

Анализ существующих методов обеспечения защиты информации в волоконно-оптических линиях связи

¹*МУСАГАЖИНОВ Мадияр Жалелович, докторант, musagazhinov@bk.ru,

¹МЕХТИЕВ Али Джаванширович, к.т.н., ассоциированный профессор, barton.kz@mail.ru,

²ЮРЧЕНКО Алексей Васильевич, д.т.н., профессор, reaper@tpu.ru,

¹НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Казахстан, Астана, пр. Женис, 62,

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск, пр. Ленина, 30,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассматриваются проблема защиты от несанкционированного доступа к данным и представлены результаты сравнения существующих методов извлечения данных из оптического волокна, возможность разработки алгоритмов и принципов идентификации, которые оказали бы помощь в контроле каналов утечки информации в волоконно-оптических системах передачи. Описаны разработки для решения проблемы защиты информации в двух направлениях. Приводится классификация методов получения информации, физические принципы формирования каналов утечки, а также методология передачи доли оптического излучения вне среды распространения, а также излагаются структура, принципы работы и тенденции развития систем мониторинга. Описаны как преимущества, так и ограничения методов. Дана информация о предложенной системе анализа, основанной на нейронной сети, для более точного обнаружения несанкционированного подключения к сети.

Ключевые слова: волоконно-оптическая линия связи, защита информации, система мониторинга, несанкционированный доступ, канал утечки.

Введение. Одной из причин создания интеллектуальной автоматической системы контроля технического состояния волоконно-оптических линий передачи информации является защита от несанкционированного подключения доступа к данным. В связи с чем в настоящее время применяется оборудование, необходимое для подключения к оптической линии, которая ведет к возрастанию числа хакеров.

В большинстве случаев экономическая целесообразность определяет вероятность несанкционированного подключения, которая в свою очередь обусловлена взаимосвязью между расходами на подключение. Так, например, злоумышленники могут легко получить бесплатный доступ к кабельному телевидению в случае домашних сетей. Но информация, получаемая из корпоративных или ведомственных сетей, значительно отличается тем, что такая информация обычно является конфиденциальной и может представлять значительную ценность для определенной категории организаций. Таким образом, должен исключаться риск несанкционированного подключения.

В данном случае необходимо разработать

алгоритмы и принципы идентификации, которые помогли бы контролировать каналы утечки информации в волоконно-оптических системах передачи.

В настоящее время для решения данной проблемы защиты информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС), была разработана программа в двух основных направлениях:

1. Защита содержимого передаваемых сигналов (например, для использования криптографии, детерминированного хаоса белого шума и шифрования);

2. Защита распространяющегося оптического сигнала (для мониторинга несанкционированного доступа к волокнам ВОЛС – обнаружение каналов утечки информации).

Методы безопасности, основанные на защите компонентов контента сигналов в ВОЛС, являются надежными. Однако к ним предъявляют высокие требования к аппаратному обеспечению и всей организации инфокоммуникационной системы так, например, использование методов криптографии требует обмена ключами. Более

того, с помощью этих методов не предоставляются данные о несанкционированных попытках подключения.

Методы. Методы, основанные на мониторинге, могут быть более доступными как с точки зрения организации, так и из-за их технических особенностей. Они экономичны и не зависят от структуры и скорость передачи цифрового сигнала. Эти методы могут быть использованы в сетях различных уровней иерархии (локальных, абонентских, зональных) и обеспечивают возможность обнаружения попыток несанкционированных подключений.

На данный момент хорошо известны следующие методы несанкционированного доступа в оптоволоконных сетях (ОС) [1].

Одно из них механическое воздействие на оптическое волокно, в ней изменяется критический угол оптической волны на границе раздела («сердцевина-оболочка»). Если оптическая волна падает на границу «сердцевина-оболочка» если угол больше критического угла, то происходит прямой выход определенной части оптического излучения из ОС.

В свою очередь показатель преломления, зависит от длины волны. Все это говорит о том, что переходные потери прямо пропорциональны длине волны и находятся в обратной зависимости от радиуса изгибов [1-3].

Таким образом, можно легко создать каналы утечки с помощью методов, однако у них есть общий недостаток, называемый обратным рассеянием оптического сигнала и высокой мощности в местах утечки [1-3].

Следующий метод является утечка при оптическом туннелировании. Данный метод включает в себя пайку или приклеивание дополнительного элемента. Принцип работы метода заключается в улавливании частей оптического сигнала, который выходит за пределы ядра, и использует то преимущество, что не вызывает заметных потерь и обратного рассеяния.

Метод обнаружения несанкционированных подключений к оптическим волокнам. Работа данного метода основана на внешнем воздействии ОС, которая приводит к изменению локальных параметров волокна и характеристик всего ВОЛС. Таким образом, появляется возможность отслеживать несанкционированные подключения [3-6]. В данное время современные специализированные системы мониторинга отслеживают изменения вышеуказанных параметров [5-11].

В свою очередь системы должны обеспечивать:

- обнаружение точного местоположения несанкционированного доступа;
- удаленный мониторинг несанкционированного подключения к активному ВОЛС;
- своевременная отчетность;
- мониторинг и управление системой предупреждения о несанкционированном доступе к ВОЛС;

- ручное управление несанкционированным доступом.

Система мониторинга функционально должна состоять из следующих важных компонентов [4]:

- модуль управления;
- модуль для анализа изменений физического состояния волокон;
- модуль для изменения документации о состояниях ВОЛС.

Тем самым модуль управления предназначен для контроля и синхронизации работы других модулей.

Система диагностики состояния (СДС) является основой модуля для фиксации изменений состояния в волокнах ВОЛС. Основой модуля для фиксации изменений в состоянии является система диагностики состояния линии связи. Сигналы обратного рассеяния Рэлея, отражения Френеля и Манделъштама, обратное рассеяние Бриллюэна анализируются в СДС.

Преимуществами СДС с анализом переданного сигнала являются [5]:

- возможность непрерывного измерения характеристик оптического излучения;
- возможность измерения любой отрасли телекоммуникационных систем.

Более того, простой анализируемый СДС на основе анализа коэффициентов погрешности может быть разработан с использованием обычных устройств СДС. Более сложными характеристиками, основанными на передаче нескольких оптических сигналов по ОС, являются информационные и управляющие. Сигналы управления обычно передаются на несколько большей длине волны по сравнению с информационным сигналом, и это позволяет повысить чувствительность системы.

Более сложной и функциональной системой является СДС на основе импульсной рефлектометрии. Они могут определить координату несанкционированного подключения, а также позволяют точно измерять изменения, вызванные потерями при несанкционированных подключениях.

Это достигается путем аппроксимации участков рефлектограммы до и после подключения с использованием математического аппарата регрессионного анализа.

При длине ВОЛС более 20 км требуется высокое пространственное разрешение, а импульсная чувствительность может быть недостаточной. Мы можем значительно улучшить метрологические характеристики систем мониторинга с использованием сложных зондирующих импульсов, таких как частотно-модулированные [11].

Данные, касающиеся эволюции зондирующего сигнала, содержатся в спектре биений [7], сформированных в результате смешивания двух сигналов.

Наряду со своими несомненными преимуществами, метод оптической рефлектометрии имеет ряд ограничений, которые могут затруднить его

использование при определенных условиях. Зондирующие сигналы рефлектометра могут стать источниками помех информационному сигналу. При работе на длине волны, отличной от длины волны информационного сигнала, могут быть случаи, когда рефлектометры не обнаруживают внешних воздействий, когда они целенаправленно проявляются только на длине волны информационного сигнала.

Метод оптической рефлектометрии не может быть использован в разветвленных сетях и линиях связи, использующих направленные эрбиевые усилители. Кроме того, рефлектометр является дорогостоящим прецизионным прибором. Он не предназначен для постоянного использования, что крайне важно для институциональных коммуникационных систем, особенно для тех, которые развертываются в чрезвычайных условиях [8, 11].

Известно, что неоднородности возникают в ОФ из-за тепловых флуктуаций атомов. Гиперакустические волны всегда возникают в виде инфракрасного излучения. Рассеяние света на подвижных неоднородностях ядра, вызванное акустическими волнами, называется обратным рассеянием Мандельштама – Бриллюэна.

Результирующие неоднородности перемещаются, что составляет основное различие между рассеянием Рэля и обратным рассеянием Бриллюэна. Таким образом, частота обратного рассеянного светового сигнала отличается от зондирующего и, как следствие, от рэлеевского рассеяния. Чтобы диагностировать состояние ОС и оценить характер внешних воздействий, мы должны измерить величину смещения частоты Бриллюэна вдоль световода. Для оценки физического состояния объекта и типов внешних воздействий на основе измерения смещения несущей частоты светового сигнала следует включить в технические средства контроля анализатор спектра.

Независимо от метода анализа оптического излучения, можно осуществлять мониторинг как в отношении к ОС, который передает информацию напрямую, и оптического датчика (специальный ОС), объединенных в защитные элементы. Для последнего кабель состоит из специальных OFS, которые обладают повышенной чувствительностью к внешним воздействиям. Они используются для передачи управляющих сигналов, повышая стоимость технологии и надежность [9, 11].

После фиксации изменения состояния ВОЛС данные из СДС передаются в модуль анализа. Данный модуль отвечает за обработку и накопление данных. Изменение значения контролируемого параметра – это условие для проведения анализа и принятия решения о причинах его возникновения. Соответствующие команды отдаются на основании выявленных причин, так, например, прекратить передачу данных и отправить сигнал тревоги.

Система обнаружения каналов утечки информации должна решать задачи мониторинга ВОЛС

в режиме реального времени, и передача данных в этом случае не прерывается во время диагностики. Данная система функционирует в циклическом автоматическом или полуавтоматическом режиме, которая осуществляется по команде операторов [1-3].

В данной статье был опробован один из методов, в результате которого были проведены экспериментальные испытания для оценки уровня потерь на макроизгибах одномодового оптического волокна.

При анализе экспериментальной зависимости выяснилось, что потери на макропрогибах оптического волокна прогрессируют с увеличением длины волны и уменьшением радиуса изгиба. Результаты эксперимента показаны на рисунках 1 и 2.

После экспериментального анализа была проведена проверка эффективности обнаружения несанкционированного подключения предлагаемого импульсно-рефлектометрического метода,

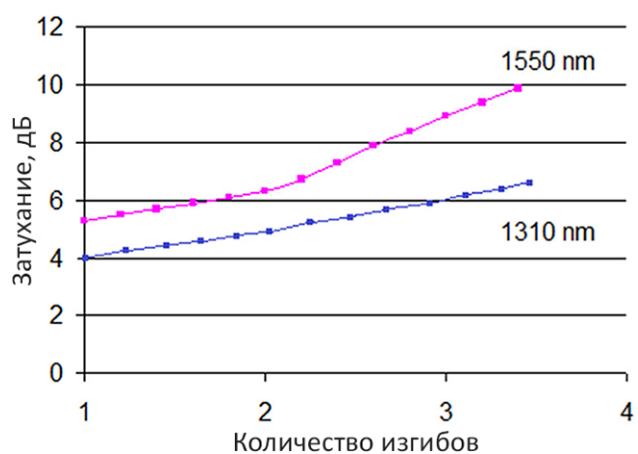


Рисунок 1 – Потери при диаметре изгиба 12 мм

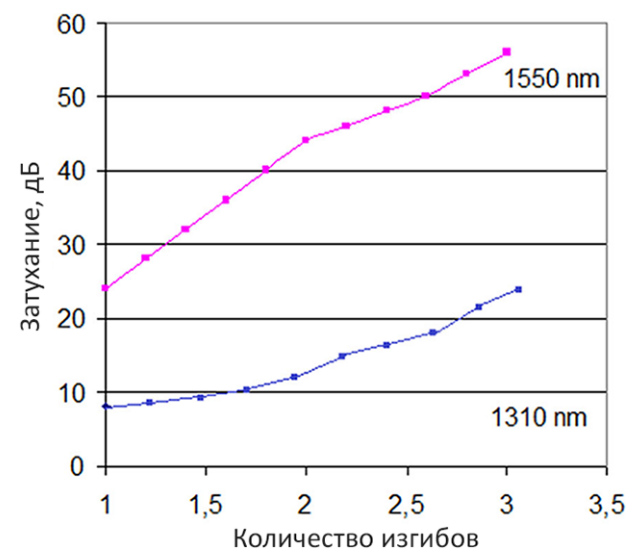


Рисунок 2 – Потери при диаметре изгиба 7 мм

с использованием оптического рефлектометра. Результаты проверки эффективности показаны на рисунке 3.

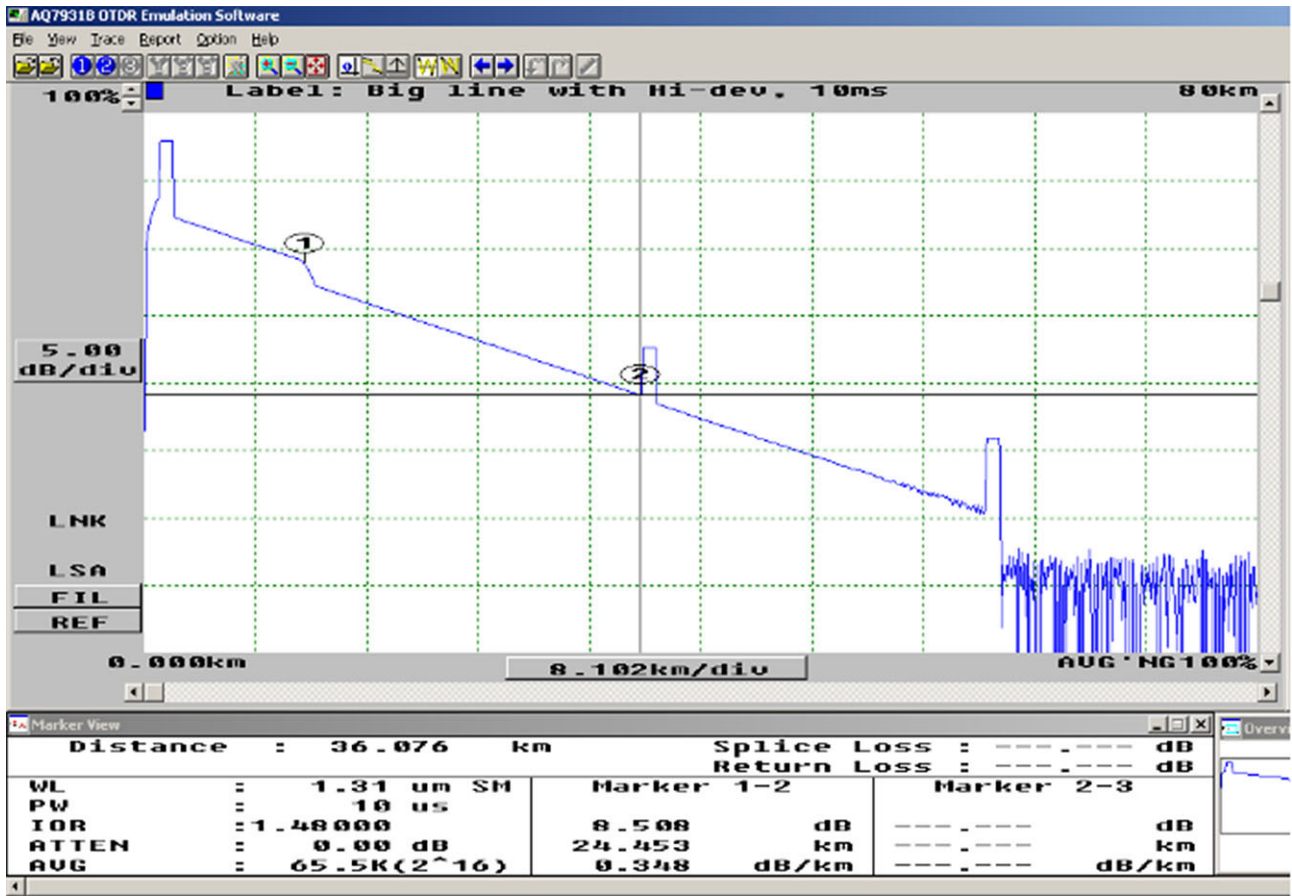
Потери при изгибе являются наиболее часто встречающимися потерями в волоконно-оптическом кабеле. Поэтому есть необходимость уделять особое внимание данному моменту. В процессе исследований выявлено, что больше всего потери при изгибах возникают на длинных волнах. Увеличение потерь при изгибе волокна на больших длинах волн ограничивает диапазон пропускания одномодовых волокон. Например, волокно с одномодовым режимом с длиной волны отсечки 800 нм, которое можно использовать в диапазоне до 1 мкм, не может быть использовано для 1500 нм, т.к. потери при изгибе на этой длине волны будут очень большими. Наибольшие потери в оптическом волокне вызывают изгибы с маленьким радиусом и большим количеством витков. Помимо роста потерь в оптическом кабеле, изгибы способствуют разрушению кабеля и возникновению повреждений, которые в свою очередь могут привести к росту затухания (рисунок 4).

Вывод: Для решения данной проблемы пред-

лагается система анализа, основанная на нейронной сети для более точного обнаружения несанкционированных подключений.

В свою очередь компьютерная сеть обобщает и обрабатывает данные, полученные различными методами диагностики, анализирует, идентифицирует и выводит сводные данные о причинах изменений состояния ВОЛС и возможных атаках на защищаемую сеть. Таким образом, можно повысить эффективность системы путем тщательного и глубокого анализа и снизить вероятность ложных ответов.

Интенсивность излучения сигнала через боковую поверхность оптического волокна зависит от выходного коэффициента. Зависимость уровня мощности, излучаемой через боковую поверхность оптического волокна, что дает возможность оценить требования к чувствительности оптического приемника, используемого для сбора данных, и принять меры по своевременному обнаружению возможных каналов утечки информации. Наиболее информативной является система диагностики состояния на основе импульсного рефлектометра.



1 – изгиб оптического волокна; 2 – микротрещина оптического волокна

Рисунок 3 – Рефлектограмма оптического волокна с изгибом и микротрещиной

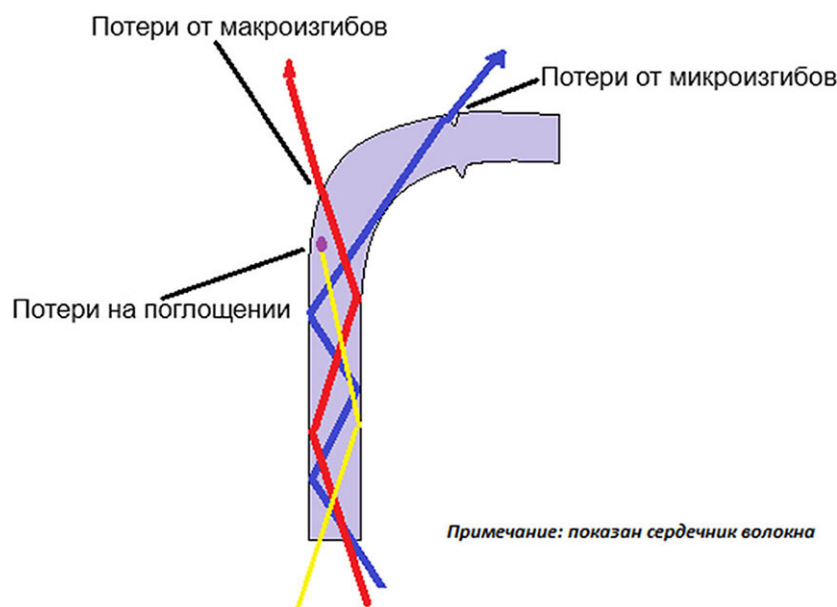


Рисунок 4 – Потери оптической мощности при изгибе оптического кабеля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богачков И.В., Трухина А.И., Горлов Н.И. Обнаружение сегментов оптического волокна с механическим напряжением в оптических кабелях с использованием рефлектометров Бриллюэна // *Материалы СИБКОН*. Томск, 2019. С. 1-6.
2. Маркузе Д. Формула потери кривизны для оптических волокон // *Журнал Оптического общества Америки* 66. 1976. С. 216-220.
3. Малых Ю.В., Шубин В.В. Способ расчета эффективности передачи излучения от боковой поверхности изогнутого одномодового оптического волокна к приемному оптическому устройству // *Вопросы атомной науки и техники. Математическое моделирование физических процессов*. 1. 2016. С. 69-79.
4. Богачков И.В., Трухина А.И., Горлов Н.И. Исследование влияния изгиба оптических волокон на рефлектограммы Бриллюэна // *Материалы АРЕИЕ*. 1, 2. Новосибирск, 2018. С. 140-144.
5. Трухина А.И., Богачков И.В., Горлов Н.И. Исследования влияния изгибов в оптических волокнах различных видов на системы генерации и обработки сигналов бриллюэновских трасс в области бортовой связи // *Труды*. Москва, 2019. С. 1-5.
6. Минардо А., Бернини Р., Зени Л. Изменение частоты Бриллюэна, вызванное изгибом, в одномодовое волокно // *IEEE Photonics Technology Letters*. 25, 23. 2013. С. 2362-2364.
7. Икбал З., Хабиб Ф. Х., Белхадж Н. Подключение оптического волокна: методы и меры предосторожности // *Журнал световолновой технологии*. 32, 1. 2014. С. 91-98.
8. Джедиди Р., Пьер Р. Методы конечных элементов высокого порядка для вычисления потерь на изгиб в оптических волноводах // *Journal of Lightwave Technology*. 25, 9. 2007. С. 2618-2630.
9. Хуарес Дж.К., Тейлор Х.Ф. Полевые испытания распределенной волоконно-оптической системы датчиков вторжения для протяженных периметров // *Прикладная оптика*. 46, 11. 2007. С. 1968-1971.
10. Хаяси Г., Криштиану М., Кордейро Б., Маркос А., Франко Р. и Сирчилли Ф. Численный и экспериментальные исследования фотонного датчика высокого давления // *Датчик на основе кристаллического волокна Juliano, AIP* *Материалы* 1055. 2008. С. 133-136.
11. Юрченко А., Мехтиев А., Алкина А., Булатбаев Ф., Нешина Ю. Вопросы разработки волоконно-оптических датчиков для измерения давления с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками // *Научная конференция «Информационно-измерительное оборудование и технологии» (МАТЕС)* 79. 2016. С. 01085.

Талшықты-оптикалық байланыс желілерінде ақпаратты қорғауды қамтамасыз етудің қолданыстағы әдістерін талдау

¹*МУСАГАЖИНОВ Мадияр Жалелович, докторант, musagazhinov@bk.ru,

¹МЕХТИЕВ Али Джаванширович, т.ф.к., қауымдастырылған профессор, barton.kz@mail.ru,

²ЮРЧЕНКО Алексей Васильевич, т.ф.д., профессор, reaper@tpu.ru,

¹«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, Астана, Жеңіс даңғылы, 62,

²Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Ресей, Томск, Ленин даңғылы, 30,

Аңдатпа. Мақалада рұқсатсыз кіруден қорғау мәселесі қарастырылады және оптикалық талшықтан деректерді алудың қолданыстағы әдістерін салыстыру нәтижелері келтіріледі. Талшықты-оптикалық тарату жүйелеріндегі ақпараттың шығып кету арналарын бақылауға көмектесетін алгоритмдер мен сәйкестендіру принциптері нәзірлеу мүмкіндігі көрсетіледі. Ақпаратты қорғау мәселесін шешу үшін қажетті даярламаның сипаттамасы екі бағытта. Ақпаратты алу әдістерінің жіктелуі, шығып кету арналарын қалыптастырудың физикалық принциптері, сондай-ақ тарату ортасынан тыс оптикалық сәулелену үлесін беру әдістемесі келтірілген, сонымен қатар мониторинг жүйелерінің құрылымы, жұмыс принциптері және даму тенденциялары көрсетілген. Әдістердің артықшылықтары да, шектеулері де сипатталған. Рұқсат етілмеген желі байланысын дәлірек анықтау үшін ұсынылған нейрондық желіге негізделген талдау жүйесі туралы ақпарат берілген.

Кілт сөздер: талшықты-оптикалық байланыс желісі, ақпаратты қорғау, бақылау жүйесі, рұқсатсыз кіру, ағып кету арнасы.

Analysis of Existing Methods for Enduring the Protection of Information in Fiber-optic Communication Lines

^{1*}MUSAGAZHINOV Madiyar, Doctoral Student, musagazhinov@bk.ru,

¹MEKHTIYEV Ali, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, barton.kz@mail.ru,

²YURCHENKO Alexey, Dr. of Tech. Sci., Professor, reaper@tpu.ru,

¹NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», Kazakhstan, Astana, Zhenis Avenue, 62,

²National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30,

*corresponding author.

Abstract. The problem of protection against unauthorised access to data is considered and the results of comparing existing methods of extracting data from optical fibre are presented, the possibility to develop algorithms and identification principles that would help control information leakage channels in fibre-optic transmission systems. Developments to solve the problem of information security, in two directions are described. The classification of methods of obtaining information, the physical principles of formation of leakage channels, as well as the methodology for transmitting the proportion of optical radiation outside the propagation environment, as well as the structure, principles of operation, and trends in the development of monitoring systems are presented. Both the advantages and limitations of methods are described. Information is given about the proposed analysis system based on a neural network for more accurate detection of unauthorised connection to the network.

Keywords: fiber-optic communication line, information protection, monitoring system, unauthorized access, leak channel.

REFERENCES

1. Bogachkov I.V., Truhina A.I., Gorlov N.I. Obnaruzhenie segmentov opticheskogo volokna s mekhanicheskim napryazheniem v opticheskikh kabelyah s ispol'zovaniem reflektometrov Brillyuena // Materialy SIBKON. Tomsk. 2019. Pp. 1-6.
2. Markuze D. Formula poteri krivizny dlya opticheskikh volokon // Zhurnal Opticheskogo obshchestva Ameriki 66. 1976. Pp. 216-220.
3. Malyh Yu.V., Shubin V.V. Sposob rascheta effektivnosti peredachi izlucheniya ot bokovoy poverhnosti izognutogo odnomodovogo opticheskogo volokna k priemnomu opticheskomu ustrojstvu // Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh processov. 1. 2016. Pp. 69-79.
4. Bogachkov I.V., Truhina A.I., Gorlov N.I. Issledovanie vliyaniya izgiba opticheskikh volokon na reflektogrammy Brillyuena // Materialy APEIE. 1, 2. Novosibirsk, 2018. Pp. 140-144.
5. Truhina A.I., Bogachkov I.V., Gorlov N.I. Issledovaniya vliyaniya izgibov v opticheskikh voloknah razlichnykh vidov na sistemy generacii i obrabotki signalov brilliyenovskikh trass v oblasti bortovoy svyazi // Trudy. Moscow, 2019. Pp. 1-5.
6. Minardo A., Bernini R., Zeni L. Izmenenie chastoty Brillyuena, vyzvanoe izgibom, v odnomodovoe volokno // IEEE Photonics Technology Letters. 25, 23. 2013. Pp. 2362-2364.
7. Ikbal Z., Habib F.H., Belhadzh N. Podklyuchenie opticheskogo volokna: metody i mery predostorozhnosti // Zhurnal svetovolnovoy tekhnologii. 32, 1. 2014. Pp. 91-98.
8. Dzhedidi R., P'er R. Metody konechnykh elementov vysokogo poryadka dlya vychisleniya poter' na izgib v opticheskikh volnovodah // Journal of Lightwave Technology. 25, 9. 2007. Pp. 2618-2630.
9. Hwares Dzh.K., Tejlor H.F. Polevye ispytaniya raspredelennoj volokonno-opticheskoy sistemy datchikov vtorzheniya dlya protyazhennykh perimetrov // Prikladnaya optika. 46, 11. 2007. Pp. 1968-1971.
10. Hayasi G., Krishtianu M., Kordejro B., Markos A., Franko R. i Sirchilli F. Chislennyj i eksperimental'nye issledovaniya fotonogo datchika vysokogo davleniya // Datchik na osnove kristallicheskogo volokna Juliano, AIP Materialy 1055. 2008. Pp. 133-136.
11. Yurchenko A., Mekhtiyev A., Alkina A., Bulatbaev F., Neshina Yu. Voprosy razrabotki volokonno-opticheskikh datchikov dlya izmereniya davleniya s uluchshennymi metrologicheskimi i ekspluatatsionnymi harakteristikami // Nauchnaya konferenciya «Informacionno-izmeritel'noe oborudovanie i tekhnologii» (MATEC) 79. 2016. P. 01085.