

УДК 612.087

DOI: 10.34824/VKNIRAN.2021.6.2.012

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ**

© Дикаев Ибрагим Висханович (a), Лорсанов Усман Шамильевич (b),  
Хашумов Исмаил Усманович (c), Юнусова Зулихан Умаровна (d)

- (a) Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный
- (b) Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный
- (c) Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный
- (d) Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М.Д. Миллионщикова, Российская Федерация, г. Грозный

*Аннотация.* В настоящий момент самой быстродействующей и надежной средой передачи информации является волоконный световод. Около 70 % всего мирового информационного трафика передается через оптоволоконные линии связи. За десятилетия, прошедшие с момента появления оптоволокна, суммарная длина всех проложенных кабелей составила 1 млрд км, а скорость передачи информации выросла до 100 Тбит/с. Чтобы достичь таких скоростей передачи, разработчики используют технологию WDM (Wavelength Division Multiplexing — мультиплексирование с разделением по длинам волн), позволяющую передавать информацию по нескольким частотным каналам одновременно. Применяются также иные методы, в частности, все активнее прибегают к использованию форматов модуляции с высокой спектральной эффективностью (например, к квадратурно-амплитудной модуляции).

*Ключевые слова:* цифровая обработка, сигнал, волоконно-оптические линии, линии передачи.

## **INVESTIGATION OF DIFFERENT DIGITAL PROCESSING ALGORITHMS OF THE SIGNAL OF FIBER-OPTICAL TRANSMISSION LINES**

© Dikaev Ibragim Viskhanovich (a), Lorsanov Usman Shamilevich (b),  
Khashumov Ismail Usmanovich (c), Yunusova Zulikhan Umarovna (d)

- (a) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation, Grozny

- (b) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation,  
Grozny
- (c) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation,  
Grozny
- (d) Grozny State Oil Technical University by Acad. M.D. Millionshikov, Russian Federation,  
Grozny

**Abstract.** At the moment, the fastest and most reliable information transmission medium is a fiber optic fiber. About 70% of all global information traffic is transmitted via fiber-optic communication lines. Over the decades that have passed since the appearance of fiber, the total length of all laid cables has reached 1 billion km, and the information transfer rate has grown to 100 Tbit / s. To achieve such transmission rates, developers use WDM (Wavelength Division Multiplexing) technology, which allows information to be transmitted over several frequency channels simultaneously. Other methods are also used, in particular, more and more actively resort to the use of modulation formats with high spectral efficiency (for example, quadrature-amplitude modulation).

**Key words:** digital processing, signal, fiber optic lines, transmission lines.

Оптическое волокно характеризуется повышенной пропускной способностью, что позволяет использовать его для создания волоконно-оптических линий связи, способных обеспечить высокоскоростную передачу данных.

Носитель FOCL - кварцевое стекло. Благодаря характеристикам материала, линии связи характеризуются незначительными потерями и невосприимчивостью к воздействию электромагнитных полей.

Волоконно-оптические подобные системы, отвечающие за передачу информации, часто используются при формировании рабочих объектов в качестве внешних магистралей, предназначенных для объединения отдельных зданий и сооружений, многоэтажных зданий.

Волоконно-оптическая линия передачи, пригодная для использования в подводном кабеле, в котором одно или несколько спирально сформированных оптических волокон расположены вдоль гибкого трубчатого элемента, содержащего полужидкое желеобразное вещество. Благодаря спиральной форме волокон волокна не подвергаются напряжению даже при осевой нагрузке на линию. Желатиновое вещество удерживает волокна в их спиральной форме и предотвращает истирание волокон. Раскрыт также способ формирования такой волоконно-оптической линии передачи [1].

Волоконно-оптические кабели используются для передачи сигналов между зданиями и внутри различных объектов. Примечательно, что при формировании внешних линий связи часто отдается предпочтение оптическим кабелям. Допускается использование горизонтальных кабелей в качестве соединительных кабелей внутри помещений. При этом часто выполняется оборудование отдельных рабочих мест.

Для построения волоконно-оптических сетей могут быть задействованы различные типы оптических волокон. Они варьируются в зависимости от материала, используемого

при изготовлении. Если речь идет о исходном сырье, то для изготовления можно использовать стекло, пластик или комбинированные волокна. Стекла обеспечивают самую высокую пропускную способность. Пластик используется, если требования к затуханию и полосе пропускания не критичны.

Если речь идет о типах путей, по которым проходит свет в волоконном сердечнике, то в продаже можно встретить одномодовые и многомодовые модели. Первый сорт характеризуется небольшим диаметром сердцевины. Только один луч света может пройти через него. Многомодовые модели, характеризующиеся большим диаметром сердечника, могут иметь градиентный или ступенчатый профиль [6].

Современные волоконно-оптические кабели, используемые для создания линии передачи данных, имеют одинаковый наружный диаметр 125 мкм. Толщина первичного буферного покрытия, выполняющего защитные функции, составляет 250 мкм; вторичного покрытия - 900 мкм. Протяженность магистрали может достигать нескольких сотен километров. При построении такого маршрута необходимо решить проблему слияния отдельных отрезков.

Соединение может быть разъемным и цельным. В первом случае для фиксации используются оптические разъемы, использование которых требует дополнительных финансовых затрат. Когда речь идет о постоянном соединении локальных секций, используются механические соединители, клеевое сращивание или сварка отдельных сегментов. В последнем случае необходимы специализированные устройства для сварки оптических волокон.

Наиболее широко используется техника склеивания. При его реализации задействовано специализированное оборудование и инструменты. Процесс фиксации включает в себя несколько технологических операций.

Перед соединением в нужных местах удаляют защитное покрытие и лишнее волокно. Эпоксидный клей используется для обеспечения надежной посадки. Он заполняет внутреннее пространство разъема. Для отверждения и сушки клеевого состава используется специализированная печь, создающая температуру 100 градусов. После того как клей затвердеет, лишнее волокно удаляется, наконечник соединителя подвергается шлифовке и полировке. Высокая точность выполняемых процедур обеспечивается за счет использования 200-кратного микроскопа. Полировка производится вручную или с помощью специализированного оборудования.

#### Предыстория изобретения

Настоящее изобретение относится, как правило, к волоконно-оптической линии передачи и, более конкретно, к такой линии, пригодной для использования в кабеле передачи оптического сигнала, таком как подводный кабель.

Волоконно-оптические элементы теперь имеют достаточно низкое затухание, чтобы их можно было рассматривать для обычной передачи сигналов почти так же, как сейчас используются коаксиальные кабели. Волоконно-оптические элементы обладают преимуществом в тысячи раз большей ширины полосы, а также меньшими размерами и весом, чем электромеханические кабели. Проблема, связанная с включением оптических волокон в кабели, заключается в том, что они очень хрупкие и легко истираются или ломаются. Последние данные также указывают на то, что оптические характеристики пропускания волокон

серьезно ухудшаются, когда волокна подвергаются даже небольшим напряжениям. Например, оптическое стекловолокно не должно быть напряжено более чем на 0,1%. Деформация типичного электромеханического легкого кабеля при опускании на дно океана составляет порядка 0,1%. Для электромеханического стального бронированного кабеля деформация будет составлять порядка 1% из-за веса стальной брони. Таким образом, очевидно, что оптическое волокно в его нормальной форме не может быть включено в обычный электромеханический кабель без ухудшения передаточных характеристик волокна. Кроме того, поскольку оптические волокна чрезвычайно хрупки и легко истираются или ломаются, они не могут быть обработаны на стандартном оборудовании для производства кабелей в их нормальном виде [7].

Поэтому желательным и представляющим собой одну из целей настоящего изобретения является создание узла волоконно-оптической линии передачи, обладающего достаточной прочностью и защитой для обработки на стандартном оборудовании для изготовления кабелей. Другая цель изобретения состоит в том, чтобы обеспечить волоконно-оптическую линию передачи, которая спроектирована таким образом, чтобы она значительно ограничивала, если не устраняла, напряжение и истирание оптических волокон в ней, даже если линия содержится в кабеле, который эксплуатируется стандартным образом и поэтому подвержен значительным напряжениям [2].

#### Краткое описание изобретения

В соответствии с основным аспектом настоящего изобретения предусмотрен узел волоконно-оптической линии передачи для кабеля передачи оптического сигнала. Линия состоит из одного или нескольких оптических волокон, расположенных вдоль гибкого трубчатого элемента. Каждое волокно имеет такую конфигурацию, что длина его оси волокна больше длины трубчатого элемента, когда последний находится в расслабленном состоянии, так что волокно по существу свободно от осевого напряжения, когда трубчатый элемент находится под нагрузкой. Предпочтительно, чтобы оптические волокна были спирально сформированы, хотя они могут иметь и другие волнообразные конфигурации. Текущая среда по существу заполняет трубчатый элемент, чтобы ограничить продольное и поперечное перемещение волокон внутри элемента. Такой узел линии передачи может подвергаться напряжениям и существенным изгибам без повреждения оптических волокон в нем из-за того, что спирально намотанные волокна могут удлиняться без приложения осевого напряжения к волокнам как таковым. Кроме того, текучая среда, заполняющая трубчатый элемент, имеет тенденцию удерживать волокна в их спиральной форме и предотвращает значительное боковое перемещение волокон и их истирание. Таким образом, узел линии передачи может быть обработан с помощью стандартного экструдированного оборудования для формирования брони и наружной оболочки на нем с образованием кабеля и может быть использован с другими линиями для формирования многожильного кабеля путем скручивания линий вместе или укладки их параллельно друг другу в пределах внешнего корпуса. Линия передачи по настоящему изобретению может быть использована обычным способом, например, путем опускания ее на дно океана или тому подобное, подвергая ее сильным изгибам и продольным напряжениям без осевого напряжения волокон, что позволяет передавать оптический сигнал без ухудшения качества [3].

В соответствии с другим аспектом изобретения предусмотрен способ формирования вышеупомянутой волоконно-оптической линии передачи. Одно или несколько оптических

волокон спирально намотаны на сердечник, который способен превращаться в полужидкое желеобразное вещество при воздействии растворителя. Тонкий слой образуется поверх сердечника, несущего оптические волокна, чтобы стабилизировать волокна на сердечнике. Затем вокруг узла волокна с сердцевинной формируется трубчатый элемент. Трубчатый элемент заполнен растворителем, который размягчает сердцевину и стабилизирующий волокна слой, образуя желеобразную полужидкую среду, которая поддерживает волокна внутри корпуса и сохраняет их в спиральной форме [8].

#### Описание предпочтительных вариантов

Обратимся теперь к чертежам в деталях, где подобные опорные символы обозначают подобные или соответствующие части на протяжении различных видов. Линия содержит гибкий трубчатый элемент, который содержит оптическое волокно, проходящее вдоль трубчатого элемента. Концы трубчатого элемента закрыты штекерными элементами, которые могут быть выполнены в виде соединительных элементов для соединения с ответными соединительными элементами на дополнительных линиях. Концы оптического волокна проходят через штекерные элементы. Металлический броневой слой и наружная оболочка, которые могут быть выполнены из подходящего пластика, сформированы над узлом линии передачи, завершающим кабель. Слои тянутся к противоположным концам линии.

Гибкий трубчатый элемент имеет относительно жесткую и жесткую стенку, которая существенно прочнее волокна, чтобы обеспечить защитный чехол для волокна. Слой несет в основном нагрузку кабеля во время любой обработки кабеля, например, когда кабель опускается на дно океана. Слой и трубка обеспечивают защиту оптического волокна от нежелательных внешних воздействий, таких как вода или влага, а также от воздействия органической природы, такой как укусы рыб, бактерии и т.д. Подходящим материалом для труб является полиэтилен, спирально сформированные металлические или пластиковые прочностные элементы или провода могут быть встроены в стенку трубчатого элемента для повышения его прочности.

Согласно важной особенности изобретения оптическое волокно подвешено внутри трубчатого элемента таким образом, что при нагрузке кабеля, будь то осевая нагрузка или изгибающие напряжения, не возникает деформации вдоль оси волокна. Для достижения этой цели оптическое волокно размещают внутри трубчатого элемента таким образом, чтобы длина его оси волокна была больше длины трубчатого элемента, когда последний находится в расслабленном состоянии. В предпочтительной форме изобретения оптическое волокно выполнено в виде спирали, причем ось спирали концентрична оси трубчатого элемента. Однако следует понимать, что цель изобретения может быть достигнута путем формирования оптического волокна в различных конфигурациях, таких как синусоидальная конфигурация. Очевидно, что любая волнообразная конфигурация оптического волокна была бы подходящей до тех пор, пока длина оси волокна больше длины трубчатого элемента. Как легко понять, когда трубчатый элемент удлинен в результате воздействия осевой нагрузки, его длина  $L'$  будет увеличиваться, вызывая уменьшение угла шага  $\alpha$  волоконной спирали, а также уменьшение радиуса спирали. Другими словами, спираль волокна вытягивается в осевом направлении, а извилины уменьшаются в диаметре, так что к волокну не прикладывается деформация вдоль его оси, когда оно подвергается удлинению. То же самое

верно, когда трубчатый элемент подвергается изгибным деформациям. Угол тангажа  $\alpha$  спирали волокна выбирается таким, чтобы при максимальных осевых нагрузках на трубчатый элемент в волокне была нулевая продольная деформация [4].

Предпочтительно диаметр витков спирали меньше внутреннего диаметра трубчатого элемента, так что волокно свободно смещается в боковом направлении относительно трубчатого элемента. Другими словами, стенка трубки может быть несколько сжата без сжатия волоконной спирали.

Согласно другой особенности изобретения трубчатый элемент заполнен текучей средой, которая ограничивает продольное и поперечное перемещение волокна внутри элемента. Предпочтительно жидкообразная среда представляет собой полужидкое студенистое вещество. Удельный вес желатиновой среды примерно такой же, как и у оптического волокна. Как следствие, если кабель подвешен вертикально, то не будет иметь тенденции к перемещению волокна внутри среды ни из стороны в сторону, ни вдоль его длины. Нет необходимости, чтобы удельный вес точно соответствовал волокну, а просто выбирался достаточно близко, чтобы предотвратить любое грубое движение волокна внутри трубчатого элемента в случае вертикальной подвески. Желатиновое вещество также смазывает волокно и предотвращает истирание между волокнами, если в линии предусмотрено более одного. Показатель преломления среды также должен быть меньше, чем у оптического волокна. Подходящими материалами, которые могут быть использованы для среды, являются желейные продукты белкового типа.

Другой вариант осуществления изобретения, который аналогичен предыдущему за исключением того, что узел линии передачи показан без брони и внешней оболочки, а в линии предусмотрено множество оптических волокон. Три из таких волокон показаны только в качестве примера, при этом следует понимать, что при желании можно было бы обеспечить меньшее или большее количество волокон. Волокна расположены внутри трубчатого элемента так, чтобы они были удалены друг от друга. Спирально сформированные волокна имеют общую ось и имеют практически равные диаметры свертки. Витки спиральных волокон попеременно расположены и разнесены относительно друг друга.

Оптические волокна сначала укладываются поверх сердечника в спиральной конфигурации, как показано на фиг. За использование аналогичных методов для методов намотки проводов. Сердцевина образована из материала, который способен превращаться в полужидкое студенистое вещество при воздействии подходящего растворителя. Следует отметить, что витки спирально намотанных волокон находятся в разнесенном положении на сердечнике. Слой затем формируется поверх сердцевины, несущей волокна. Слой служит для стабилизации волокон на сердцевине. Слой может быть нанесен на сердечник распылением или другими способами. После этого трубчатый элемент формируют над сердечником с волокнами, удерживаемыми на нем втулкой. Предпочтительно трубу экструдировать над внутренним узлом. Затем заглушки монтируются на концах трубчатого элемента, причем концы волокон проходят через заглушки. Один из заглушек имеет проход, который открывается внутрь трубчатого элемента. Затем трубчатый элемент располагают вертикально, и растворитель вводят через канал внутрь трубчатого элемента, как показано на фиг. 6е, заставляя сердцевину и слой размягчаться, тем самым образуя полужидкое желеобразное вещество, которое сдерживает продольное и поперечное перемещение спирально намотанных волокон внутри трубчатого элемента. После добавления растворителя в трубчатый элемент

проход может быть закрыт подходящей пробкой или заливочным материалом. Поскольку желательно, чтобы среда была только полужидкой, имеющей гелеобразную консистенцию, которая имеет тенденцию поддерживать волокна внутри трубки, следует понимать, что растворитель, который используется в способе настоящего изобретения, выбран таким образом, чтобы он не полностью растворял сердцевину и слой. Только в качестве примера, если материал ядра и слоя представляет собой белок (глутеиновая или желатиновая основа), растворителем может быть вода. Предпочтительно в воду добавляют 2% хлорида ртути, чтобы предотвратить рост грибка [9].

Вышеуказанная структура и способ линии передачи могут быть не вполне удовлетворительными для спиральных оптических волокон, имеющих относительно малые углы шага, например,  $10^\circ$  или менее. Такие волокна с малым углом тангажа могут испытывать проблемы с механической нестабильностью. Чтобы свести к минимуму эти проблемы, внутри сердцевины предусмотрена губчатая внутренняя сердцевинная структура, которая не растворяется растворителем. Таким внутренним ядром может быть сетка из органического волокна или оплетка. Поскольку внутренняя сердцевина не растворяется, она остается после того, как сердцевина 30 подвергается воздействию растворителя, обеспечивая более твердую опорную подложку для спиральных волокон, чем желатиновое вещество. Хотя методы, описанные выше, не включают в себя этапы обеспечения бронировки и кожуха для трубки для завершения структуры кабеля, следует отметить, что такие слои могут быть применены к трубке обычным способом с использованием стандартного оборудования для обработки кабеля, предпочтительно после добавления в трубку элементов заглушки и до подачи растворителя в трубку для размягчения материала сердечника в ней [5].

Следует понимать, что в соответствии с настоящим изобретением предусмотрен узел волоконно-оптической линии передачи, в котором оптические волокна находятся в более или менее свободном плавании. Следовательно, волокна способны смещаться в боковом направлении внутри защитного кожуха линии и способны вытягиваться в длину без приложения осевых усилий к самим волокнам. Как следствие, линия может быть использована либо отдельно, либо обработана с другими линиями для формирования многожильного кабеля без повреждения оптических волокон из-за осевых или изгибающих нагрузок, приложенных к корпусу. Желатиновая среда, предусмотренная в оболочке, поддерживает разделенные витки оптических волокон так, чтобы они не истирались или не ломались, и поддерживает спиральную конфигурацию волокон, когда линия расположена вертикально, так что осевые напряжения на волокнах не будут возникать, даже если оболочка линии вытянута. Таким образом, по настоящему изобретению оптические сигналы могут передаваться по кабелю, включающему волоконно-оптическую линию, без ухудшения сигналов или повреждения волокон [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волоконно-оптические системы передачи и кабели. Справочник / Гроднев И.И., Мурадян Р.М. и др. М.: Радио и связь, 2018. 264 с.
2. Волоконно-оптические системы передачи. Учебное пособие для вузов /В.И. Иванов, Л.В. Адамович/- Самара: ИУНЛ, ПГУТИ. 2017. 119 с.
3. Гауэр Дж. Оптические системы связи. М: Радио и связь, 2017. 502 с.

4. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. М.: SYRUS SYSTEMS, 2019. 671 с.
5. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАРарт, 2016. 288 с.
6. Оптические системы передачи: Учебник для ВУЗов / Б.В.Скворцов, В.И.Иванов, В.В. Крухмалев и др.; Под ред. В.И. Иванова. М.: Радио и связь, 2018. 224 с.
7. Проектирование волоконно – оптических линий связи: Уч. пособие по дипломному и курсовому проектированию для специальностей 2305 и 2306 / В.А. Бурдин и др. Самара: ПИИРС, 2016. 148 с.
8. Руководящий технический материал по применению систем и аппаратуры синхронной цифровой иерархии на сети связи РФ. М.: ЦНИИС, 2017. 50 с.
9. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM). М.: Радио и связь, 2016. 468 с.
10. Шевцов Э.А., Белкин М.Е. Фотоприемные устройства волоконно-оптических систем передачи. М.: Радио и связь, 2017. 230 с.

#### REFERENCES

1. Fiber optic transmission systems and cables. Reference / Grodnev I.I., Muradyan R.M. et al. М.: Radio and communication, 2018. 264 p.
2. Fiber optic transmission systems. Textbook for universities / V.I. Ivanov, L.V. Adamovich / - Samara: IUNL, PGUTI. 2017. 119 p.
3. Gower J. Optical communication systems. М: Radio and communication, 2017. 502 p.
4. Ivanov A.B. Fiber optics. Components, transmission systems, measurements. М.: SYRUS SYSTEMS, 2019. 671 p.
5. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvyrkov D.V. Optical fibers for communication lines. М.: LESARart, 2016. 288 p.
6. Optical transmission systems: Textbook for universities / B.V. Skvortsov, V.I. Ivanov, V.V. Krukhmalev and others; Ed. IN AND. Ivanova. М.: Radio and communication, 2018. 224 p.
7. Design of fiber-optic communication lines: Uch. manual for diploma and course design for specialties 2305 and 2306 / V.A. Burdin et al. Samara: PIIRS, 2016. 148 p.
8. Guiding technical material on the application of systems and equipment of the synchronous digital hierarchy in the communication network of the Russian Federation. Moscow: TsNIIS, 2017. 50 p.
9. Slepov N.N. Modern technologies of digital fiber-optic communication networks (ATM, PDH, SDH, SONET and WDM). М.: Radio and communication, 2016. 468 p.
10. Shevtsov E.A., Belkin M.E. Photodetectors of fiber-optic transmission systems. М.: Radio and communication, 2017. 230 p.