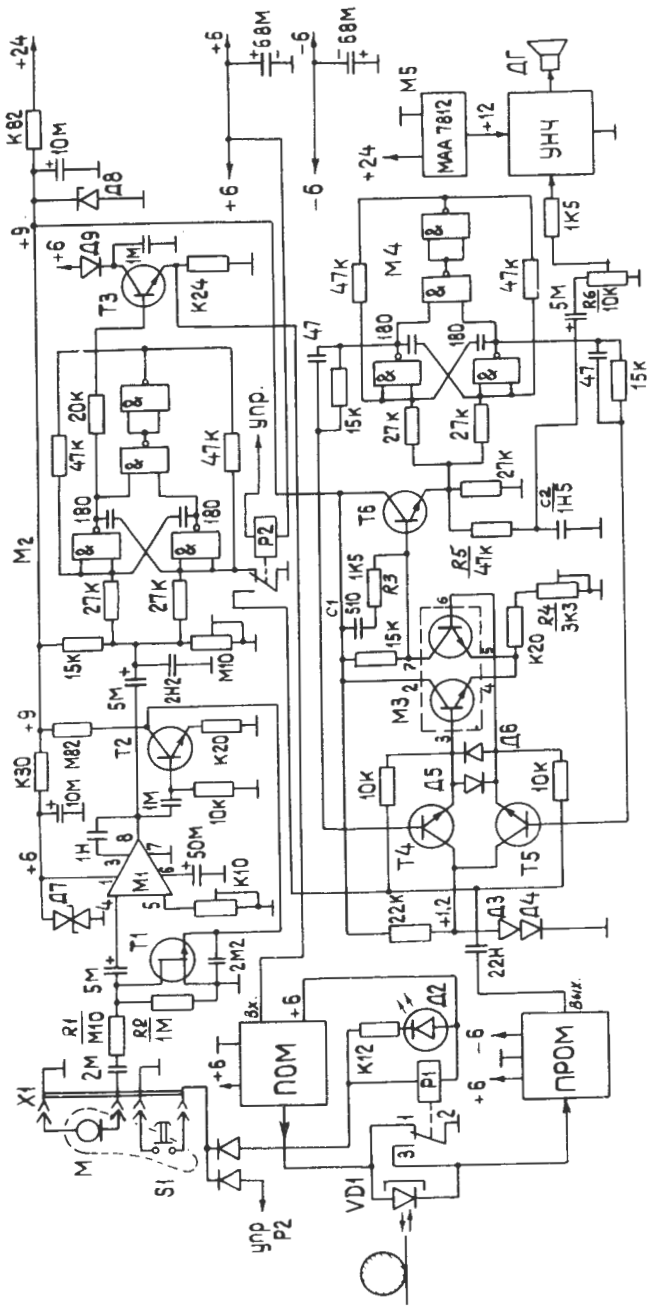


Рис. 3. Электрическая схема полуконспекта симплексного канала связи системы "Волсофон".

*Передающая часть.* Для обеспечения усиления сигналов с микрофона (М, типа ДЭМШ-1) в схему включен согласующий усилитель (СУ). Он собран на микросхеме М1. Независимо от напряжения, развиваемого микрофоном во время сообщения, выходное напряжение СУ поддерживается на определенном уровне с помощью АРУ. В нее входят управляемый делитель напряжения на транзисторе Т1 и резисторах R1 и R2, также устройство управления делителем на транзисторе Т2<sup>15</sup>. ЧМ-модулятор собран на микросхеме М2 (К176ЛА7). Он представляет собой управляемый напряжением генератор прямоугольных импульсов. Частота следования импульсов генератора, при отсутствии напряжения звуковой частоты (ЗЧ), установлена равной  $F = 100$  кГц. При поступлении напряжения ЗЧ от СУ частота генератора начинает изменяться. Максимальная девиация частоты ЧМ-модулятора составляет  $\sim 30$  кГц. Чтобы не нагружать выход модулятора, между ним и усилителем мощности (УМ) включен эмиттерный повторитель (Т3). ЧМ-колебания, трансформированные в уровни ТТЛ, поступают на модулятор ПОМ. Промодулированный световой поток с помощью юстируемого оптического соединителя<sup>16</sup> вводится в ВОК и переносится на приемную часть второго полуконспекта.

*Приемная часть.* Частотно-модулированный оптический сигнал из ВОК через юстируемый оптический соединитель поступает на вход ПРОМ. Электрическая схема ПРОМ имеет стандартную конфигурацию<sup>17</sup>. Она включает в себя трансимпедансный усилитель, усилитель-корректор и компаратор. Последний выполняет функцию стабилизатора амплитуды импульсов. Таким образом, ПРОМ по сути своей работает усилителем-ограничителем для ЧМ-сигналов. С целью увеличения чувствительности в приемной части полуконспекта применен детектор с ФАПЧ<sup>18</sup>. На транзисторах Т4 и Т5 собран фазовый детектор на транзисторной сборке (М3), транзисторе Т6 — усилитель постоянного тока. Генератор, управляемый напряжением, собран на микросхеме М4 (К176ЛА7). Функцию пропорционально-интегрирующего фильтра выполняют резистор R3 и конденсатор C1. Начальная частота генератора, управляемого напряжением, устанавливается резистором R4 по "качеству" выходного сигнала. После демодуляции сигнал ЗЧ через фильтр нижних частот R5C2 и регулятор громкости R6 подается на вход микромодуля усилителя низкой частоты (УНЧ). Последний собран на микросхеме К174УН7 по типовой схеме включения. На выходе УНЧ подключена малогабаритная динамическая головка 3-ГДВ-1 с номинальным электрическим сопротивлением 8 Ом. Максимальная выходная мощность УНЧ  $\sim 3$  Вт. При изменении режимов работы в каждом полуконспекте необходимо выполнить требования к подавлению переходной помехи. Это дополнительные меры, повышающие защищенность

приемного оптического модуля от сигналов своего передатчика. Введение второго управляемого коммутатора в электрическую схему полупакета (P2 на рис.3) позволило исключить влияние переходной помехи на качество работы системы.

### “ОПТОФОН” — СВЕТОВОДНЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК

При использовании системы “Волсфон” на ЭФУ в ряде случаев необходимо удлинение микрофонного кабеля до десяти и более метров. При весьма низких уровнях электрических сигналов, получаемых от динамического микрофона, их регистрация существенно затрудняется уровнями регулярных помех.

Как показал опыт, помехи воздействуют в основном на линию связи “микрофон — согласующий усилитель”. По характеру эти помехи могут быть условно разделены на две группы: 1) емкостные помехи, возникающие за счет емкостной связи проводного канала с силовой сетью промышленной частоты; 2) электромагнитные наводки в полях токов промышленной частоты, а также системах питания импульсных магнитов, моторов, реле и т.д.

Передача акустической информации по волоконным световодам позволяет достигнуть высокой чувствительности и необходимой помехозащищенности речевого сигнала<sup>19</sup>. Ниже описан экспериментальный световодный акустический датчик-микрофон (оптофон), характеризующий качественно иной подход к решению поставленной задачи.

Конструкция оптофона с мембраной-отражателем и местным источником освещения последней показана на рис.4. Датчик содержит металлический корпус (1), в котором под углом 45° к перпендикуляру, восстановленному к плоскости основания мембраны, закреплены световод (2) и светодиод (3) ИК-излучения. Для передачи отраженного оптического излучения использован многомодовый кварцевый световод КК125/50 с диаметром сердцевины волокна 50 мкм и оболочки

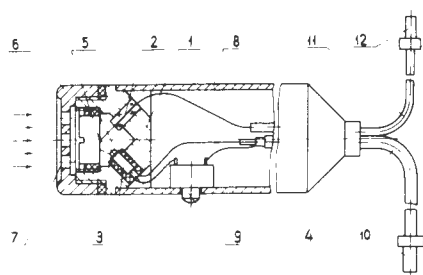
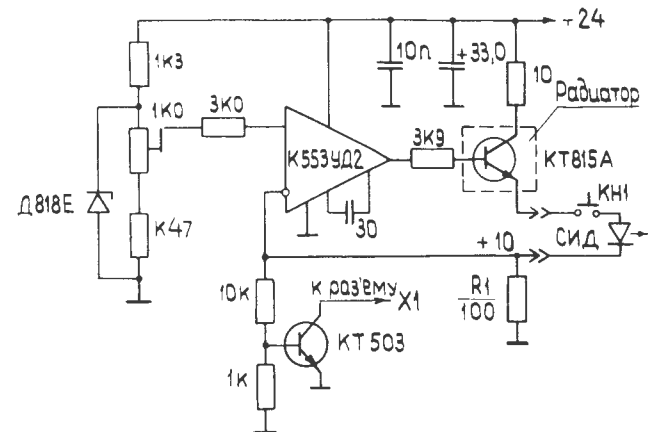


Рис. 4. Конструкция оптофона: 1 — корпус; 2 — световод; 3 — светодиод; 4 — коаксиальный кабель; 5 — мембрана; 6 — крышка; 7 — акустические отверстия; 8 — держатель; 9 — кнопка управления; 10 — соединитель электрический; 11 — ВОК; 12 — соединитель оптический.

Рис. 5. Электрическая схема стабильного генератора тока.



— 125 мкм. Числовая апертура волоконного световода  $NA = 0,2$ . Световод имеет длину 10 м. Зеркальные торцы на световоде были получены с помощью скрайбера. Качество сколов контролировалось под микроскопом. Концы световода армированы двумя наконечниками: диаметром 2,5 мм — для захвата отраженного от мембраны сигнала — и 3,5 мм для стыковки с приемным оптическим модулем (фотоусилителем оптофона). Для подачи питания к местному источнику излучения в оптофоне использован коаксиальный кабель (4) с вилкой, для подключения в гнездо LEMO. В качестве источника света использован светодиод типа АЛ107Б. Мощность излучения СИД достигает 10 мВт при точке накачки 100 мА и напряжении 2 В. В режиме “Передача” (кнопка КН1 на корпусе оптофона нажата) СИД получает питание от стабильного генератора тока (рис.5), смонтированного в сервисном блоке КАМАК. Генератор включает в себя операционный усилитель (М1), бустер (Т1) и токовый датчик R1. Ток светодиода линейно связан с входным напряжением:  $I_{ГТ} = U_{ВХ} / R1$  и при  $U_{ВХ} = 10 В$  составляет 100 мА. Пульсации, температурный и временной дрейф  $U_{ВХ}$  ведут к росту мультипликативной и аддитивной составляющих погрешности датчика. Поэтому опорный уровень на вход генератора тока подается от источника образцового напряжения, погрешность которого  $\leq 0,1\%$ . Светоотражающая полимерная мембрана (5) толщиной 20 мкм и диаметром 16 мм изготовлена из алюминированной майларовой пленки. Между мембраной-отражателем и приемным торцом световода имеется зазор  $\sim 2$  мм. Для предохранения мембраны от повреждения в датчике установлена металлическая крышка (6) с акустическими отверстиями диаметром  $\sim 2$  мм.

Внешний акустический сигнал возбуждает колебания мембраны-отражателя. Расстояние между источником излучения и светоприемным торцом ВОК при этом изменяется. Следовательно, изменяется освещенность приемного торца ВОК, что оказывает модулирующее воз-

действие на световой поток, распространяющийся по световоду. На выходе фотоусилителя оптофона регистрируется электрический сигнал, повторяющий закон изменения акустического воздействия.

Важно отметить, что с увеличением мощности излучения СИД отношение сигнал/шум на выходе ПРОМ повышается, т.к. мощность полезного сигнала на выходе фотоприемника пропорциональна квадрату интенсивности света, а мощность шумов растет линейно.

Форма частотной характеристики оптофона имеет неравномерность  $\pm 6$  дБ в диапазоне  $0,1 \div 12$  кГц. Она определяется в основном резонансными свойствами используемой мембраны. Динамический диапазон оптофона  $\geq 100$  дБ. Нижний предел принимаемых звуковых сигналов ограничен собственными шумами СИД, а верхний — упругостью мембраны.

Существенное улучшение метрологических характеристик оптофона (повышение чувствительности и расширение динамического диапазона) ожидается при использовании более тонкой акустической мембраны (например, из алюминированной майларовой пленки толщиной 12 мкм).

#### ТЕХНОЛОГИЯ СОЕДИНЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ (ВС) МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Изготовление ВОЛС со строительной длиной в сотни и тысячи метров для создания межобъектовых систем связи предполагает умение наращивать волоконно-оптический кабель (ВОК). В данной работе для надежного соединения отдельных бухт ВОК применялось сварочное устройство, позволяющее сваривать ВС с помощью электрической дуги<sup>[10]</sup>. Эксперименты по сварке световодов проводились на волокнах с градиентным профилем показателя преломления сердечника: диаметр оболочки 125 мкм, диаметр сердечника 50 мкм. На одном из концов каждого оптического кабеля был установлен оптический соединитель "ВОК-ВОК" с наконечником  $\phi 3,6$  мм.

Технологический процесс сварки многомодовых ВС состоит из следующих операций. С соединяемых ВС удаляются защитные покрытия и производится скол волокна. Для этих целей использовался набор специальных инструментов. Концы ВС механически очищались от полиамидной оболочки и от силоксанового покрытия на длину  $\sim 15$  мм. Сколы на торцах очищенных ВС создавались скрайбером. Волокно, зафиксированное в V-образной канавке инструмента, надрезалось и растягивалось, после чего на торце ВС получался зеркальный скол. Для сварки ВС использовалась промышленная установка СВ-1М с монокулярным микроскопом МИР-3, с механизмом фиксации и юстиров-

Рис. 6. Конструкция аппарата для электродуговой сварки оптических волокон (ОВ): 1, 2 — фиксаторы ОВ; 3 — вольфрамовые электроды; 4 — микроскоп; 5 — оптическое волокно; 6 — привод вертикального перемещения электродов; 7 — привод горизонтального перемещения фиксатора ОВ; 8 — ручка управления приводами.

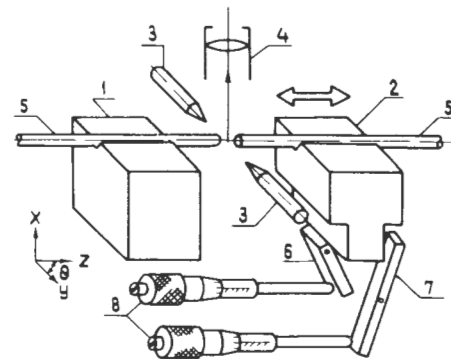
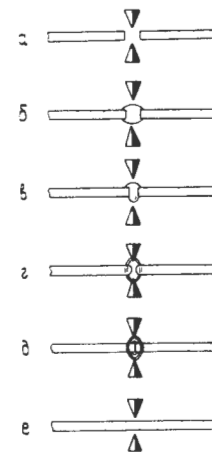


Рис. 7. Технологический процесс сварки световодов: а — начальное состояние; б — введение смеси; в — сближение; г — оплавление торцов; д — сближение и сварка; е — окончание сварки.



ки волокна (рис.6). Подготовленные к сварке ВС закреплялись в V-образных канавках устройства фиксации световодов, причем расположение торцов ВС наблюдается под микроскопом. Механизмом юстировки оптические волокна устанавливались соосно с точностью  $\pm 1$  мкм. Затем торцы ВС сближались на расстояние 20 мкм (рис.7). Для получения чистого соединения и улучшения юстировки между торцами ВС вводилась капля оптически прозрачной смеси, состоящей из 50% глицерина и 50% этилового спирта. Введение капли смеси позволяет добиться оптимальной юстировки ВС по максимуму сигнала от гелий-неонового лазера. После юстировки ВС сближались на расстояние  $\sim 10$  мкм, и одновременно с испарением смеси оплавливались торцы волокон дугowym разрядом, возникающим между вольфрамовыми электродами. Ток разряда при испарении смеси и оплавления равен  $8 \div 10$  мА, время оплавления находится в пределах  $0,2 \div 0,3$  с. Эта операция позволяет избежать образования пузырьков в сстке ВС и уменьшить влияние возникающих дефектов при сколе ВС на качество сварки. После оплавления торцов ВС перемещаются в продольном направлении до взаимного соприкосновения и свариваются. При проведении сварки зона разогрева ВС составляет  $2 \div 2,5$  диаметра вдоль каждого из свариваемых волокон.





Рис. 8. Конструкция защитной муфты: 1 — световод; 2 — бандажный V-образный профиль; 3 — половинки защитной муфты; 4 — стяжные винты.

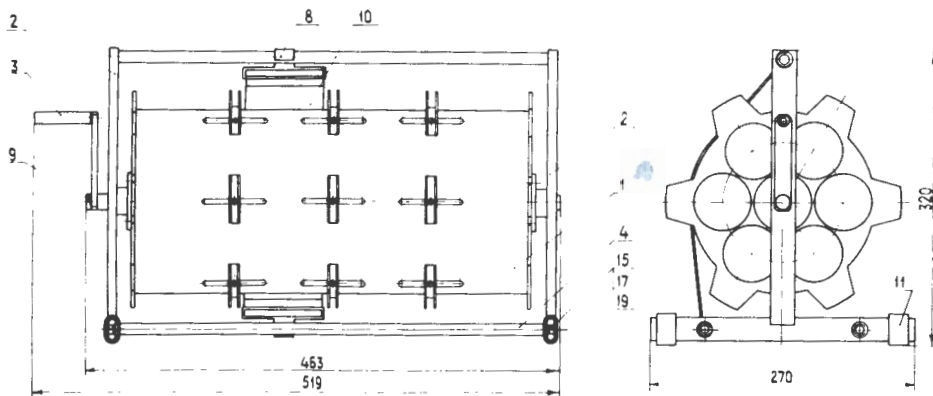


Рис. 9. Конструкция кабельного барабана: 1 — барабан с подвижными секциями; 2 — стойка; 3 — ручка; 4 — упор; 5 — фиксатор натяжения; 9 — винт; 10 — резиновый пояс; 11 — амортизатор; 15,17,19 — элементы основания.

Такая ширина зоны дуги получена при расстоянии между вольфрамовыми электродами  $1,5 \div 1,8$  мм, угле заточки электродов  $30^\circ$  (конус) и токе дуги 20 мА. Время горения дуги оказывает основное влияние на прочность сварного шва. Установлено, что при длительностях менее 1 с прочность соединения волокон резко снижается. Оптимальной следует считать длительность горения дуги порядка 3 с. Для увеличения механической прочности сварного соединения его усиливают. Упрочняющий элемент был изготовлен из тонкой металлической пластины, из которой формировался V-образный бандажный профиль, куда укладывалось сварное соединение. Специальным инструментом концы упрочняющего элемента с уложенным внутри сварным соединением формировались таким образом, чтобы обеспечить надежную фиксацию с покрытием волокна. Затем это сборно-сварное соединение укладывалось в полость защитной металлической муфты (рис.8).

Последняя резьбовыми частями надежно фиксирует защитную оболочку ВОК, образуя, таким образом, механически прочное неразъемное соединение. Экспериментальные исследования нескольких таких соединений показали, что потери в них составляют  $0,3 \div 1,1$  дБ. На рис.9 показана конструкция одного из кабельных барабанов, сконструированных для хранения, транспортировки и развертывания ВОК со строительными длинами до 1000 м.

Основные технические характеристики системы "Волсофон":

1. Частота несущей, кГц ..... 100
2. Номинальный диапазон частот по входу модулятора, Гц .....  $20 \div 16000$
3. Номинальный диапазон частот по микрофонному входу (при использовании микрофона ДЭМШ), Гц .....  $100 \div 3500$
4. Мощность излучения при работе преобразования в режиме светодиода, Вт .....  $6 \cdot 10^{-3}$
5. Чувствительность ПРОМ при работе преобразователя в режиме фотодиода, Вт .....  $10^{-4}$
6. Длина волны светодиода, нм ..... 850
7. Тип световода ..... кк 125/50
8. Погонное затухание ВОК, дБ/км. .... 5
9. Длина ВОК, м, не более ..... 500
10. Базовые блоки ..... КАМАК, 3М

В заключение следует отметить, что моноволоконная система связи "Волсофон" с использованием многофункциональных преобразователей "светодиода" и цифровых каналов ВОЛС проста и надежна в эксплуатации. При оценке каналов связи в сравнении с двухволоконной аналоговой ВОЛС<sup>1/2</sup> не обнаружено ухудшения субъективного восприятия речевой информации. Из приведенных характеристик реализованной системы ВОЛС видно, что она удовлетворяет всем требованиям, предъявленным к современной радиоэлектронной аппаратуре связи, работающей на ЭФУ.

Автор благодарит М.А.Воеводина за интерес к данной работе, Ю.В.Гусакова и В.В.Селезнева за разработку конструкций отдельных элементов ВОЛС, П.Н.Буйволова — за монтаж блоков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-599, Дубна, 1985.
2. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
3. Экспресс-информация, 1979, № 10, с.66.

4. Электроника, 1979, т.52, № 25, с. 16-17.
5. Алексеенко А.Г. и др. — Применение прецизионных аналоговых ИС. М., Сов. радио, 1980, с.69.
6. Романов Ю.И., Турзо И. — ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
7. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-90-63, Дубна, 1990.
8. Поляков В.Т. — Радиовещательные ЧМ-приемники с фазовой автоподстройкой. М., Радио и связь, 1983.
9. Кузнецов Н.А. и др. — ПТЭ, 1984, № 6.
10. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-90-63, Дубна, 1990.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 октября 1990 года.