

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ СКРЫТОМУ ПЕРЕХВАТУ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ДАННЫХ В ПАССИВНОЙ СЕТИ ОПТИЧЕСКОГО ДОСТУПА

DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-7-29-37

Шестаков Иван Игоревич,

Уральский технический институт связи и информатики
(филиал) ФГБОУ ВО "Сибирского государственного
университета телекоммуникаций и информатики" в
г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), Екатеринбург, Россия,
ivansche2007@rambler.ru

Manuscript received 10 June 2023;**Accepted** 07 July 2023**Шувалов Вячеслав Петрович,**

ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, г. Новосибирск, Россия,
shvp04@mail.ru

Ключевые слова: скрытый перехват информации,
пассивная сеть оптического доступа P2MP PON-TDM,
источник фоновой помехи

В статье рассмотрено моделирование противодействия скрытому перехвату конфиденциальной информации, передаваемой в восходящем потоке данных пассивной сети оптического доступа архитектуры "точка – многоточка" (P2MP PON-TDM). Скрытность перехвата обусловлена наличием обратно отраженных сигналов в разъемных соединениях магистрального участка волоконно-оптической линии связи пассивной сети оптического доступа. Для противодействия такому способу перехвата информации предложено передавать в нисходящем направлении помеховый сигнал на длине волны 1310 нм. Оценка эффективности применения этого метода выполнена путем моделирования в САПР OptiSystem. Результатом моделирования являются графики зависимости Q-фактора от обратных оптических потерь в разъемных соединениях и от уровня оптической мощности помехового сигнала. На основании анализа графиков, предложенный метод считается эффективным при условии равенства уровня оптической мощности помехового и информационного сигнала, отраженного от разъемного соединения магистральной ВОЛС на стороне абонентов. Для противодействия достаточно применить один источник помехи, параметры которой схожи должны быть схожими с параметров сигнала восходящего потока данных. Также даны рекомендации по противодействию скрытому перехвату информации восходящего потока данных в оптической сети доступа P2MP PON-TDM.

Информация об авторах:

Шестаков Иван Игоревич, Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО "Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики" в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), старший преподаватель кафедры Многоканальной электрической связи, г. Екатеринбург, Россия

Шувалов Вячеслав Петрович, ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, д.т.н., профессор кафедры Инфокоммуникационных систем и сетей, г. Новосибирск, Россия

Для цитирования:

Шестаков И.И., Шувалов В.П. Моделирование противодействия скрытому перехвату информационного сигнала восходящего потока данных в пассивной сети оптического доступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №7. С. 29-37.

For citation:

Shestakov I.I., Shuvalov V.P. Simulation of counteraction to covert interception of an information signal of an upstream data stream in a passive optical access network. T-Comm, vol. 17, no.7, pp. 29-37. (in Russian)

Введение

Одной из главных проблем технологии связи P2MP PON-TDM, в частности GPON, является возможность нарушения информационной безопасности путем перехвата информации, передаваемой в восходящем и нисходящем направлении. Как правило, перехват осуществляется по техническим каналам утечки информации [1-7]. Одним из таких каналов является канал, образованный за счет френелевского отражения в разъемных соединениях разветвленной ВОЛС сети PON. Обратно отраженный сигнал восходящего потока данных можно скрытно принимать, без каких-либо воздействий на ВОЛС путем подмены абонентского терминала на аппаратно-программный комплекс (АПК) с высокочувствительным фотоприемником. Для противодействия скрытому перехвату информации восходящего потока данных, в работе [8] предложен метод преднамеренного искажения отраженного сигнала путем передачи одновременно в нисходящем направлении сигнала помехи на длине волны 1310 нм. Подобный метод рассмотрен в работах [9,10], но для сети точка-точка (P2P).

Оценка эффективности предложенного метода представлена в работе [11]. Как показали результаты расчетов, метод эффективно работает при условии, что уровень помехового сигнала на входе приемника третьих лиц будет не меньше уровня отраженного информационного сигнала. Для подтверждения этого вывода выполняется моделирование в САПР.

Постановка задач

Задачей моделирования является:

1) оценка возможности приема и обработки информационного сигнала, который представляет собой сумму отраженных сигналов в однокаскадной и двухкаскадной схемах сети PON в отсутствие фоновой помехи при различных значениях оптических возвратных потерь (ORL) разъемных соединений;

2) оценка возможности приема и обработки информационного сигнала, представляющего собой суммы отраженных сигнала в однокаскадной и двухкаскадной сетях сети PON на фоне помехового процесса при различных значениях уровня шума и параметра ORL разъемных соединений.

Оценка возможности приема и обработки полезного сообщения будет определяться величиной Q -фактора. Результатами моделирования будут представлены графиками зависимости $Q(OLR)$ и $Q(P_{NOISE})$.

Моделирование сети PON будет выполнено согласно схеме, рассмотренной в работе [8]. Для упрощения моделирования, достаточно рассмотреть схему без OLT с одним терминалом ONU, в которой выполняется прием суммы четырех сигналов. Три сигнала отраженных от трех разъемных соединений магистральной волоконно-оптической линии связи пассивной сети доступа, и сигнала от источника помехи.

Моделирование OLT является нецелесообразным, поскольку передача данных осуществляется на длине волны 1490 нм, которая не будет оказывать никакого воздействия на прием и обработку отраженных информационных сигналов и сигнала помехи на длине волны 1310 нм.

В качестве источников информационного сигнала и фоновой шума можно применить генератор оптической несущей на длине волны 1310 нм, модулированной по закону NRZ псевдослучайной последовательностью единиц и нулей, с битовой скоростью 1,25 Гбит/с.

При этом, эти два источника должны быть независимы относительно друг друга.

В качестве приемника отраженных сигналов целесообразно применить лавинный фотодиод, работающий в связке с регенератором и оптическим усилителем. Применение лавинного фотодиода оправдано его большей чувствительностью [12-15], в сравнении с pin-фотодиодом. Применение оптического усилителя обосновано тем, что уровень отраженного сигнала много меньше чувствительности лавинного фотодиода. Следует использовать идеальный оптический усилитель, задачей которого является усиление оптического сигнала до номинального значения без внесения собственных шумов в усиливаемый сигнал.

Для простоты чтения схем и анализа полученных графических зависимостей $Q(OLR)$ и $Q(P_{NOISE})$, условимся, что нумерация разъемных соединений магистральной ВОЛС начнется со стороны абонента, то есть с магистрального порта оптического разветвителя, к которому непосредственно подключаются абонентские терминалы ONU. Первый разъем на стороне абонента в ОРШ или OPM (оптический распределительный шкаф или оптическая распределительная муфта), остальные два на стороне оператора сети (в узле связи).

Значение ORL следует взять из диапазона от 30 до 70 дБ, что соответствует реальным значениям на практике. Уровень оптической мощности шумового сигнала на выходе генератора следует взять в пределах от минус 100 дБм до минус 30 дБм, что позволит определить при каких значениях (равных, больше или меньше) уровня оптической мощности помехи будет наблюдаться наиболее надежное зашумление информационного сигнала, отраженного от разъемных соединений. Для повышения разрешающей способности графиков зависимости $Q(OLR)$ и $Q(P_{NOISE})$, количество значений ORL и P_{NOISE} примем равным 20.

Моделирование следует провести для однокаскадной и двухкаскадной схем сети PON. При этом, в двухкаскадной схеме, целесообразно рассмотреть вариант, когда оптический разветвитель первого каскада интегрирован в линию связи посредством сварки на участке между OLT и оптическим разветвителем второго каскада.

Моделирование в САПР OptiSystem

Моделирование выполнено в САПР OptiSystem для трех блок-схем (см. рис. 1-3), которые представляют собой как однокаскадную, так и двухкаскадную схемы сети PON.

Моделирование прямых (0,3 дБ) и обратных оптических потерь (55дБ) [16] в трех разъемных соединениях, а также совокупных оптических потерь в линии длиной 5 км [8,11], выполнено посредством оптических аттенуаторов. Моделирование оптической линии длиной три метра на стороне оператора не целесообразно, так как затухание на таком участке крайне мало.

Моделирование разветвителя первого каскада выполнено путем увеличения затухания в аттенуаторах, которые моделируют затухание в волоконно-оптической линии связи протяженностью 5 км. В качестве разветвителя первого каскада применен оптический делитель 1×2 с вносимыми потерями 4 дБ. С учетом этого, суммарные потери в линии составят 6 дБ. Разница между однокаскадной и двухкаскадной схемами сети PON отражена в затухании.

В качестве абонентского терминала ONU и генератора шума применены передатчики оптического сигнала на длине волны 1310 нм, интенсивность излучения которых модулировалась независимыми псевдослучайными бинарными последовательностями. Фотоприемник третьих лиц (ONU*) представлял собой оптический приемник с предварительным оптическим услителем.

Качество приема информационного сигнала определялось анализатором цифрового потока данных (BER Analyzer), который вычислял параметр Q-фактор в зависимости от обратных оптических потерь в разъемных соединениях и от уровня оптической мощности помехового сигнала.

Контроль процесса моделирования осуществлялся изме-

рительными приборами, такими как измеритель уровня оптической мощности и осциллограф. Их подключение к блок-схеме выполнено на абонентской стороне в шести контрольных точках.

Для исследования влияния ORL трех разъемных соединений на Q-фактор в отсутствии помехового сигнала, в блок-схеме №1 (см. рис. 1) разработано три сценария, в которых линейно изменялся параметр *Attenuation* одного из трех оптических аттенюаторов. В соответствии условиям моделирования, параметр *Attenuation* изменялся линейно в пределах от 30 до 70 дБ. Отсутствие фоновой помехового сигнала было смоделировано путем установки в блоке Gen.Noise уровня оптической мощности минус 100 дБм.

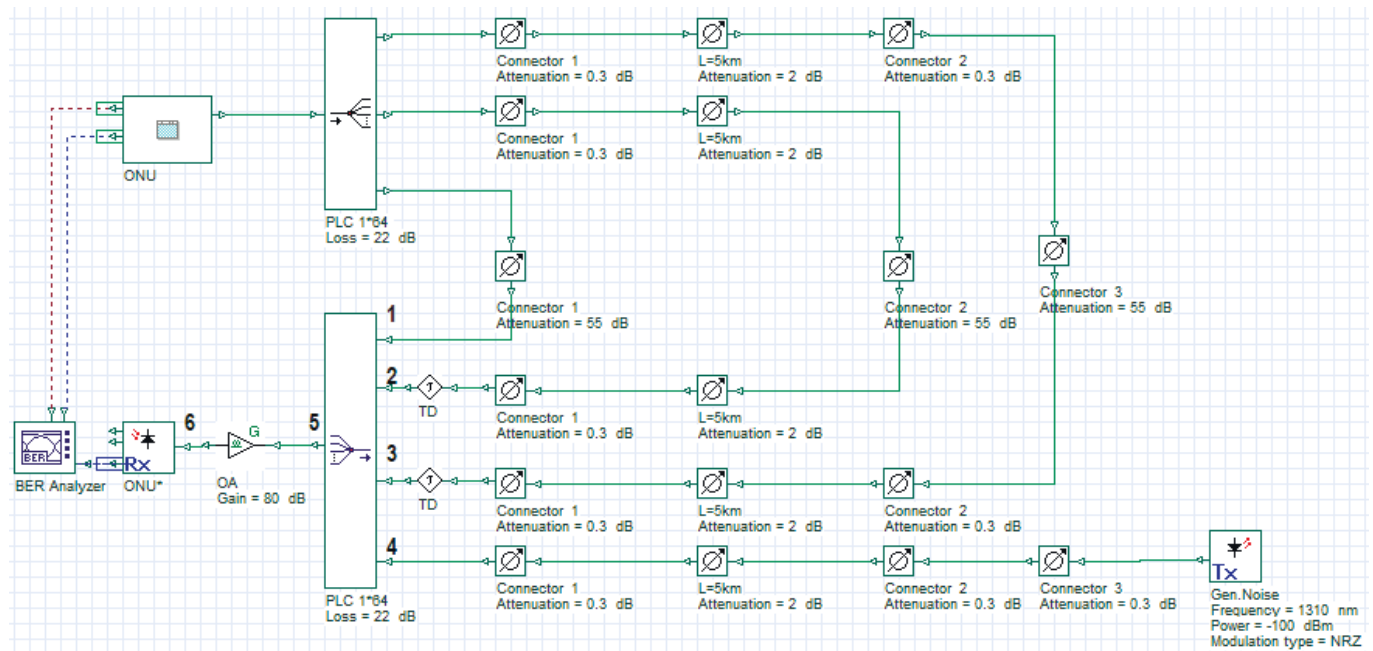


Рис. 1. Блок-схема №1

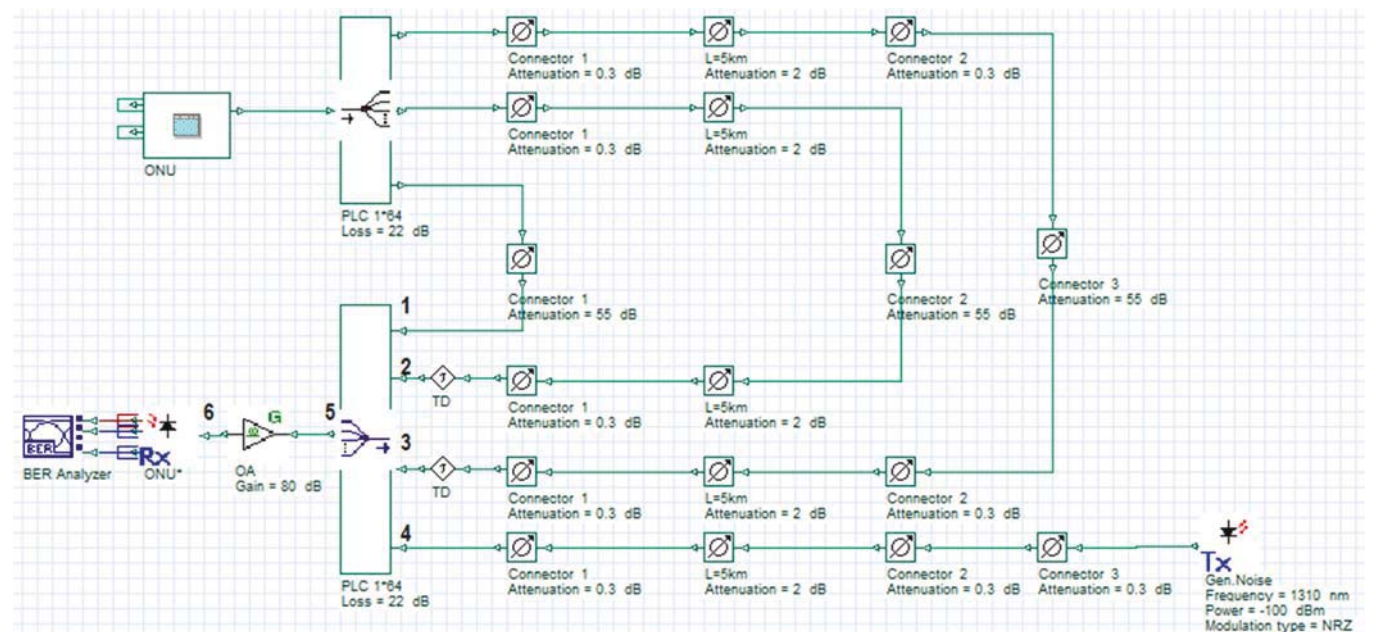


Рис. 2. Блок-схема №2

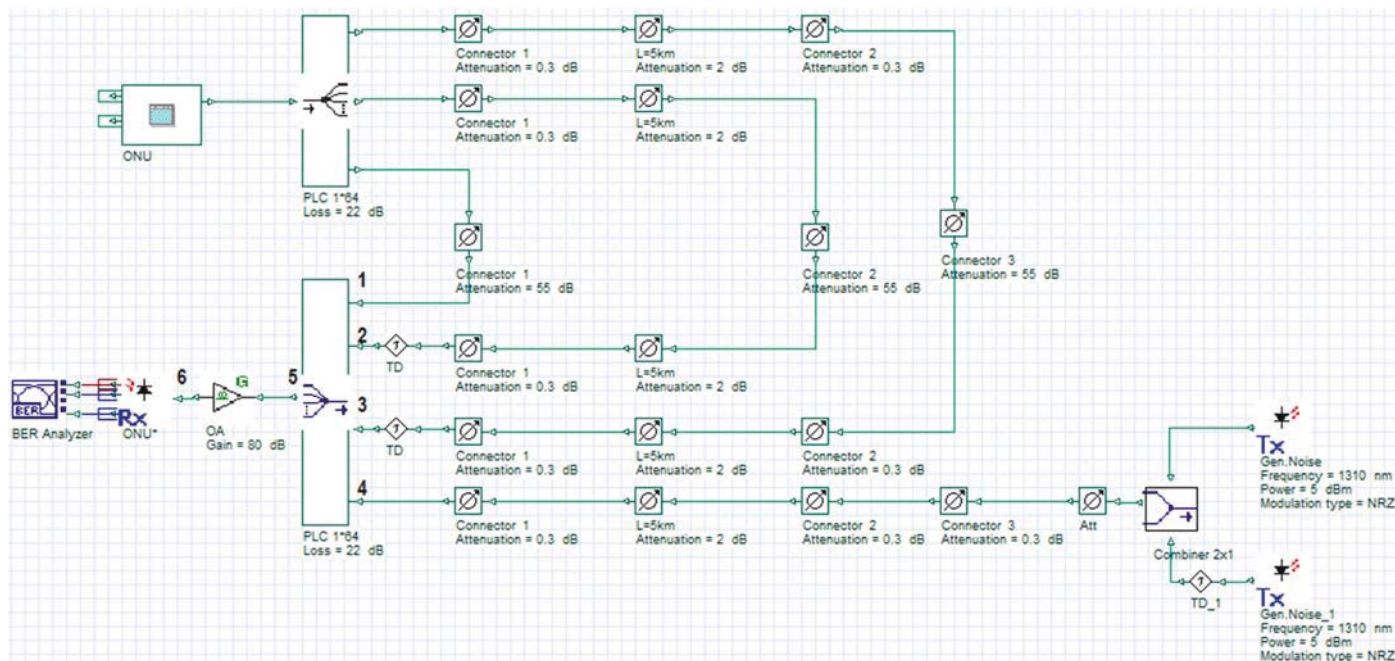


Рис. 3. Блок-схема №3

В блок-схеме №1, для подтверждения достоверности приема информационного сообщения, подключение анализатора цифрового потока данных выполнено к передатчику ONU и к фотоприемнику ONU*. Анализатор сравнивает переданную ONU информационную последовательность с принятой ONU*. Результатом сравнения является значение Q-фактора.

Для двухкаскадной схемы также разработано три сценария, в которых линейно изменялся параметр *Attenuation* одного из трех оптических аттенуаторов, моделирующих возвратные оптические потери разъемных соединений.

Исследование влияния уровня оптической мощности помехового процесса на Q-фактор, выполнено при различных значениях ORL в первом разъемном соединении, которые составили 55, 50, 48, 46 и 44 дБ. Для этого было разработано пять сценариев для однокаскадной и двухкаскадной сети PON. В каждом из пяти сценариев линейно изменялась мощность помехового сигнала в диапазоне от минус 100 дБм до минус 30 дБм. Изменения ORL в первом разъемном соединении (Connector 1) обосновано тем, что именно оно в большей степени влияет на качество приема информационного сигнала.

Учитывая реальные условия перехвата отраженного сигнала в сети TDM-PON, где достоверность принимаемого информационного сообщения не известна, снятие зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$ выполнено при непосредственном подключении BER Analyze к фотоприемнику ONU*, как показано на рисунке 2. Количество сценариев и итераций вычислений в блок-схеме №2 аналогично блок-схеме №1.

Уровень оптической мощности помехового сигнала в блок-схемах №1 и №2 контролировался в точке №4 при помощи инструмента «Измеритель оптической мощности».

Из результатов численного моделирования, представленных в работе [11], следует что для увеличения коэффициента ошибки выделения информационного сообщения на фоне помехового процесса, генерируемого одним источником, уровень оптической мощности сигнала помехи должен быть

больше уровня информационного сигнала. Однако, можно предположить, что в таком случае, третья сторона будет принимать помеховый сигнала с наилучшим качеством, что позволит скомпенсировать помеху и выделить информационный сигнал. Учитывая это, разработана блок-схема №3 с двумя источниками фоновой помехи (см. рис. 3).

В блок-схеме №3 снятие зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$ на фоне двух независимых помеховых процессов в однокаскадной и двухкаскадной сети PON реализовано аналогично блок-схеме №2, для пяти сценариев. Регулировка уровня оптического сигнала выполнялась аттенуатором (Att), установленным на выходе объединителя (Combiner 2x1).

Анализ результатов моделирования

Результатами моделирования оценки противодействия скрытому перехвату конфиденциальной информации, передаваемой в восходящем направлении сети TDM-PON, являются графики зависимости $Q(\text{ORL})$ и $Q(P_{\text{NOISE}})$ для разработанных блок-схем однокаскадной и двухкаскадной сети PON.

Результат моделирования блок-схемы №1 представлен на рисунках 4 и 5 в виде зависимости $Q(\text{ORL})$ при различных значениях ORL в разъемных соединениях и отсутствии фоновых шумовых процессов. Значения ORL изменялись в пределах от 30 до 70 дБ.

Анализируя эти зависимости, можно утверждать следующее.

1. На качество выделения и обработки отраженного информационного сигнала восходящего потока данных, представляющего собой сумму трех сигналов, в большей степени влияет качество магистрального разъемного соединения оптического разветвителя (первое разъемное соединение), к которому непосредственно подключаются абонентские терминалы. За качество разъемного соединения в данном случае отвечает

величина ORL. Чем меньше ORL, тем хуже качество разъемного соединения, тем лучше качество приема отраженного сигнала третьими лицами, в противном случае, качество приема отраженного сигнала при увеличении ORL ухудшается.

Качество смонтированного разъемного соединения зависит от квалификации технического персонала, который занимается эксплуатацией сети PON. Так, в случае монтажа разъемного соединения, может быть, не выполнена чистка торца керамического наконечника коннектора, либо коннектор подключен неправильно. Очевидным является то, что для пассивного противодействия перехвату отраженного сигнала третьими лицами, обратные оптические потери в разъемных соединениях должны быть как можно больше.

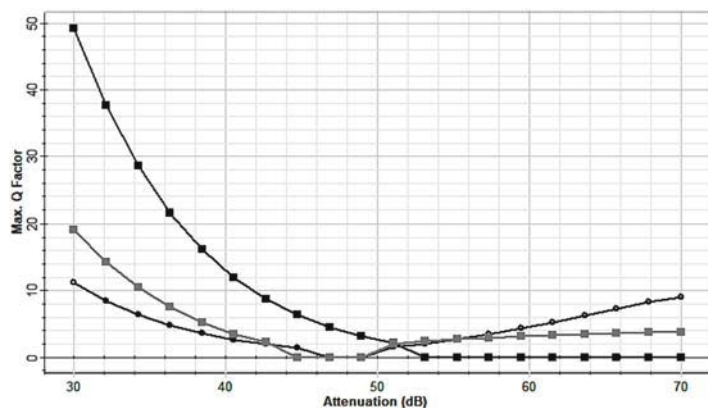


Рис. 4. Графики зависимости $Q(\text{ORL})$ однокаскадной сети PON при отсутствии шумового процесса (блок-схема №1)

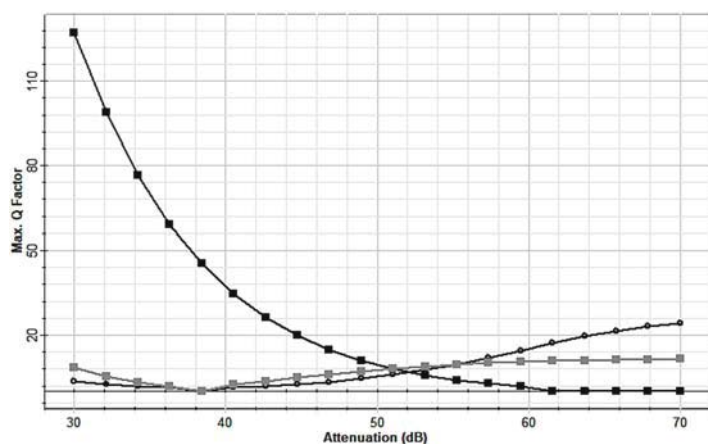


Рис. 5. Графики зависимости $Q(\text{ORL})$ двухкаскадной сети PON при отсутствии шумового процесса (блок-схема №1)

Стоит отметить то, что в двухкаскадной сети PON, где оптический разветвитель 1×2 первого каскада подключен в линии связи посредством сварных соединений, наблюдается двукратное увеличение качества приема отраженного сигнала. Объясняется это большей разницей уровней отраженных сигналов $S_{ref_us_2}(t, \lambda(t))$ и $S_{ref_us_3}(t, \lambda(t))$ по сравнению с уровнем сигнала $S_{ref_us_1}(t, \lambda(t))$. Разница вызвана дополнительным затуханием сигналов в оптическом разветвителе 1×2 .

2. В случае увеличения обратных оптических потерь в разъемных соединениях на стороне оператора связи (второе и третье разъемное соединение), также наблюдается улучшение качества приема и обработки отраженного сигнала. Объясняется это достаточно просто: при увеличении обратны

оптических потерь, уровень оптической мощности двух отраженных сигналов $S_{ref_us_2}(t, \lambda(t))$ и $S_{ref_us_3}(t, \lambda(t))$ уменьшается относительно уровня оптической мощности первого сигнала $S_{ref_us_1}(t, \lambda(t))$ отраженного от первого разъемного соединения, что ведет к уменьшению их влияния на степень пространственной модуляции сигнала $S_{ref_us_1}(t, \lambda(t))$.

3. Замечено, что в случае приблизительно равных значений ORL во всех разъемных соединениях, качество приема отраженных сигналов третьими лицами будет низким, что затрудняет выделению конфиденциальной информации.

4. Сравнение полученных зависимостей $Q(\text{ORL})$ в однокаскадной и двухкаскадной схемах сети PON, говорит о том, что их характер не имеет существенных отличий.

Полученные результаты моделирования в виде графиков зависимости $Q(\text{ORL})$, показывают потенциальную возможность скрытого перехвата информации в восходящем потоке данных как в однокаскадной, так и в двухкаскадной схемах сети P2MP PON-TDM.

Другим результатом моделирования блок-схемы №1 являются графики зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$, которые позволяют оценить эффективность предложенного метода противодействия перехвату информации путем передачи в нисходящем направлении фонового шумового процесса на длине волны 1310 нм. Результаты моделирования представлены на рисунках 6 и 7.

Графики зависимостей $Q(P_{\text{NOISE}})$ получены при различных значениях ORL первого разъемного соединения и значении ORL 55 дБ во втором и в третьем разъемном соединениях, а также при значениях уровня оптической мощности отраженных сигналов $P_{ref_us_2} = -84,3$ дБм и $P_{ref_us_3} = -84,9$ дБм для однокаскадной сети и $P_{ref_us_2} = -92,3$ дБм и $P_{ref_us_3} = -92,9$ дБм для двухкаскадной сети. Уровень отраженного сигнала $P_{ref_us_1}$ в однокаскадной и двухкаскадной схемах сети PON изменялся от минус 79,7 дБм до минус 68,7 дБм. при различных значениях ORL.

Анализируя эти зависимости, можно утверждать следующее. Характер полученных графических зависимостей $Q(P_{\text{NOISE}})$ для однокаскадной и двухкаскадной схемы сети PON можно считать коррелируемым, а сам результат моделирования положительным, показывающим возможность применения источника фонового шума для противодействия скрытому перехвату информационных сообщений восходящего потока данных в сети PON-TDM.

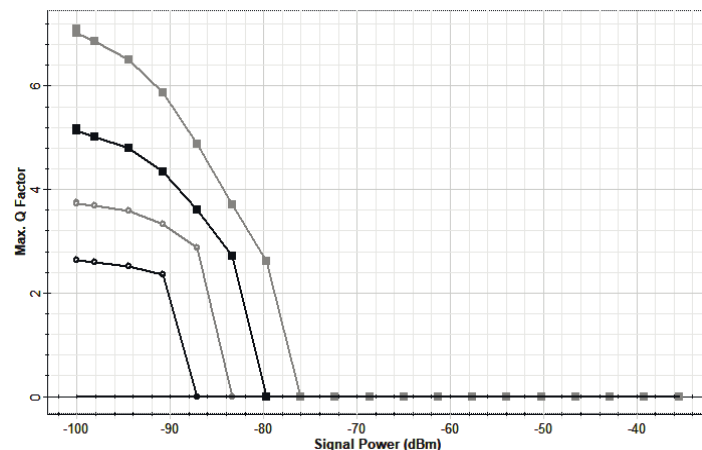


Рис. 6. График зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$ однокаскадной сети PON в отсутствие помехи (блок-схема №1)

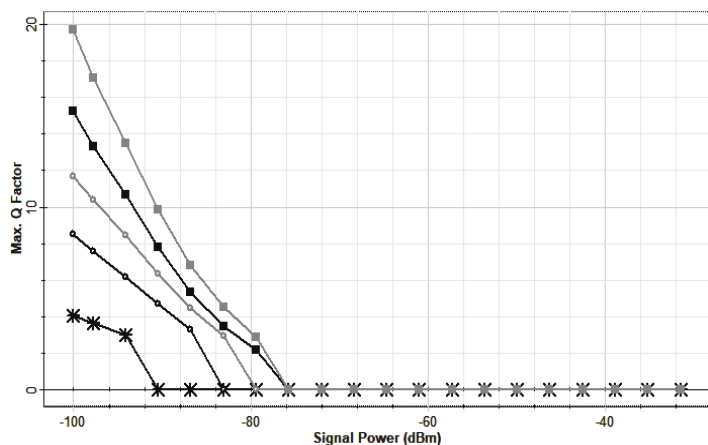


Рис. 7. График зависимости $Q(P_{NOISE})$ двухкаскадной сети PON в отсутствии помехи (блок-схема №1)

Важно отметить, что эти зависимости получены за счет параллельного подключения анализатора BER к источнику информационного сообщения и фотоприемнику третьих лиц для обеспечения достоверности приема информационной цифровой последовательности на фоне помехи.

В реальных условиях, у третьей стороны нет возможности сравнивать выделенное информационное сообщение на фоне помехового процесса с истинным для подтверждения его достоверности. В таком случае, графики зависимостей $Q(P_{NOISE})$ полученные для блок-схемы №2 будут выглядеть иначе, (см. рис. 8 и 9).

Анализируя эти зависимости, стоит обратить внимание на прослеживаемую зависимость Q -фактора как от мощности помехового сигнала, так и от обратных оптических потерь разъемного соединения. Так, при уменьшении обратных оптических потерь в разъемном соединении и уменьшении уровня помехового процесса на входе фотоприемника третьих лиц, качество приема отраженного информационного сигнала улучшается, поскольку уровень полезного сигнала на входе фотоприемника возрастает. Но, при уменьшении обратных оптических потерь и увеличении уровня помехи на входе фотоприемника третьих лиц, наблюдается снижение качества выделения помехи, из-за увеличения уровня информационного сигнала.

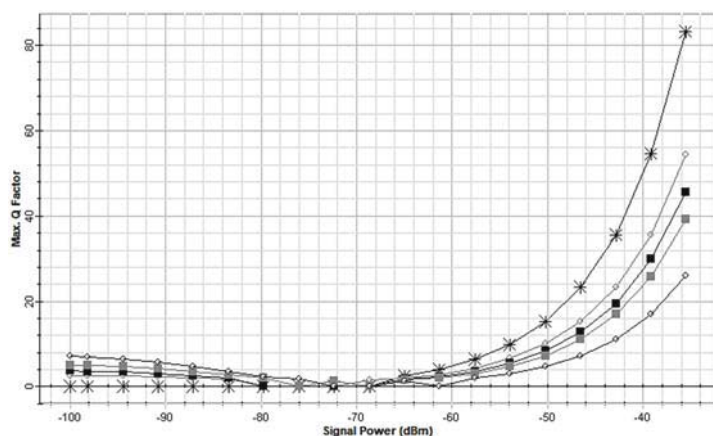


Рис. 8. Графики зависимости $Q(P_{NOISE})$ однокаскадной сети PON в присутствии помехи (блок-схема №2)

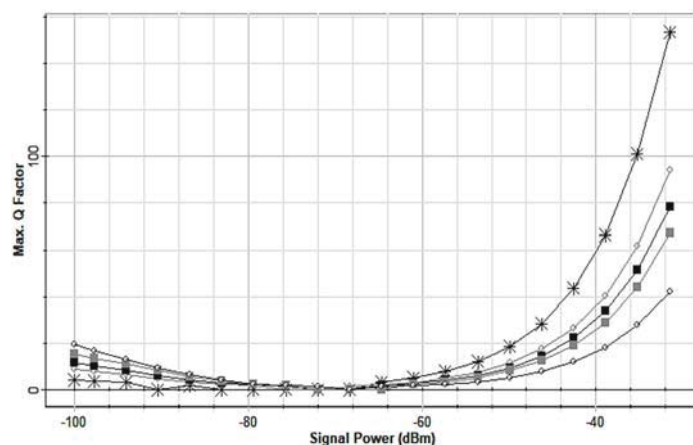


Рис. 9. Графики зависимости $Q(P_{NOISE})$ двухкаскадной сети PON в присутствии помехи (блок-схема №2)

Очевидным является то, что эффективность применения источника фоновой помехи обеспечивается в том случае, когда уровни помехового процесса и отраженного информационного сигнала, на входе фотоприемника третьих лиц будут примерно одинаковы.

Также следует обратить особое внимание на то, что, если уровень помехового процесса на входе фотоприемника третьих лиц будет больше уровня отраженного сигнала, то фотоприемник третьих лиц будет выделять с наилучшим качеством помеховый сигнал, что явно следует из графиков зависимости $Q(P_{NOISE})$.

Выделение помехового процесса в чистом виде позволит компенсировать его, например, согласующим фильтром, и тем самым, выделить информационный сигнал на фоне помехи.

Решить эту проблему можно путем применения двух независимых источников фонового шума, генерирующих псевдослучайную бинарную последовательность. Так, для разработанной блок-схемы №3, результат моделирования представлен на рисунках 10 и 11 в виде графиков зависимости $Q(P_{NOISE})$.

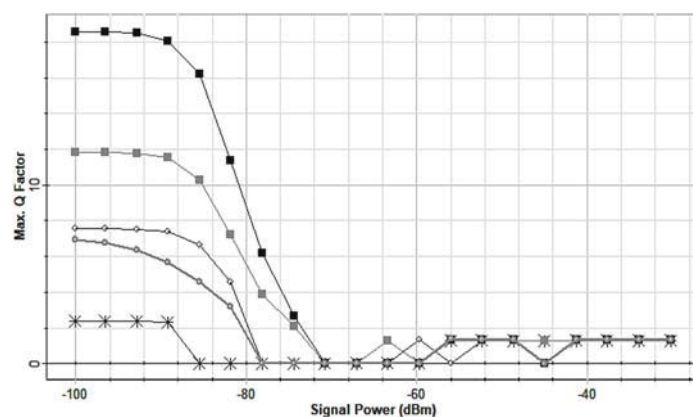


Рис. 10. Графики зависимости $Q(P_{NOISE})$ однокаскадной сети PON при наличии двух независимых источников шума (блок-схема №3)

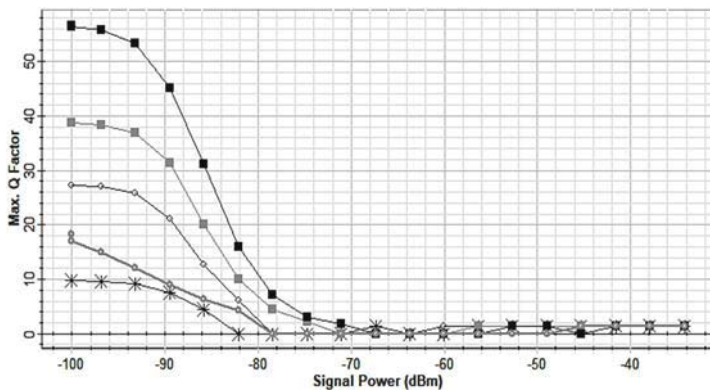


Рис. 11. Графики зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$ двухкаскадной сети PON при наличии двух независимых источников шума (блок-схема №2)

Анализируя эти зависимости, можно утверждать, что характер полученных зависимостей схож с графиками представленными на рисунках 6 и 7. Полученные зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$ показывают, что задействование двух независимых источников помехового сигнала в большей степени затрудняет прием отраженных информационных сигналов, нежели в случае когда задействован один источник фоновой помехи.

Анализируя зависимости $Q(P_{\text{NOISE}})$ в области от минус 60 дБм до минус 30 дБм видно, что значение Q-фактора не превышает двух, что также говорит о возможности компенсации помеховых сигналов при помощи согласующего фильтра, поскольку уровень помеховых процессов превышает уровень отраженных информационных сигналов.

Таким образом, обеспечение скрытности отраженного информационного сигнала, уровень помехи должен быть соизмерим с уровнем отраженных сигналов, действующих на входе фотоприемника третьих лиц. Это отчетливо видно на графиках $Q(P_{\text{NOISE}})$ (на рисунках 8-11 в диапазоне от минус 75 дБм до минус 65 дБм), где значение Q-фактора равно нулю. Кроме этого, обратные оптические потери во всех разъемных соединениях должны быть примерно одинаковы.

Заключение

Подводя итоги, можно утверждать, что скрытый перехват информационного сигнала восходящего направления сети PON-TDM, вследствие его отражения в разъемных соединениях магистральной ВОЛС, является потенциально-возможным.

Качество перехвата зависит от качества разъемных соединений и уровня каскадирования сети PON. Так, качество перехвата улучшается в случае ухудшения качества (уменьшения возвратных оптических потерь) разъемного соединения в магистральной линии на стороне ONU. Уменьшение ORL в разъемном соединении возможно умышленно третьей стороной, или случайно, работником телекоммуникационной компанией, который занимается техническим обслуживанием сети PON. Преднамеренное уменьшение ORL третьей стороной возможно только в случае свободного доступа к оптическому разветвителю. Уменьшение ORL можно выполнить путем загрязнения торца керамического наконечника коннектора или увеличения расстояния между коннекторами. Согласно результату моделирования, для улучшения качества перехвата сигнала восходящего потока данных сети PON, достаточно уменьшить на 4-6 дБ возвратные потери разъемного

соединения. Такое вмешательство не повлияет на работу всего дерева сети PON, поскольку такие манипуляции с разъемным соединением не оказывают значительного влияния на увеличение затухания в разъемном соединении, и ORL остается для оператора связи в пределах нормы.

Что касается случайного уменьшения ORL работником телекоммуникационной компании, такие случаи вполне возможны, и уменьшение ORL подобно умышленному вмешательству третьих лиц: загрязнение коннекторов или неправильное их соединение в розетке. Обусловлено это некомпетентностью и неграмотностью работника телекоммуникационной компании, занимающийся эксплуатацией сети PON.

Для эффективной борьбы скрытым перехватом информации, передаваемой в восходящем направлении сети PON-TDM, рекомендуется:

- 1) при вводе в эксплуатацию ВОЛС сети PON и последующей эксплуатации, возвратные потери в разъемных соединениях должны быть не менее 65 дБ, а совокупные возвратные потери в сети PON должны быть более 32 дБ [17];
- 2) обеспечить равенство обратных оптических потерь во всех разъемных соединениях на всем периоде эксплуатации ВОЛС сети PON;
- 3) при организации двухкаскадной сети PON, подключение оптических разветвителей первого и второго каскада к магистральной ВОЛС выполнять через разъемные соединения;
- 4) применить два независимых источника фоновых помех, устанавливаемых на стороне OLT;
- 5) обеспечить примерное равенство уровня оптической мощности помехового и информационного сигнала, отраженного от разъемного соединения магистральной ВОЛС на стороне абонентов;
- 6) выполнять измерения ORL со стороны абонентов при помощи оптических тестеров или оптических рефлектометров;
- 7) на участке от приемо-передающего оптического модуля OLT до приемо-передающего модуля ONU применить коннекторы с одним типом полировки: полировка под углом восемь градусов (APC полировка).

Литература

1. Каторин Ю.Ф., Разумовский А.В., Спивак А.И. Защита информации техническими средствами: Учебное пособие / Под редакцией Ю.Ф. Каторина – СПб: НИУ ИТМО, 2012. 416 с.
2. Roka R. Performance analysis of TDM-PON protection schemes by means of the PON network availability // Yang, X.S., Sherratt, S., Dey, N., Joshi, A. (eds) Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 464. London: Springer, Singapore. 2022. Vol. 3. P. 295-303.
3. Денисов И. В., Кипер А. В., Седов В. А. и др. Расчет параметров макроизгибного отвода оптического излучения из волоконных световодов // Радиотехника. 2021. Т. 85, № 2. С. 18-26.
4. Балина А. В., Былина М. С. Возможности несанкционированного доступа к волокнам в пассивных оптических сетях // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сборник научных статей: в 4х томах. Том 1. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 78-83.
5. Ладошкин К. П. Исследование и разработка системы обнаружения несанкционированных подключений в пассивных оптических

сетях доступа // Инновации и научно-техническое творчество молодежи: Материалы Российской научно-технической конференции, Новосибирск, 20-21 апреля 2022 года. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. С. 1109-1112.

6. Кыймаштаева Т. В. Исследования методов обнаружения несанкционированного подключения в пассивных волоконно-оптических сетях доступа // Инновации и научно-техническое творчество молодежи: Материалы Российской научно-технической конференции, Новосибирск, 20-21 апреля 2022 года. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. С. 1102-1108.

7. Селезнев А. В., Островерхий С. М., Пелогейко А. В. и др. Система несанкционированного доступа к информации в волоконных световодах // Технологии. Инновации. Связь: Сборник материалов научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 2022. С. 89-100.

8. Шестаков И.И. Меры и средства по противодействию перехвата информации циркулирующей в сетях P2MP PON-TDM // Информационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.П. Шувалова. Сост. М.П. Карачарова. Екатеринбург, 2022. С. 107-111.

9. Рахимов Н. Р., Трушин В. А., Бакиун Д. И., Кнутов В. А. Современные методы разработки информационной безопасности ВОЛС // Автоматика и программная инженерия. 2015. №4 (14). С. 85-89. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-razrabotki-informatsionnoy-bezopasnosti-vols> (дата обращения: 10.03.2023).

10. Кокорев Л. Е. Противодействие несанкционированному доступу к информации, передаваемой по волоконно-оптическим кана-

лам связи // Научное обозрение: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2023. С. 58-63

11. Шестаков И.И. Оценка эффективности использования источника фоновой помехи для противодействия скрытого перехвата конфиденциальной информации в сетях P2MP PON-TDM // Информационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики. III Международная научно-практическая конференция; Сб. науч. ст. в 1 т. / Под ред. Шувалова В.П.; Сост.: М.П. Карачарова. УрТИСИ СибГУТИ, 2023. С. 92-96.

12. Ziqian Zhang, Yang Liu, Benjamin J. Eggleton. Photonic generation of 30 GHz bandwidth stepped-frequency signals for radar applications // Journal of Lightwave Technology. 2022. Vol. 40(14). P. 4521-4527.

13. Гулаков И.Р., Зеневич А.О., Кочергина О.В., Матковская Т.А. Исследование характеристик германиевых лавинных фотодиодов в режиме счета фотонов // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2022. Т. 67(2). С. 222-229.

14. Gary G. Gimmestad, David W. Roberts. Lidar Engineering: Introduction to Basic Principles. Cambridge University Press, 2023. 366 p.

15. Козий А. А., Лосев А. В., Заводиленко В. В. и др. Современные методы детектирования одиночных фотонов и их применение в квантовых коммуникациях // Квантовая электроника. 2021. Т. 51, № 8. С. 655-669.

16. IEC 61754-4:2022. Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic connector interfaces – Part 4: Type SC connector family English and French language: Publication date 2022-02-28, 73 p.

17. Rec. ITU-T G.984.2 (08/2019) - Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification.

SIMULATION OF COUNTERACTION TO COVERT INTERCEPTION OF AN INFORMATION SIGNAL OF AN UPSTREAM DATA STREAM IN A PASSIVE OPTICAL ACCESS NETWORK

Ivan I. Shestakov, Urals Technical Institute of Communication and Computer Sciences (Branch) of the Federal State Educational Establishment of Higher Learning "Siberian State University of Telecommunications and Informatics" in Yekaterinburg, Russia, ivansche2007@rambler.ru

Vyacheslav P. Shuvalov, Siberian State University of Telecommunications and Information Science, Doctor of Technical Sciences, Novosibirsk, Russia, shvp04@mail.ru

Abstract

The article considers the simulation of countering the covert interception of confidential information transmitted in the upstream data stream of the passive optical access network of the point-to-multipoint architecture (P2MP PON-TDM). The secrecy of the interception is due to the presence of back-reflected signals in the split connections of the backbone section of the fiber-optic communication line of the passive optical access network. To counteract this method of information interception, it is proposed to transmit an interference signal in the downward direction at a wavelength of 1310 nm. Evaluation of the effectiveness of this method is carried out by modeling in OptiSystem CAD. The result of the simulation are graphs of the dependence of the Q-factor on the inverse optical losses in the split connections and on the optical power level of the interference signal. Based on the analysis of graphs, the proposed method is considered effective provided that the level of optical power of the interference and information signal reflected from the split connection of the main fiber optic cable on the subscribers' side is equal. To counteract, it is enough to apply one source of interference, the parameters of which are similar should be similar to the parameters of the upstream signal. Recommendations are also given to counteract the covert interception of upstream data in the P2MP PON-TDM optical access network.

Keywords: hidden interception of information, passive optical access network P2MP PON-TDM network, source of background noise.

References

1. Katorin, Y.F., Razumovsky, A.V. and Spivak, A.I. (2012), Information protection by technical means, in Katorin, Y.F. (ed.), NIU ITMO, St. Petersburg, Russia.
2. R?ka, R. (2023), Performance Analysis of TDM-PON Protection Schemes by Means of the PON Network Availability Evaluator. In: Yang, X.S., Sherratt, S., Dey, N., Joshi, A. (eds) *Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 464. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2394-4_27
3. Denisov, I., Kiper, A. and Sedov, V. A. (2021), "Calculation of the parameters of macrobending removal of optical radiation from optical fibers", *Radiotekhnika*, 2021, vol.82, no.2, pp. 18-26.
4. Balina, A. (2021), "Possibilities of unauthorized access to fibers in passive optical networks", Actual problems of infotelecommunications in science and education: collection of scientific articles: in 4 volumes. Vol. I, St. Petersburg, 2021, pp. 78-83.
5. Ladoshkin, K. P. (2022), "Research and development of a system for detecting unauthorized connections in passive optical access networks", *Innovacii i nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi: Materialy Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, [Innovations and scientific and technical creativity of youth: Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, April 20-21, 2022, pp. 1109-1112.
6. Kyymashtayeva, T. (2022), "Research on tamper detection methods in passive fiber optic access networks", *Innovacii i nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi: Materialy Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, [Innovations and scientific and technical creativity of youth: Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, April 20-21, 2022, pp. 1102-1108.
7. Seleznev, A., Ostroverkhly, S., and Pelogeiko, A. (2022), "A system of unauthorized access to information in fiber light guides", *Tekhnologii. Innovacii. Svyaz': Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii*, [Technologies. Innovation. Communication: Collection of materials of the scientific-practical conference], St. Petersburg, 2022, pp. 89-100.
8. Shestakov, I.I. (2022), "Measures and means to counteract the interception of information circulating in P2P PON-TDM networks", *Infokommunikatsionnyye tekhnologii: aktualnyye voprosy tsifrovoy ekonomiki. Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, [Infocommunication technologies: current issues of the digital economy. Collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference], Yekaterinburg, 2022. pp. 107-111.
9. Rakhimov, N. R., Trushin, V. A., Bakshun, D. I. and Knutov, V. A. (2015), "Modern methods of developing information security of FOCL", *Avtomatika i programmnyaya inzheneriya*, vol. 4, no. 14, pp. 85-89, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-razrabotki-informatsionnoy-bezopasnosti-vols> (accessed 10 March 2023).
10. Kokorev, L. E. (2023), "Countering unauthorized access to information transmitted by fiber-optic communication channels", *Nauchnoe obozrenie: aktual'nye voprosy teorii i praktiki: sbornik statej IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii*, [Scientific Review: Topical Issues of Theory and Practice: Collection of Articles of the IV International Scientific and Practical Conference], Penza, 2023, pp. 58-63.
11. Shestakov, I.I. (2023), "Evaluation of the effectiveness of using a background noise source to counteract covert interception of confidential information in P2MP PON-TDM networks", *Infokommunikatsionnyye tekhnologii: aktualnyye voprosy tsifrovoy ekonomiki. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*, [Infocommunication technologies: current issues of the digital economy. In the III Scientific and Practical International Conference], Yekaterinburg, 2023. pp. 92-96.
12. Ziqian Zhang, Yang Liu, Benjamin J. Eggleton, (2022), "Photonic Generation of 30 GHz Bandwidth Stepped-Frequency Signals for Radar Applications", *Journal of Lightwave Technology*, vol.40, no.14, pp. 4521-4527.
13. Gulakov, I., Zenevich, A., Kochergina, O. and Matkovskaya, T. (2022), "Investigation of the characteristics of germanium avalanche photodiodes in the photon counting mode", *Izvestiya nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk*, vol.67, no. 2, pp. 222-229.
14. Gary G. Gimmestad and David W. Roberts. (2023) *Lidar Engineering: Introduction to Basic Principles*. Cambridge University Press, p. 366.
15. Koziy, A., Losev, A., and Zavodilenko, V. (2021), "Modern methods of detecting single photons and their application in quantum communications", *Kvantovaya elektronika*, vol. 51, no. 8, pp. 655-669.
16. IEC 61754-4:2022. Fiber-optic connecting devices and passive components – Interfaces of fiber-optic connectors - Part 4: SC connector family English and French: Publication date 2022-02-28, p. 73.
17. Recommendation ITU-T G.984.2 (08/2019) – Passive Optical Networks with Gigabit Support (GPON): Specification of the physical carrier-dependent layer (PMD).