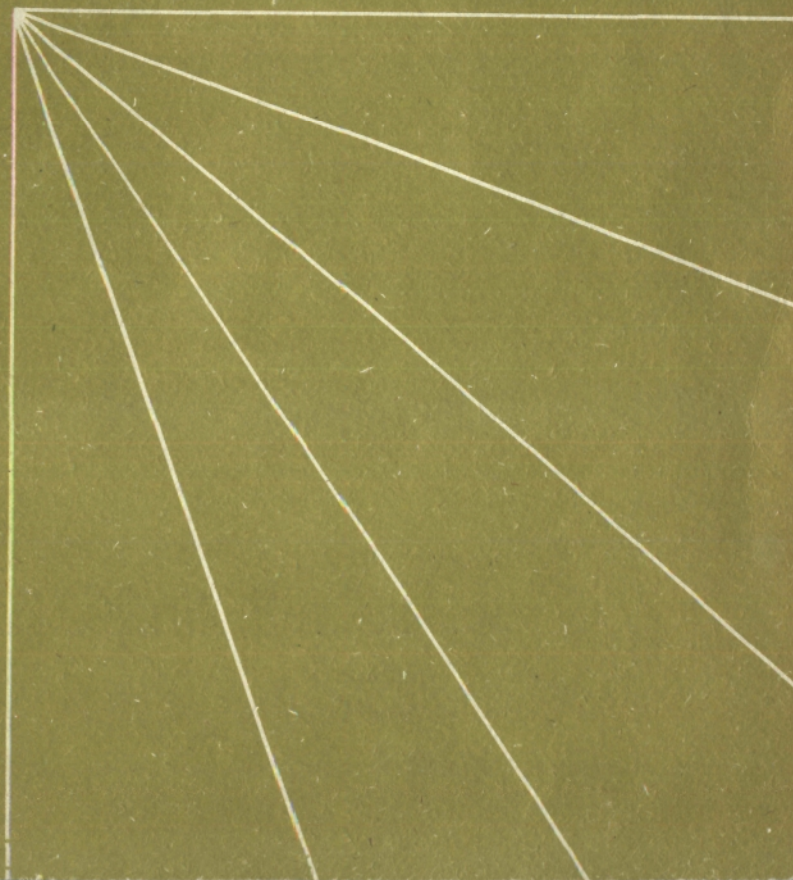


И. Г. Кирип

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ИЗОЛЯТОРЫ
СО СВЕТОВОДАМИ**



И. Г. Кирич

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ИЗОЛЯТОРЫ
СО СВЕТОВОДАМИ**

Москва
Энергоатомиздат
1994

Рецензент З.А.Баскакова

К43 Кирил И.Г.
Электрические изоляторы со световодами — М.: Энергоатомиздат, 1994.— 32 с.: ил.

ISBN 5-283-01246-8

Рассмотрены принципы и методы построения высоковольтных световодов и волоконно-оптических изоляционных конструкций, представлены применяемые материалы, армирующие элементы, диэлектрические наполнители. Проанализированы оптические потери, вносимые в волоконнооптический тракт изоляционными конструкциями, обоснованы методы построения высоковольтных волоконно-оптических трактов; рассмотрен ряд конкретных высоковольтных световодов и волоконно-оптических изоляционных конструкций.

Для специалистов, занимающихся разработкой и эксплуатацией различных высоковольтных волоконно-оптических и оптоэлектронных датчиков систем.

2202040200-063

К Без объявл.

ББК 31.27-05

051(01)-94

ISBN 5-283-01246-8

© Автор, 1994

Различные волоконно-оптические и оптоэлектронные системы диагностики и передачи информации в последнее время все шире используются в составе высоковольтных электрофизических установок, энергетических объектов и линий передачи электроэнергии.

Приемные и передающие части такого рода систем располагаются под различными потенциалами, а их связь между собой обеспечивается электрическими изоляторами со световодами.

Этот вид электрических изоляторов не освещен во всех известных монографиях и книгах, посвященных изоляторам, выпущенных в нашей стране.

Настоящая книга представляет собой первую попытку систематического изложения основных принципов и методов создания этих изоляторов.

Особое внимание в книге уделено конкретным конструкциям рассматриваемых изоляторов. Вместе с тем частично затронуты также и высоковольтные световоды, а также волоконно-оптические окна. Последние являются важным узлом этих изоляторов.

Автор выражает благодарность рецензенту З.А.Баскаковой, а также Ю.В.Воробьеву и А.С.Сенянинову за замечания, высказанные при подготовке книги.

Отзывы и пожелания по книге автор просит направлять в адрес: Энергоатомиздата: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Автор

Введение

Одной из важнейших составных частей электроэнергетических систем является измерительная и коммутирующая аппаратура. В последнее время к этому оборудованию предъявляются жесткие требования -- увеличение быстродействия, точности измерений, надежности.

Если учесть, что увеличение мощностей современных линий передачи электроэнергии происходит, в основном, вследствие увеличения напряжений этих линий, то возникает необходимость в увеличении длины изоляции между частями высоковольтных аппаратов, имеющих как потенциал линии передачи, так и Земли.

При построении такой аппаратуры возможности традиционных систем изоляции уже себя практически исчерпали. В большинстве случаев наряду с неудовлетворительными на сегодняшний день массо-габаритными параметрами, они не позволяют реализовать необходимые технические характеристики измерительной высоковольтной аппаратуры.

Решить противоречия удается, используя принципы и методы волоконной оптики и оптоэлектроники. Использование этих методов позволяет сравнительно простыми и дешевыми средствами обеспечить вывод информации с высоковольтных частей аппаратов или, наоборот, передать на них управляющие сигналы с потенциала Земли. Причем, быстродействие и другие метрологические характеристики оптоэлектронных и волоконно-оптических систем не только удовлетворяют нуждам энергетики, но и перекрывают их.

Аналогичные проблемы стоят и перед диагностическим оборудованием электрофизических установок, причем в этом случае они еще более острые, в силу того, что уровни напряжения для этих установок как правило выше.

Ниже, в работе рассматриваются волоконно-оптические изоляционные конструкции, являющиеся важной составной частью различных высоковольтных аппаратов, обеспечивающих необходимую электрическую прочность волоконно-оптического канала, связывающего их передающую и приемную части между собой. Эти конструкции обеспечивают необходимые диэлектрические характеристики длительное время при различных внешних факторах, действующих на них (пыль, влага, меняющиеся температура или механические нагрузки), а также при атмосферных воздействиях (если высоковольтный аппарат эксплуатируется, например, в составе высоковольтной линии передачи электроэнергии) в течение всего периода эксплуатации высоковольтного аппарата, внося при этом минимально возможные дополнительные потери в затухание оптического сигнала. Кроме того, высоковольт-

тные изоляционные конструкции должны быть достаточно технологичны при их производстве и иметь низкие массо-габаритные характеристики. Полоса пропускания световедущего элемента, используемого в составе высоковольтной изоляционной конструкции, должна быть не меньше полосы передаваемого сигнала, а в некоторых случаях и шире. Если изоляционная конструкция является несущей для всего высоковольтного аппарата (например, при ее использовании в составе оптоэлектронного измерительного трансформатора тока), то ее механическая прочность должна быть такой, чтобы исключить механическое воздействие на световод, обеспечив при этом необходимые оптические характеристики.

Часть материала посвящена волоконно-оптическим окнам -- одной из важных составных частей высоковольтных изоляционных конструкций. Кроме того, они могут использоваться при построении обычных волоконно-оптических каналов передачи информации или энергии, когда возникает необходимость проложить канал через различные технологические преграды (корпуса, стены и т.д.) или обеспечить ввод этих каналов в объемы, заполненные жидкостью или газом.

1. Принципы и методы построения высоковольтных волоконно-оптических каналов и изоляционных конструкций

В зависимости от класса напряжения, на который рассчитан высоковольтный аппарат, предназначения и трассировки волоконно-оптического канала, связывающего приемную и передающую части этого аппарата, возможны следующие варианты построения канала:

цельный волоконно-оптический канал;
волоконно-оптический канал с высоковольтными распределителями потенциалов;

чередующийся волоконно-оптический канал (рис. 1).

Цельный волоконно-оптический канал может использоваться в том случае, когда он защищен от внешних воздействий. В качестве световода такого канала могут использоваться как обычные, так и специальные высоковольтные световоды, оптожгуты. При использовании обычных световодов в качестве высоковольтного канала наряду с обычными характеристиками световодов необходимо принимать во внимание еще одну характеристику -- напряжение, выдерживаемое световодом. Экспериментальные исследования показали, что, например, стандартные оптожгуты типа 5АС, при длине 10 м способны выдерживать напряжение 5 МВ, тогда как значения напряжения, выдерживаемые стандартными световодами, составляют 200 -- 500 кВ/м.

В случаях, если защиту световедущего элемента от внешних воздействий обеспечить невозможно или если длина волоконно-оптического канала

не позволяет достичь необходимой диэлектрической прочности, необходимы распределители потенциалов — электрические изоляторы со световодами, высоковольтные волоконно-оптические изоляционные конструкции.

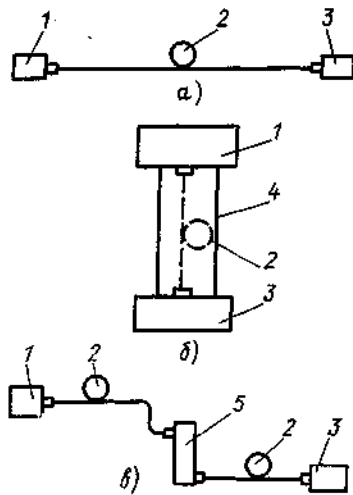


Рис.1. Схемы построения высоковольтных волоконно-оптических каналов:

a — цельный волоконно-оптический канал; *b* — волоконно-оптический канал с высоковольтными распределителями потенциалов; *в* — чередующийся волоконно-оптический канал;

1 — оптоэлектронный передатчик; 2 — волоконно-оптический канал; 3 — приемник оптического излучения; 4 — высоковольтный распределитель потенциалов; 5 — высоковольтная изоляционная конструкция

Волоконно-оптические изоляционные конструкции по своему конструктивному исполнению можно разделить на:

жесткие опорные, предназначенные для использования на высоковольтных опорах, или подвесные, являющиеся несущей конструкцией оптоэлектронного устройства;

гибкие подвесные, предназначенные для крепления на проводах различных высоковольтных линий;

проходные, предназначенные для проведения световодных элементов через различные высоковольтные элементы, находящиеся под потенциалом, отличным от потенциала Земли (рис. 2). По роду установки волоконно-оптические изоляционные конструкции можно подразделить на изоляционные конструкции наружной и внутренней установки.

Все типы изоляционных конструкций должны обладать высокой прочностью на разрыв, влагонепроницаемостью, термоустойчивостью в рабочем диапазоне температур, ударной стойкостью, буферной защитой для уменьшения потерь, вызванных механическими напряжениями, простотой конструктивного исполнения. Они должны иметь минимально возможное дополнительное затухание, равную или большую передаваемого сигнала полосу пропускания, оптимальный для передаваемого оптического излучения спектральный диапазон. Кроме того, волоконно-оптические изоляционные конструкции должны обладать высокой надежностью.

Принципы, определяющие особенности конструкций высоковольтных волоконно-оптических изоляторов, определяются высокой чувствительностью световода к механическим воздействиям и факторам окружающей среды. В соответствии с этим конструкция волоконно-оптического изолято-

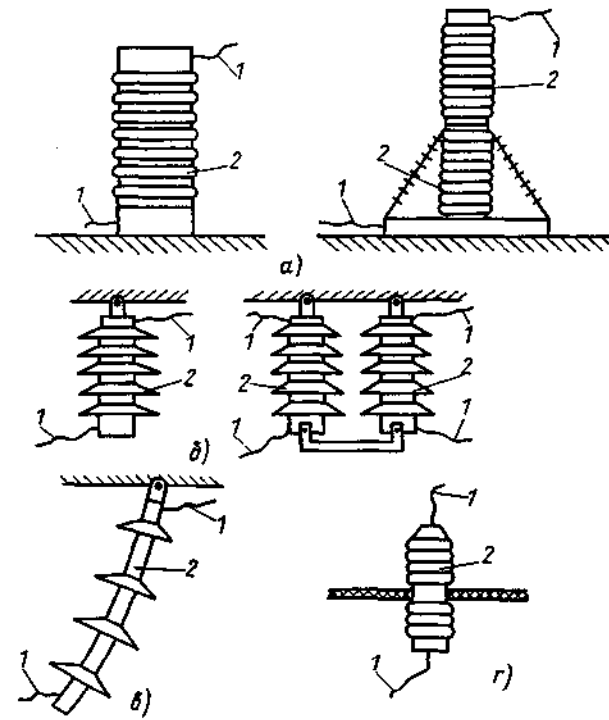


Рис.2. Типы волоконно-оптических изоляционных конструкций: *a* — жесткие опорные; *b* — жесткие подвесные; *в* — гибкие подвесные; *г* — проходные; 1 — световоды; 2 — корпуса

ра должна предохранять световод от растяжения и изгибов, которые могут вызвать ухудшение их оптических характеристик, защищать от внешних электрических и климатических воздействий. Поэтому корпус изоляционной конструкции должен иметь определенную прочность, а область изолятора, где располагается световод (или световоды), должна быть герметичной.

Эти требования обеспечиваются соответствующим выбором конструктивных материалов и расчетом конструктивных элементов высоковольтных волоконно-оптических конструкций. Часто с этой целью для обеспечения высокой прочности волоконно-оптических изоляционных конструкций на разрыв в них вводятся различного рода упрочняющие элементы. При выборе материала для упрочняющих элементов исходят из того, что их деформация под действием нагрузки должна быть меньше допустимого значения деформации световода, которое обычно составляет 0,1 — 1%. Кроме того, принимается во внимание уровень нагрузок на изгиб и на растяжение, при которых будет работать световод. Необходимо также, чтобы эти материалы обладали высокими изоляционными свойствами.

В качестве упрочняющих элементов, удовлетворяющих перечисленным выше свойствам, в составе волоконно-оптических изоляционных кон-

струкций могут использоваться кварцевые трубы, стеклоэпоксидные трубы или стержни, стеклопластиковые стержни.

Ослабить напряжения в световоде при удлинении изоляционной конструкции или ее изгибе можно также путем неполного сцепления световода со структурой изолятора, свободно поддерживать световод в пазах различной формы, сформированных в теле изолятора специально для этих целей.

В волоконно-оптических конструкциях возможны два варианта расположения упрочняющего элемента или элементов и световода. В первом случае упрочняющий элемент располагается в центре волоконно-оптической изоляционной конструкции, во втором — концентрично относительно центрального элемента. При центральном расположении упрочняющего элемента обеспечивается максимальная гибкость, а при периферийном расположении гибкость изоляционной конструкции меньше, однако конструкция эффективнее переносит радиальные усилия и удары.

Усилия, испытываемые упрочняющими элементами под действием внешних сил, не должны передаваться световоду. В противном случае он разорвется первым или его срок службы значительно снизится и надежность изоляционной конструкции также будет низкой.

Герметизация полости изоляционной конструкции, в которой располагается световод, обеспечивается волоконно-оптическими окнами. Далее полость заполняется трансформаторным маслом, азелаэтом или гидрофобным диэлектриком, благодаря чему достигается защита световодящего элемента от внешних климатических факторов и электрических воздействий. При этом, если в качестве наполнителя изолятора используется трансформаторное масло, то световод должен быть дополнительно защищен от его воздействия, так как длительное пребывание его в масле приводит к разбуханию и набуханию полимерного покрытия.

Если в качестве корпуса волоконно-оптической изоляционной конструкции используется керамический или стеклянный набор ребер, то какого-либо дополнительного внешнего покрытия не требуется. Во всех других случаях необходима специальная наружная защитная оболочка. В качестве такой оболочки используются оболочки из трекинговой стойких материалов, обеспечивающие минимальную возможность образования углеродной проводящей канавки под действием частичных разрядов, — кремнеорганической резины, эластомеров, этиленпропиленовых полимеров, циклолифатических смол. Наибольшей трекинговой стойкостью обладает оболочка из фторопласта.

Для увеличения разрядных характеристик изолятора наружная оболочка выполняется в виде ребер. Ребра могут формироваться на корпусе изолятора путем отливки в пресс-формах как на армирующем элементе, так и отдельно. Если ребра сформированы отдельно, то они закрепляются на корпусе изолятора методом сварки, спекания или склеивания.

Перед созданием разветвленной ребристой поверхности наружный элемент изолятора, например, стеклопластиковый, может быть предварительно защищен специальной трубчатой оболочкой, предохраняющей поверхность от химического и электрического разрушения (например, фторопластовой).

Граничный слой между наружным элементом и защитной оболочкой или ребрами является наиболее слабым местом конструкции с точки зрения воздействия высокого напряжения. Электрическая прочность этого слоя должна быть выше электрической прочности — воздушного промежутка

между концами изолятора. С этой целью пространство между корпусом изолятора и его ребрами заполняется диэлектрическим уплотнителем. Обычно эта сложная и дорогостоящая операция. Поэтому желательно изготавливать корпус из трекинговой стойкого материала с армированием всей конструкции внутри полости.

Концы волоконно-оптических изоляционных конструкций, обеспечивающие их крепление, обычно изготавливаются из металла. При этом оконцеватель крепится к армирующему элементу изолятора, но возможно крепление оконцевателя к корпусу изолятора, например, методом опрессовки. Когда оконцеватель крепится к армирующему элементу, он, как правило, насаживается на армирующий элемент, который расклинивается.

Напряжение, выдерживаемое волоконно-оптической изоляционной конструкцией, рассчитывается по стандартной методике [2 — 5] и в частности может приближенно определено из соотношения:

$$U_D = 3,78 t_{\text{вп}}^{\text{вп}} + \frac{2,82 \tau^{\text{вп}} a_1}{a},$$

где $3,78 t_{\text{вп}}^{\text{вп}}$ — высота верхней крышки, см; τ — количество ребер, равное $1,5 + 0,065 U_{\text{нм}}$; t — шаг между ребрами, см; a — вылет ребра по горизонтали, см; a_1 — наименьшее расстояние от края ребра до тела крышки или следующего ребра, измеренное под углом 45° по вертикали; 3,78 и 2,82 — коэффициенты при силе дождя 3 мм/мин.

При изготовлении изоляторов выгодно выбирать $a = 0,5 t$. Для загрязненных районов отношение a/t обычно увеличивают. Наибольшее напряжение U_D получается при шаге t , равном 8—10 см, наилучший угол наклона ребер лежит в пределах $15-20^\circ$. Форма ребер изолятора должна быть такой, чтобы дождевая вода легко с него скатывалась [4, 5].

Если изолятор используется не на открытом воздухе, то в качестве световодящих элементов волоконно-оптических изоляционных конструкций могут применяться практически все типы моноволокон и оптожгутов, за исключением полых световодов. В противном случае необходимо использовать специальные, устойчивые к воздействию температуры световоды, так как изолятор может летом нагреваться до 70°C (жаркие районы страны), а зимой температура изолятора может быть -50°C . Для столь низких температур происходит кристаллизация кремнийорганического эластомера первичной оболочки световода, что приводит к возрастанию оптических потерь. Поэтому в составе таких изоляционных конструкций обязательно использование световодов с некристаллизирующимися покрытиями, позволяющих обеспечить прирост оптических потерь не более 1 дБ/км во всем диапазоне температур.

2. Волоконно-оптические окна

При прокладке различных волоконно-оптических каналов, в том числе при изготовлении волоконно-оптических изоляционных конструкций, обычно возникает необходимость проводки световодов через корпуса различного оборудования, а также через различные технологические преграды, разделяющие области с различными давлениями или наполнениями или ограничивающие вакуумные объемы.

Отличительные черты этих устройств, обеспечивающих такие операции [6 — 8], — простота в изготовлении, низкая себестоимость, возможность использования световедущих элементов большого диаметра. Последнее обстоятельство обеспечивает высокую надежность всего оптического тракта, в составе которого используются волоконно-оптические окна, в силу того, что линия в месте состыковки с ними становится менее критичной к разъюстировке. Кроме того, с использованием световедущих элементов большого диаметра появляется возможность построения широкоугольных систем передачи изображения. В качестве таких световедущих элементов могут использоваться кварц-полимерные световоды или полимерное оптоволокно, диаметры световедущих жил которых могут достигать 3 мм.

Волоконно-оптическое окно (рис. 3) представляет собой кассету 1 с набором отдельных вставок со световедущими элементами 2. К технологической преграде кассета крепится с помощью гайки 6, с использованием уплотняющих прокладок 7. В том случае, когда волоконно-оптическое окно предназначено для прокладки каналов в вакуумные области, для уплотнения кассеты используются системы шип-паз с медными или другими прокладками. При использовании кассеты при высоких давлениях или для вакуумных полостей могут применяться уплотняющие конструкции аналогичные вакуумным либо построенные по принципу конус-сфера с уплотняющими прокладками.

Если волоконно-оптическое окно рассчитано на умеренные давления или просто используется для прокладки каналов через технологическую преграду в качестве вставок со световедущими элементами используются конструкции, представленные на рис. 4. В частности, в качестве световедущих элементов вставок может использоваться полимерное волокно диаметром 3 мм. Отверстия для установки световода в такой вставке изготавливаются в два этапа — предварительно с помощью электроэрозионного метода [9] и окончательно с помощью развертки. К кассете вставки крепятся с помощью винтов, а герметизация вставки и кассеты осуществляется теми же методами, которыми обеспечивается герметизация кассеты и технологической преграды.

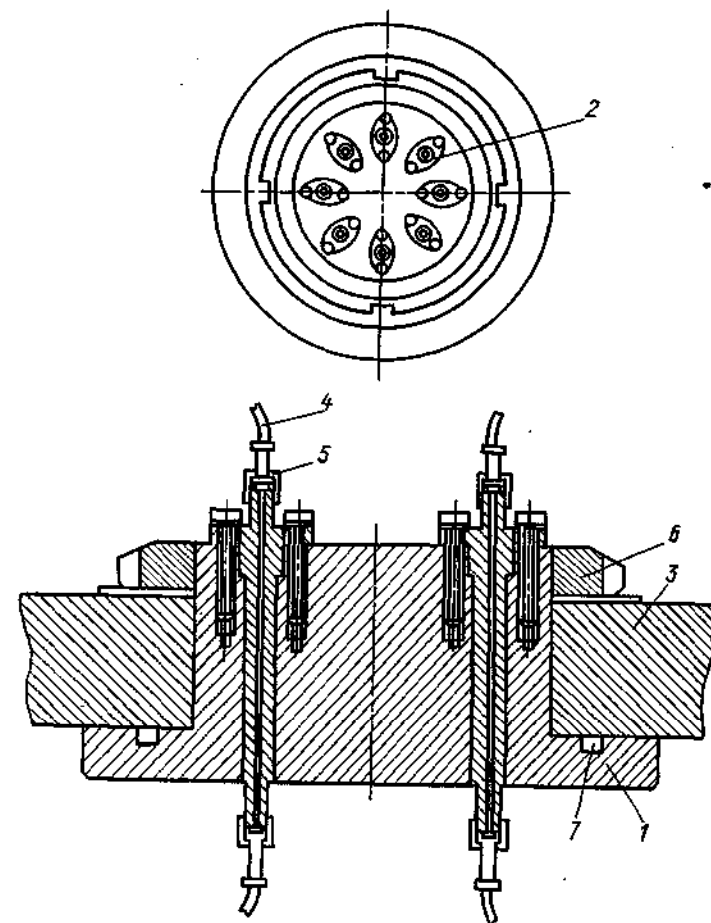


Рис.3. Многоканальное волоконно-оптическое окно, рассчитанное на умеренные давления:

1 — кассета; 2 — вставка со световедущими элементами; 3 — технологическая преграда; 4 — промежуточные световедущие элементы; 5 — опто-разъемы; 6 — гайка; 7 — уплотняющая прокладка

Таким же способом возможно изготавливать и многоканальные вставки в качестве примера на рис.5 показана конструкция четырехканальной вставки, оформленной в виде болта, рассчитанной на подключение оптоуглов типа АС, используемой в системах передачи изображения по световодам.

На рис. 6 показана конструкция многоканального волоконно-оптического окна, рассчитанного на высокие давления. В частности, такая конструкция окна может использоваться и при изготовлении окон на

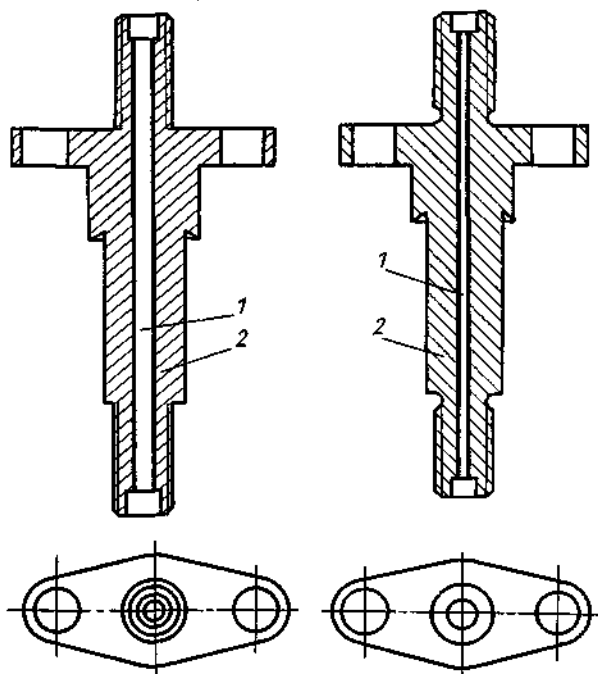


Рис.4. Вставка со световедущими элементами:
1 — световоды; 2 — корпуса

умеренные давления или для прокладки световодов через технологические преграды, если в качестве световедущих элементов применяются световоды небольшого диаметра, в том числе одномодовые.

Окно выполнено в виде болта, вкручиваемого в разделительную стенку. Болт состоит из внешнего кожуха 3 и цилиндра 5, диаметр которого точно соответствует диаметру кожуха. Вдоль цилиндра по окружности протачиваются пазы 6 прямоугольного сечения глубиной, равной диаметру световода 4. Для изготовления окна используются световоды только с технологическим полимерным покрытием. В процессе сборки в отверстие укладывается световод и весь цилиндр заливается наполнителем, затем он запрессовывается в отверстие внешнего кожуха. После высыхания наполнителя на выступающие концы световода надевается внешняя защитная оболочка 2 и устанавливаются оптические разъемы 1.

Такие окна могут использоваться в виде вставок в кассете, показанной на рис. 3.

Рабочее давление волоконно-оптического окна определяется отношением длины волоконно-оптического канала к его поперечным размерам [10 — 11], что препятствует использованию световедущего элемента большого диаметра. Один из способов устранения ограничения, а также уменьшения общей длины волоконно-оптического окна — использование составной конструкции окна с внутренним вкладышем, когда паз для укладки светове-

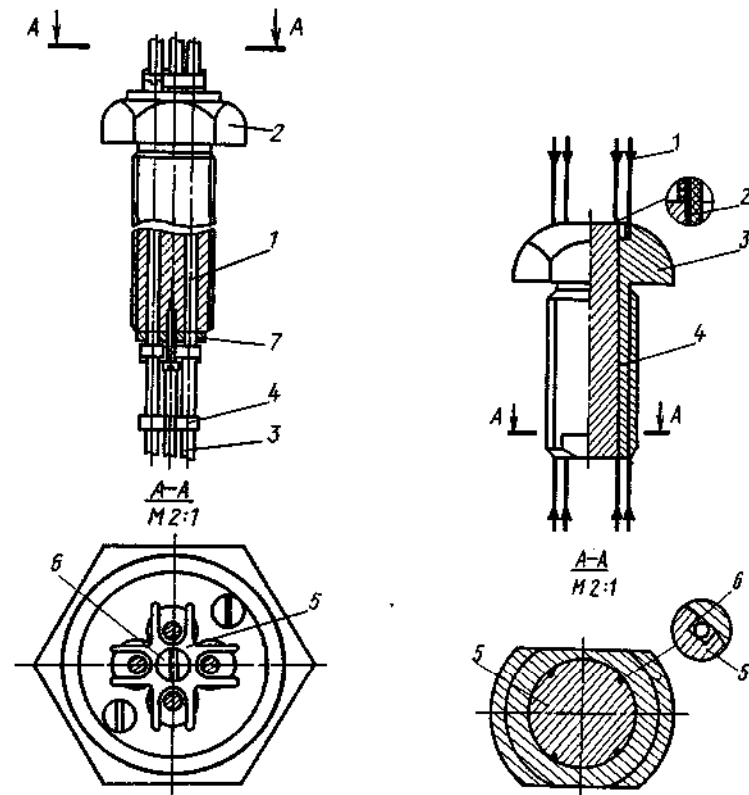


Рис.5. Четырехканальная вставка, рассчитанная на подсоединение оптожгутов типа АС:

1 — полимерные световоды большого диаметра; 2 — корпус; 3 — оптожгуты; 4 — оконцеватель оптожгутов; 5 — накладка; 6 — гайка; 7 — винт

Рис.6. Многоканальное волоконно-оптическое окно, рассчитанное на высокие давления

дущего элемента проточен не вдоль вкладыша, а по спирали (рис. 7). В такой конструкции при тех же габаритных размерах всего волоконно-оптического окна существенно увеличивается отношение длины канала к его поперечным размерам и следовательно, увеличивается рабочее давление.

Среди различных уплотняющих составов при изготовлении волоконно-оптических окон наилучшие результаты дают составы, аналогичные используемым при изготовлении электропроводов в камеру высокого давления [12], массовые части (м.ч.): смола 7Д-5 — 100 м.ч., смола ДЭГ-Ж-20 — 20 м.ч., полиэтиленполиамин — 20 м.ч. Уплотнитель может использоваться в течение 20 — 30 мин после приготовления, он легко затекает в отверстия и заполняет

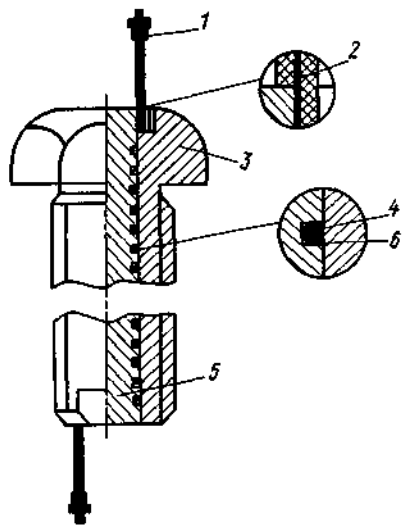


Рис.7. Волоконно-оптическое окно для световедущего элемента большого диаметра:
1 — опто-разъемы;
2 — защитная оболочка световода;
3 — внешний корпус;
4 — световедущий элемент;
5 — цилиндр;
6 — паз, проточенный по спирали

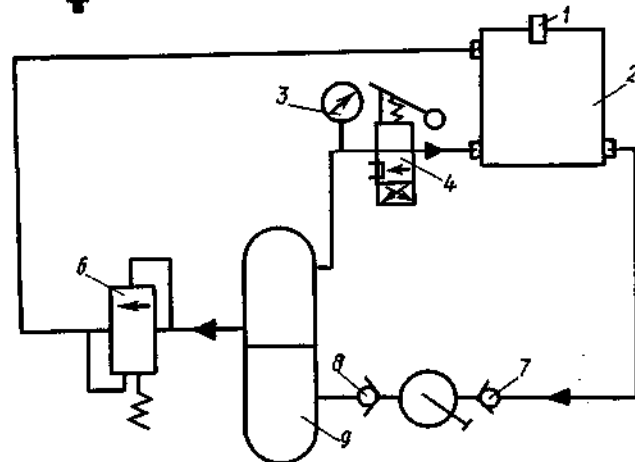


Рис.8. Схема стенда для испытания волоконно-оптических окон:
1 — испытуемое волоконно-оптическое окно; 2 — бак; 3 — манометр; 4 — насос;
5 — кран; 6 — предохранитель; 7 — клапан обратный; 8 — клапан прямой;
9 — гидроцилиндр

промежутки. Полимеризация наполнителя проводится в термостате в течение 6—10 ч при температуре 70°C. Уплотнитель пригоден к работе при температуре жидкого азота и гелия.

Дополнительные потери оптического излучения в волоконно-оптических окнах невелики и, в основном, обусловлены деформацией световода при его вклеивании, а также макроизгибами в том случае, если волоконно-оптическое окно изготавливается по схеме, показанной на рис. 7.

После изготовления волоконно-оптического окна перед его установкой в технологическое оборудование оно предварительно должно быть испытано на давление, превышающее рабочее.

На рис. 8 показаны конструкция и схема испытательного стенда. Рабочей жидкостью, используемой в стенде, является масло Т 750, ТУ38-1-239-69, по эрочное давление 2 МПа. Объем жидкости в системе — 11 000 см³, объем поверочного цилиндра — 1275 см³. Насос ручной, плунжерный. Объем рабочей полости насоса 2,3 см³, ход штока насоса 11 мм. Волоконно-оптические окна при их испытании устанавливались на гидроцилиндр с помощью специальных переходников [13].

3. Высоковольтные световоды

Высоковольтные световоды отличаются от обычных световодов внешним защитным покрытием, обеспечивающим их устойчивость к пробоям под действием высокого напряжения. По своему конструктивному исполнению высоковольтные световоды могут разделяться на световоды гибкого типа и жесткие световоды стержневого типа.

Высоковольтные световоды гибкого типа предназначены для использования в помещениях подстанций, а также в различных изоляционных конструкциях. Соответственно они подвергаются воздействию температуры и влажности воздуха внутри этих помещений или объемов.

Жесткие световоды стержневого типа могут использоваться лишь в различного вида изоляционных конструкциях и без них.

Диэлектрические характеристики световодов определяются диэлектрическими характеристиками полимерного и других покрытий, используемых при изготовлении световода и обеспечивающих его устойчивость к различным внешним механическим напряжениям.

Детальному исследованию электрической прочности полимерных материалов посвящены многочисленные исследования [14 — 16]. Несмотря на это на сегодняшний день не существует однозначной модели, объясняющей пробой полимерного диэлектрика в электрическом поле. Тем не менее большинство исследований указывает на механизм, основанный на ударной ионизации электронов.

Основной же причиной электрического старения полимеров являются частичные разряды, которые возникают в газовой прослойке, изоляции. В связи с этим внешняя оболочка высоковольтного световода должна обладать высокой трекинговостью.

Среди различных материалов повышенной трекинговостью обладают резины типа К-69 и К-14-10, а наивысшей трекинговостью обладает фторопласт.

Высокая трекинговость фторопласта дает возможность на основе модификации выпускаемых серийно световодов и защитных оболочек для них, используемых при производстве волоконно-оптических кабелей, простыми методами изготавливать высоковольтные световоды, способные длительное время работать при воздействии высокого напряжения. В частности,

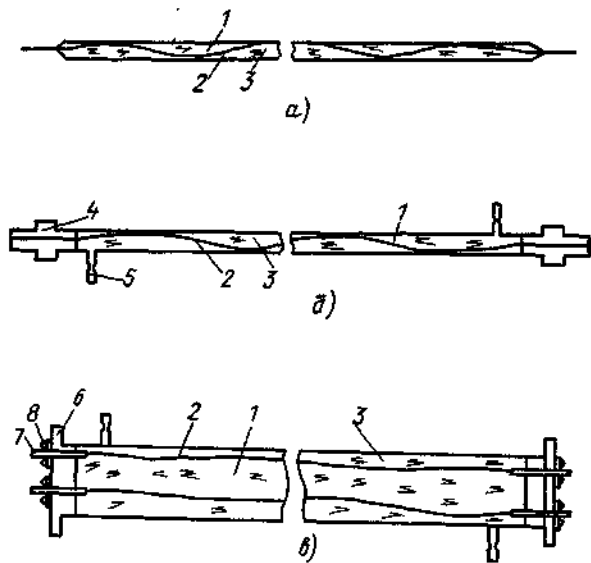


Рис.9. Гибкие высоковольтные световоды (а, б) и гибкий высоковольтный ионизации электронов кабель (в):

1 — гидрофобный диэлектрик; 2 — световод; 3 — фторопластовая трубка; 4 — одноканальное волоконно-оптическое окно; 5 — отростки для закачки гидрофобного диэлектрика; 6 — многоканальное волоконно-оптическое окно; 7 — вставки; 8 — винты

для этих целей можно использовать трубку из фторопласта с толщиной стенки порядка 0,5 мм и наружным диаметром около 2,5 мм. Световод свободно располагается в такой трубке, которая соединяется со световодом, например с помощью эпоксидной смолы или компаунда СКТН. В этом случае используются готовые модули из трубки и световода необходимой длины, применяемые при производстве волоконно-оптического кабеля (рис.9,а).

При изготовлении высоковольтных световодов более совершенной конструкции на концах устанавливаются волоконно-оптические окна (рис. 9,б), с помощью которых достигается герметизация внутренней полости защитной трубки, в которую вакуумным методом закачивается гидрофобный диэлектрик. Для этого на защитной трубке или волоконно-оптическом окне имеются специальные отростки, один из которых соединяется с сосудом, заполненным диэлектриком, закачиваемым в световод, а второй — с форвакуумным насосом.

Закачка диэлектрика обеспечивается создаваемым таким путем разряжением. Перед закачкой диэлектрика необходимо предварительно откачать объем при его непрерывном прогреве для того, чтобы удалить остатки замасливателей, используемых при производстве световода и трубки, улучшив тем самым диэлектрическую прочность световода. После заполнения защитной трубки диэлектриком отростки отпаиваются или закрываются

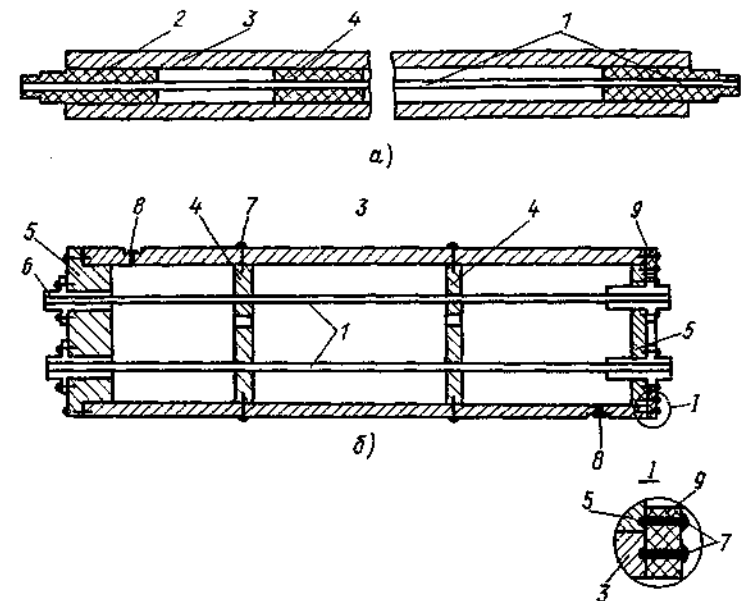


Рис.10. Высоковольтные жесткие световоды с одним (а) и четырьмя световедущими элементами (б):

1 — жесткие одножильные световоды; 2 — оконцеватели; 3 — бакелитовая трубка; 4 — втулка-фиксатор; 5 — четырехканальное волоконно-оптическое окно; 6 — вкладыши; 7 — винты; 8 — заглушки; 9 — накладка

заглушками. В таких конструкциях световодов возможно также использование и трансформаторного масла. В этом случае используется световод только с первичным защитным покрытием из лака, устойчивого к длительному воздействию трансформаторного масла.

Аналогичным образом могут изготавливаться и высоковольтные волоконно-оптические кабели, состоящие из нескольких световодов (рис. 9,в).

Вместе с тем необходимо отметить, что в большинстве случаев для волоконно-оптических изоляционных конструкций нет необходимости в использовании высоковольтных световодов, они могут быть построены на базе обычных световодов.

Высоковольтные световоды жесткого типа представляют собой трубу с хорошими электроизоляционными свойствами (например, серийно выпускаемые трубы типа ТКР или трубы из фторопласта), внутри которой имеется одножильный жесткий световод, и втулки-фиксаторы, а на концах оконцеватели (рис. 10). Использование защитной трубы в конструкции таких световодов необходимо, чтобы исключить попадание на световод пыли или других загрязнений. Если же он используется в составе высоковольтной изоляционной конструкции, построенной на базе колонки керамических или стеклянных изоляторов, не имеющих внутреннего диэлектрического заполнения, то труба предохраняет световод от конденсации влаги, возможной при отключенном изоляторе, или в случае отсутствия напряжения в линии.

Защитная труба может иметь ребристую внешнюю боковую поверхность, улучшающую диэлектрические свойства всей конструкции.

Жесткие световоды, используемые в составе такого высоковольтного изолятора, могут выполняться и на базе серийно выпускаемых оптожгутов. Для этого используется полуфабрикат оптожгута с оконцевателями, но без внешней оболочки. Такой полуфабрикат пропитывается компаундом, а затем фиксируется в растянутом виде до полной полимеризации компаунда.

Как в гибких высоковольтных световодах, так и в жестких внутренняя полость защитной трубы, содержащая световод, может заполняться жидким, газообразным или гидрофобным диэлектриком. В этом случае для сочленения торцов световода и трубы используются волоконно-оптические окна и устраиваются отростки для закачки диэлектрика.

Область применения жестких высоковольтных световодов в составе высоковольтных волоконно-оптических изоляционных конструкций, в основном, ограничена случаями, когда необходимо построить системы передачи изображения с высокопотенциальных частей высоковольтных аппаратов. Они могут также использоваться в источниках дистанционного электропитания, когда приемная и передающая части источника расположены непосредственно на высоковольтной и низковольтной частях изолятора соответственно. В этом случае особенно эффективно использовать лампы в качестве источников оптической энергии, так как значителен диаметр световодящего элемента. Кроме того, жесткие высоковольтные световоды могут быть использованы в качестве светопередающих штанг различных лабораторных высоковольтных установок.

Как в гибких высоковольтных световодах, так и в жестких их пробивная способность определяется утечкой по поверхности защитного кожуха. Типичные значения напряжения, выдерживаемые этими световодами, 200—500 кВ/м.

4. Жесткие высоковольтные волоконно-оптические изоляционные конструкции

Жесткие подвесные волоконно-оптические изоляционные конструкции, как правило, не являются грузонесущими. Поэтому их механические характеристики должны лишь обеспечивать защиту световодящего элемента от деформаций в пределах степени свободы высоковольтного объекта, связь с которым они обеспечивают. Электрические же характеристики волоконно-оптических изоляционных конструкций должны быть не ниже грузонесущего изолятора.

На рис. 11 представлена жесткая изоляционная конструкция с одним световодом [17]. Изоляционная конструкция состоит из стеклопластикового стержня 6, цилиндрической формы с отверстием вдоль оси. В это отверстие уложен световод, и оно заполнено гидрофобным диэлектриком. Поперечные геометрические размеры этого отверстия составляют 1—3 диаметра световода. Изготавливается отверстие следующим образом: стержень разрезается вдоль продольной оси пополам и на одной половине протачивается продольный паз, затем половинки соединяются друг с другом. Образованная таким образом система армирующий стержень — световод устанавливается в

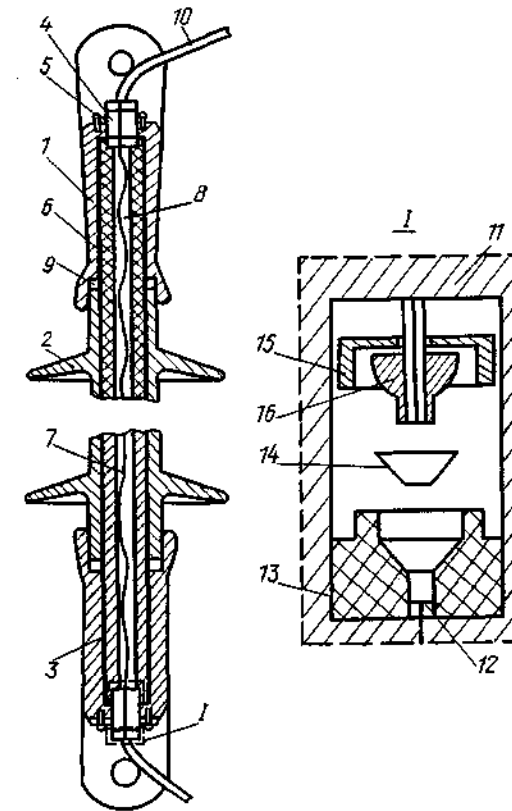


Рис. 11. Жесткая подвесная изоляционная конструкция со световодом: 1 — оконцеватели; 2 — ребра; 3 — кварцевая труба; 4 — волоконно-оптические окна; 5 — винты; 6 — стеклопластиковые стержни; 7 — световод; 8 — гидрофобный диэлектрик; 9 — уплотнители; 10 — промежуточные световоды; 11 — оконцеватели промежуточных световодов; 12 — цилиндр с резьбой; 13 — гайка с коническим отверстием; 14 — прокладка; 15 — гайка; 16 — гайка с участком сферической поверхности

кварцевую трубку 3, к которой приклеиваются ребра 2. Съемные оконцеватели 1 крепятся к армирующему стержню винтами, а уплотнение оконцевателей с корпусом всей изоляционной конструкции обеспечивается уплотнителем 9. Герметическая проводка световода через корпус изоляционной конструкции обеспечивается с помощью волоконно-оптических окон, аналогичных вкладышам, представленным на рис. 4.

Различие заключается лишь в том, что корпус вкладыша выполнен составным — из цилиндра с резьбой 12 и гайки 13 с коническим отверстием.

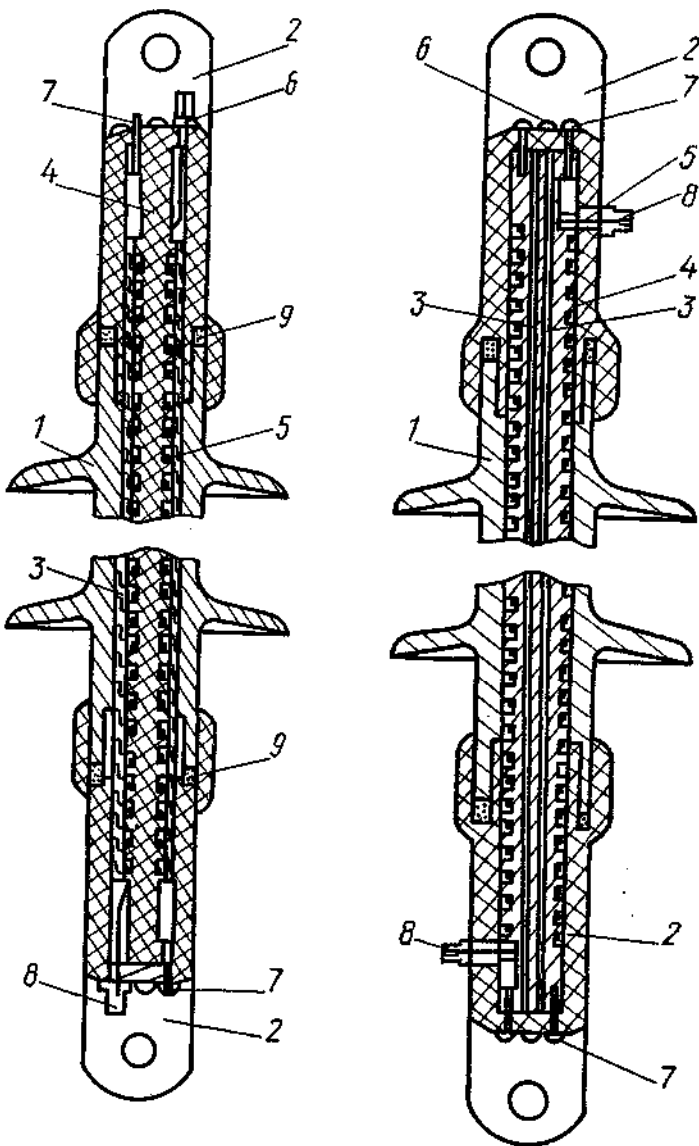


Рис.12. Жесткая подвесная изоляционная конструкция со световодом с улучшенными оптическими и электрическими характеристиками

Рис.13. Жесткая подвесная изоляционная конструкция со световодом с улучшенными оптическими и электрическими характеристиками

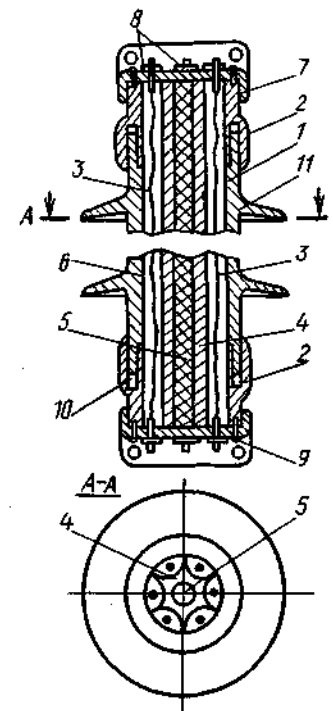
которая накручивается на цилиндр 12 после установки оконцевателей 1. Гайка 13 крепится к оконцевателям 4 с помощью винтов.

Образованная таким образом система конус-сфера сжимается гайкой 15 через прокладку 14. Выступающая часть гайки 13 одновременно выполняет функцию приемной части оптического разъема, через которую изоляционная конструкция соединяется с остальными оптоэлектронными компонентами информационно-измерительного или иного устройства, а направление резьбы на этом участке гайки 13 противоположно направлению на ее внутренней поверхности, куда вкручивается цилиндр 12 [18].

На рис. 12 и рис. 13 показаны жесткие изоляционные конструкции с улучшенными оптическими и электрическими характеристиками [19]. Изоляционные конструкции содержат корпус 1 с оконцевателями 2. В полостях корпусов изоляционных конструкций установлены несущие трубы 3, внутри которых (рис. 12) или на которых (рис. 13) установлены армирующие цилиндры 4 из изоляционного материала со спирально прорезанными канавками и уложенными в них световодами 5. Оконцеватели 2 крепятся несущим механическую нагрузку трубам и цилиндру 4 с помощью винтов 6.

Рис.14. Жесткая подвесная изоляционная конструкция с несколькими световодами:

1 — корпус; 2 — оконцеватель; 3 — световоды; 4 — фигурный фторопластовый стержень; 5 — стеклопластиковый стержень; 6 — кварцевая или стеклоэпоксидная труба; 7 — соленоидно-оптические окна; 8 — вкладыши; 9 — винты; 10 — уплотнители; 11 — ребра



Внутренняя полость изоляционных конструкций после монтажа несущих труб, цилиндров со световодами и закрепления оконцевателей может заполняться электроизоляционной жидкостью, элегазом или гидрофобным диэлектриком и герметизируется с помощью заглушек 7. Подсоединение изоляционных конструкций к другим оптоэлектронным компонентам устройств, в составе которых они используются, осуществляется через опторазъемы 8, установленные на волоконно-оптических окнах, с помощью которых световоды герметизируются с корпусами изоляционных конструкций. Корпус и оконцеватели изоляционной конструкции герметизируются через уплотнитель 9.

Корпуса и внутренний цилиндр изоляционных конструкций изготавливаются из полимерных электроизоляционных материалов. Ребра или группу ребер лучше изготавливать отдельно, с последующей резьбовой или клеевой сборкой всего изолятора.

Применение в конструкциях изоляторов цилиндров 4 со спирально прорезанными канавками позволяет увеличить длину световедущих элементов 5, находящихся в условиях, защищенных от внешних воздействий, и использовать в качестве световедущих элементов оптожгуты. Первое обстоятельство улучшает надежность всей изоляционной конструкции по электрическим характеристикам без увеличения длины изолятора и дает возможность эксплуатировать его при достаточно высокой надежности без заполнения внутренней полости какой-либо изоляционной средой. Использование же оптожгутов в качестве световедущих элементов существенно упрощает конструкцию информационно-измерительного тракта, в состав которого входят изоляторы, поскольку условия ввода и вывода оптического излучения в оптожгуты по сравнению с волоконно-оптическими модулями и кабелями менее жесткие, а надежность тракта становится более высокой в связи с тем, что вся линия менее критична к разъюстировке передатчик — жгут, жгут — приемник. Кроме того, волоконно-оптические жгуты, например, при создании широкоугольных систем передачи изображения с высоковольтных платформ являются единственно возможными световедущими элементами, позволяющими передать оптическое изображение. Существенен и тот факт, что спиральная форма канавки, в которую укладываются световедущие элементы, позволяет снизить механические нагрузки на них, возникающие при деформации изолятора. Соответственно улучшаются оптические характеристики изолятора.

На рис. 14 показана жесткая изоляционная конструкция с несколькими световедущими элементами, предназначенная для использования в составе оптоэлектронных систем, построенных на базе волоконно-оптических кабелей [20]. Отличие этой изоляционной конструкции от рассмотренных выше заключается в том, что во внутреннюю полость устанавливается фигурный фторопластовый стержень 4, армированный стеклопластиковым стержнем 5. Фторопластовый стержень также как и в предыдущих конструкциях вставлен в кварцевую или стеклоэпоксидную трубу, на которую надеты ребра 11 и оконцеватели 2. В образованные между фторопластовым стержнем и трубой канавки, параллельные продольной оси изоляционной конструкции или образующие с этой осью спираль с большим шагом, уложены световоды 3. Возможно также заполнение канавок диэлектриком, за счет которого, так же как и в предыдущих случаях, улучшаются электрические характеристики изолятора. Герметизация световодов с корпусом изолятора обеспечивается волоконно-оптическим окном, аналогичным представленному на рис. 4, с составными вкладышами, подобными применяемым в изоляционной конструкции, показанной на рис. 11.

В конструкциях изоляторов, показанных на рис. 11—14, все детали, входящие в их состав, могут изготавливаться раздельно друг от друга. Это позволяет получить высокое качество внешней поверхности изоляторов, что в свою очередь, делает их менее подверженными загрязнению при длительной эксплуатации и тем самым снижает возможность перекрытия изоляторов высоким напряжением. Кроме того все рассмотренные изоляционные конструкции построены на базе обычных, не высоковольтных световодов.

Жесткие опорные изоляционные конструкции со световодами, как и подвесные изоляционные конструкции со световодами, в отличие от соответствующих электрических изоляторов не являются грузонесущими. Они лишь обеспечивают связь с помощью световодов между частями высоковольтного аппарата, имеющего различные потенциалы, в том числе между Землей и

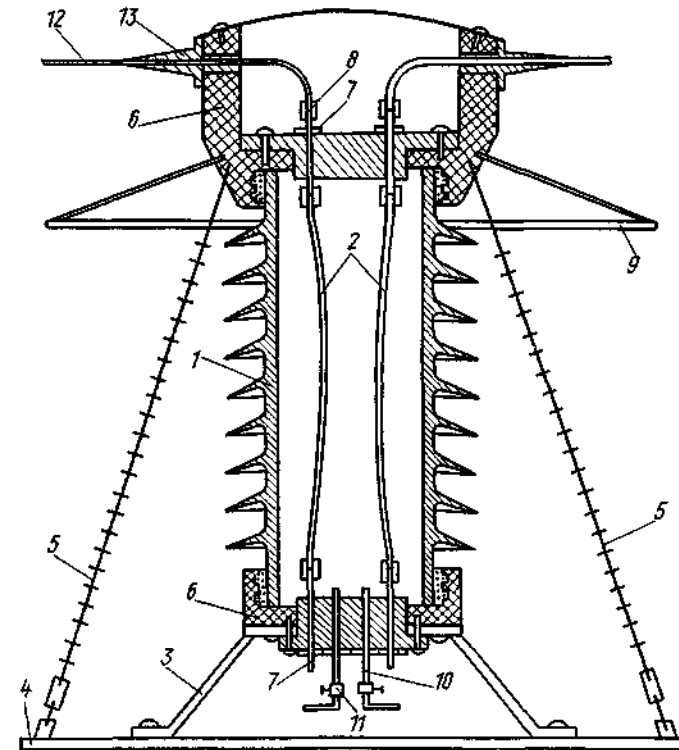


Рис. 15. Жесткая опорная изоляционная конструкция со световодами на базе колонки полых керамических опорных изоляторов:
1 — колонка полых керамических опорных изоляторов; 2 — высоковольтные световоды гибкого типа; 3 — стойки; 4 — основание; 5 — оттяжки; 6 — фланцы; 7 — волоконно-оптические окна; 8 — опторазъемы; 9 — экран; 10 — шгултеры; 11 — кранцы; 12 — световоды, обеспечивающие связь с опто-электронным блоком, расположенным под высоким потенциалом; 13 — заглушки

высоковольтным объектом. Соответственно их механические характеристики должны лишь обеспечивать защиту световедущих элементов от механических нагрузок, возникающих при перемещении высоковольтных объектов, связь с которыми они обеспечивают, а также необходимую жесткость оптоэлектронного устройства, когда изоляционная конструкция является его несущей частью (на концах изоляционной конструкции расположены приемная и передающая части оптоэлектронного устройства).

По конструктивному исполнению систем армировки изоляционные конструкции этого типа могут быть разделены на конструкции без системы армировки и с системами внутренней или наружной армировки.

На рис. 15 представлена изоляционная опорная конструкция, выполненная на базе колонки керамических опорных изоляторов с внутренней полостью. Колонка 1 укреплена на основании 4 с помощью стоек 3. Для

придания дополнительной механической прочности всей изоляционной конструкции основание выполнено в виде крестовины. К лучам крестовины крепятся оттяжки 5, представляющие собой однонаправленный стеклопластиковый стержень, на который с помощью эпоксидной смолы нанесены ребра, выполненные из фторопласта, а концы стержня заделаны в металлические оконцеватели. На концах колонки изоляторов с помощью портландцемента закреплены металлические фланцы 6, к которым крепятся волоконно-оптические окна. Кроме того, к ним же могут прикрепляться передающая и приемные части оптоэлектронного устройства. Герметизация волоконно-оптических окон с фланцами 6 обеспечивается системой шип—паз с медной или индиевой прокладкой. Герметизация отдельных вставок с кассетой обеспечивается таким же образом. На нижней кассете кроме вставок со световедущими элементами установлены два штуцера с кранами, через которые может осуществляться продувка сухого воздуха через внутреннюю

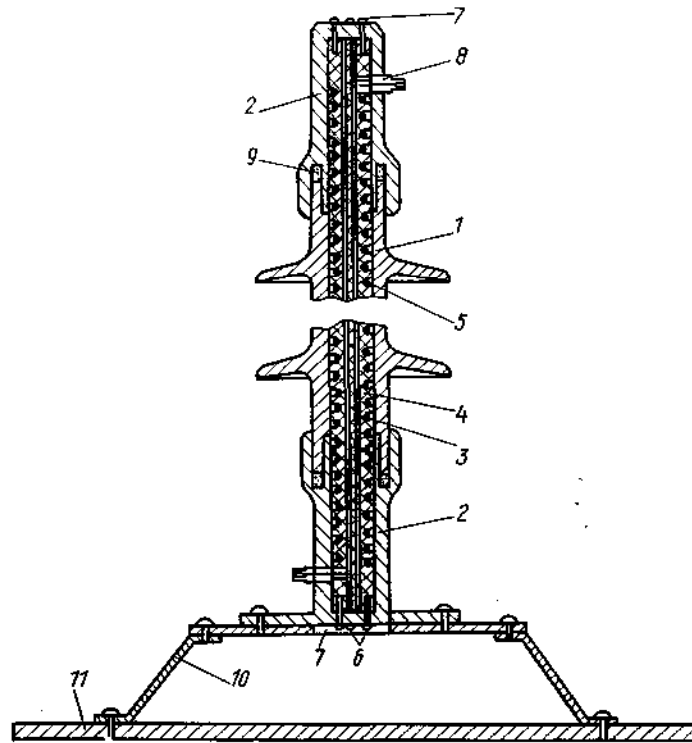


Рис.16. Жесткая опорная изоляционная конструкция со световодом, рассчитанная на умеренные напряжения:
1 — корпус; 2 — оконцеватели; 3 — несущая труба; 4 — армирующий цилиндр; 5 — световод; 6 — винты; 7 — заглушки; 8 — опто-разъемы; 9 — уплотнители; 10 — стойки; 11 — основание

полость изолятора, или он может заполняться элегазом для улучшения диэлектрических характеристик. В последнем случае один из штуцеров соединяется с системой контроля давления газа. В качестве световедущих элементов в изоляционной конструкции использованы высоковольтные световоды гибкого типа с фторопластовой внешней защитной оболочкой и гидрофобным наполнителем со стандартным световодом.

Такие изоляционные конструкции целесообразно использовать либо на высокие классы напряжения, либо в тех случаях, когда они являются грузонесущей частью оптоэлектронного устройства.

Опорный изолятор, показанный на рис. 16, аналогичен по своему устройству изоляционной конструкции, показанной на рис. 13. Он рассчитан на умеренные напряжения (до 330 кВ) и может использоваться только для связи с высоковольтным объектом.

Электрические характеристики опорных изоляционных конструкций, так же как и аналогичные подвесные со световодами, рассчитываются по методикам, используемым для соответствующих электрических изоляторов [2 — 5].

Проходные изоляционные конструкции со световодами предназначены для проводки световедущих элементов через стенки или перекрытия, имеющие электрический потенциал, отличный от потенциала Земли. Они могут использоваться в помещениях (оба конца), на открытом воздухе (оба конца) или для наружно-внутренней установки (один конец в помещении, другой на открытом воздухе, обычно с большей длиной утечки).

С учетом предназначения, изоляционные конструкции этого типа представляют собой волоконно-оптические окна, на внешней поверхности которых располагаются ребра, исключая пробой под действием высокого напряжения по поверхности при увлажнении или загрязнении конструкции.

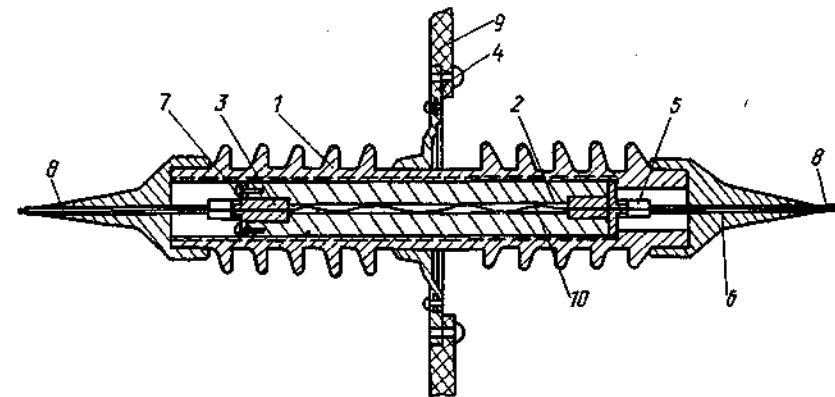


Рис.17. Проходной изолятор со световодом, рассчитанный на использование обоих концов на открытом воздухе:

1 — ребра; 2 — кварцевая труба; 3 — волоконно-оптические окна; 4 — металлический фланец; 5 — опто-разъемы; 6 — крышки; 7 — винты; 8 — промежуточные световоды; 9 — технологическая претраца; 10 — световод

На рис. 17 показан один из вариантов проходного изолятора с одним световедущим элементом, рассчитанным на использование обоих концов на открытом воздухе. Изоляционная конструкция выполнена на базе набора фторопластовых ребер 1, надетых на кварцевую трубу 2, внутри которой вставлено волоконно-оптическое окно 3, аналогичное показанному на рис. 4. На группу ребер, расположенных в середине изолятора, надет металлический фланец 4, с помощью которого изолятор крепится к технологической преграде 9. Изолятор соединяется с промежуточными световодами 8 с помощью опторазъемов 5 причем, на концы промежуточных световодов надеты крышки 6, которые после соединения опторазъемов соединяются резьбовым способом с корпусом изоляционной конструкции, исключая тем самым попадание влаги, пыли и т.д. во внутреннюю полость изоляционной конструкции.

В том случае, когда необходимо обеспечить прокладку волоконно-оптического кабеля через технологическую преграду высоковольтного аппарата, рассчитанного на высокие и сверхвысокие напряжения, в качестве волоконно-оптического окна могут использоваться окна, показанные на рис. 6 или 7.

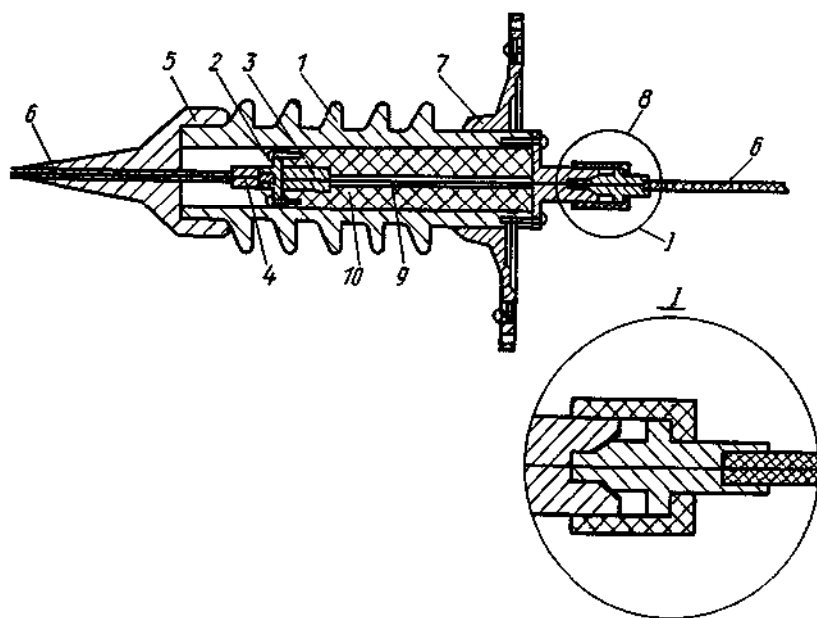


Рис.18. Проходной изолятор, позволяющий выводить световод через высоковольтные технологические преграды, ограничивающие маслonaполненные области:

1 — ребра; 2 — винты; 3 — волоконно-оптическое окно; 4 — опто-разъем; 5 — крышка; 6 — промежуточные световоды; 7 — фланец для крепления изолятора; 8 — герметичный опто-разъем; 9 — световод; 10 — фторопластовый стержень

Если же один конец изоляционной конструкции расположен на открытом воздухе, а второй в помещении, то форма ребер на концах изоляционной конструкции разная, а в том случае, когда один ее конец располагается в масле необходимости в них вообще нет.

На рис. 18 показана изоляционная конструкция, позволяющая осуществлять ввод световедущего элемента в маслonaполненные объемы. Отличие этой конструкции от показанной на рис. 17 в том, что расположенная в маслonaполненной области часть опто-разъема полностью загерметизирована.

Как и для предыдущих типов изоляционных конструкций со световодами, число ребер на изоляционных конструкциях этого типа определяется по стандартной методике, но при этом в расчетах учитывается, что световод, соединяющий ее с оптоэлектронным устройством, также обеспечивает диэлектрическую прочность.

5. Гибкие волоконно-оптические изоляционные конструкции

Гибкие волоконно-оптические изоляционные конструкции являются более перспективным видом волоконно-оптических конструкций подвесного типа. Они не имеют аналогов среди электрических изоляторов.

По существу гибкие изоляционные конструкции являются разновидностью гибких высоковольтных световодов, отличающихся от них наличием ребер, исключаящих его перекрытие под действием высокого напряжения при увлажнении и загрязнении поверхности.

Вместе с тем, для этого типа изоляционных конструкций механические характеристики внешней защитной оболочки значительно выше соответствующей характеристики высоковольтных световодов, из-за большей массы.

На рис. 19 показана гибкая изоляционная конструкция, построенная в соответствии со способом расчленения таких изоляционных конструкций на отдельные части с их заполнением жидким или гидрофобным диэлектриком.

Изоляционная конструкция построена следующим образом. Вдоль световода 6 установлены волоконно-оптические окна 3, аналогичные используемым в конструкции, показанной на рис. 4, закрепленные в диафрагмы 2. В эти же диафрагмы установлены штуцеры 8, соединенные между собой фторопластовой трубкой 9 с отверстиями на боковой поверхности в каждой секции. Нижняя и верхняя диафрагмы жестко связаны с оконцевателями 4, с помощью которых изоляционная конструкция крепится к высокопотенциальной и низкопотенциальной частям высоковольтного аппарата. Образованные таким образом секции соединяются отрезками фторопластовых труб 7, длина которых меньше длины световода 6, и на них наклеиваются ребра 1 (из фторопласта). После сборки изоляционной конструкции ее внутренняя полость заполняется элегазом через кран 5.

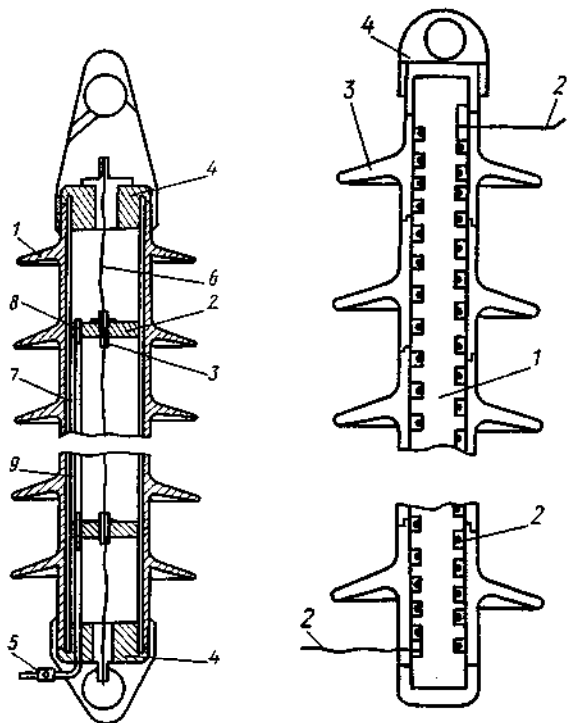


Рис. 19. Гибкая изоляционная конструкция со световодом с диафрагмами

Рис. 20. Гибкая изоляционная конструкция на базе диэлектрического стержня:
1 — гибкий диэлектрический стержень со спирально прорезанной канавкой;
2 — световод; 3 — ребра; 4 — оконцеватель

Точно таким же образом могут строиться гибкие изоляционные конструкции на несколько световодов. Для этого в диафрагмы устанавливаются многоканальные волоконно-оптические окна.

Более простая гибкая изоляционная конструкция показана на рис. 20 [22]. Она выполнена на базе гибкого диэлектрического стержня 4, на внешней поверхности которого прорезается спиральная канавка. В эту канавку укладывается световод 2, затем внешняя поверхность диэлектрического стержня замазывается диэлектрическим полимерным материалом. После полимеризации диэлектрика на внешнюю поверхность изоляционной конструкции устанавливаются ребра 3.

Длина всех рассмотренных гибких изоляционных конструкций как правило, не превосходит 8—10 м. При такой длине их масса незначительна, что позволяет подсоединять изоляционные конструкции, например к линии высокого напряжения, практически любого класса в любом ее месте без существенного механического напряжения проводов.

В заключение необходимо отметить что, несмотря на то, что серийное производство высоковольтных световодов и волоконно-оптических изоляционных конструкций не требует существенного изменения уже существующих технологий производства световодов и полимерных высоковольтных электрических изоляторов, в нашей стране серийный выпуск этих видов высоковольтных устройств еще не освоен, что сдерживает широкомасштабное внедрение волоконно-оптических систем на различных энергетических объектах. Экономические же аспекты практического использования таких систем, особенно на сверхвысоковольтных объектах, весьма обнадеживающие.

Список литературы

1. И.Г.Кирип, А.М. Смоляк, Р.Г.Хакимжанов. Лидеры с опто-волоконной изоляцией для измерения параметров в высоковольтных установках // Тезисы докладов научно-практической конф. (24-26 нояб., 1986 г.), Ташкент.
2. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / А.М.Адоньев, В.В.Афанасьев, И.М.Бортник и др. // Под ред. В.В.Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1987 г.
3. Искулин Н.В., Шпирова Г.Д. Высоковольтные вводы и их ремонт. М.: Высшая школа, 1986 г.
4. Александров Г.Н., Иванов Г.Д. Изоляция аппаратов высокого напряжения. Л.: Энергоатомиздат, 1984 г.
5. Электрические изоляторы / Н.С. Костюков, Н.В. Минаев, В.А.Князев и др.: Под ред. Н.С.Костюкова. М.: Энергоатомиздат, 1984г.
6. Кирип И.Г., Смоляк А.М., Хакимжанов Р.Г. Волоконно-оптические окна на основе световодов // Приборы и системы управления, 1984 г. № 4. С. 21-22.
7. Кирип И.Г., Смоляк А.М., Хакимжанов Р.Г. Оптическое окно на основе световодов // Информационный листок о НТД № 87-129, сер. 50.09.37, Ташкент, 1987 г.
8. Кирип И.Г. Оптические окна на основе световодов // Информационный листок № 59-91, сер. 90.27.30, Белгород, 1991 г.
9. Электроэрозивная обработка электропроводящих материалов. Проспект, Ташкент. Институт электроники АН УзССР, 1985 г.
10. Бредли К. Применение техники высоких давлений при исследовании твердого тела. М.: Мир, 1972 г.
11. Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях.
12. Электропроводы в камеру высокого давления / Е.С.Ицкевич, В.Ф.Крайденов, З.А.Миронова и др. // Приборы и техника эксперимента. 1968. № 1. С. 187 — 188.
13. Кирип И.Г. Компактный лабораторный стенд для испытания на давление // Информационный листок о НТД № 92—4, сер. 90.27.37., Белгород, 1992 г.

14. Электрические свойства полимеров // Б.И. Сажина. Л.: Химия, 1986.
15. Койков С.Н., Цикли А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков. Л.: Энергия, 1968.
16. Воробьев А.А., Воробьев Г.А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков. М.: Высшая школа, 1966.
17. Кирич И.Г. Волоконно-оптическая изоляционная конструкция // Информационный листок № 50-91, сер. 47.35.41, Белгород, 1991 г.
18. Кирич И.Г. Коаксиальный гермоввод // Информационный листок № 54-91, сер. 30.27.30., Белгород, 1991 г.
19. А.С.1515204 СССР, МКИ H01B 17/02. Изоляционная конструкция /И.Г.Кирич// Открытия. Изобретения. 1983. №38.
20. Кирич И.Г. Многоканальная изоляционная конструкция со световодами // Информационный листок № 92-10, сер. 45.49.09, Белгород, 1992 г.
21. Arditty H., Rollin M. Dispositif interferentique de mesure de courant électrique a fibre optique. Заявка Франции 2526955. Опубл. 18.11.1983.
22. Allen L.A., Le Bant P.Y. Raccordement optique en hante tension: deux typex d'extremites de'ja'en servise//Revue generade d'electricite. 1986. № 6. P. 18—23.

Содержание

Предисловие	3
Введение	4
1. Принципы и методы построения высоковольтных волоконно-оптических каналов и изоляционных конструкций	5
2. Волоконно-оптические окна	10
3. Высоковольтные световоды	15
4. Жесткие высоковольтные волоконно-оптические изоляционные конструкции	19
5. Гибкие волоконно-оптические изоляционные конструкции	28
Список литературы	30

Производственно-практическое издание

КИРИН ИГОРЬ ГРИГОРЬЕВИЧ

Электрические изоляторы со световодами

Редактор издательства *А.В. Волковицкая*
Художественный редактор *В.А. Гозак-Хозак*
Технический редактор *Г. В. Преображенская*
Корректор *Л.А. Гладкова*
ИБ № 3997

IP № 010256 от 07.07.92.

Набор выполнен в издательстве. Подписано в печать с оригинал-макета 28.04.94.
Формат 60 x 88 1/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,96. Усл. кр.-отт.
2,20. Уч.-изд. л. 2,57. Тираж 300 экз. Заказ 1803. С063.

Энергоатомиздат. 113114. Москва М-114, Плюсовая наб., 10.

Отпечатано в Московской типографии № 9 Комитета Российской Федерации по печати
109033, Москва, Волоцкая ул., 40.