

УДК 621.391, 004.056.5

**АРХИТЕКТУРА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА  
ДЛЯ МАСКИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

Е.Р. АДАМОВСКИЙ, В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, Д.Г. САПЕЖКО

*Полоцкий государственный университет,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

**Введение.** Активная защита КУИ путем обеспечения электромагнитного зашумления распределенного в пространстве объекта информатизации (например, ряд выделенных помещений) может быть выполнена с использованием множества локальных генераторов шума (ГШ). Недостатком способа является сложность централизованного управления и содержания такой системы по причине необходимости обслуживания большого количества технически сложных устройств.

Предлагается способ с использованием одного ГШ, маскирующий сигнал которого вместе с контрольной суммой передается по внутренней линии связи (локальной сети), разветвляется и передается в каждое помещение, где может быть усилен и излучен в канал утечки информации (КУИ). Преимуществами решения являются: использование меньшего количества обслуживаемой аппаратуры, возможность реализации центрального удаленного управления системой с высокой степенью автоматизации и автономности.

При передаче сигнала с помощью «витой пары» по длинной линии связи (свыше 100 метров) проявляются недостатки медного кабеля: рабочая емкость (30-50 нФ/км [1]) и индуктивность (250-400 мГн/км [2]); подверженность влиянию внешних факторов (электромагнитные наводки, перепады температуры, высокая влажность и т. д.); большая величина затухания сигнала  $\alpha$  (выражаемая в дБ/км), пропорциональная его частоте. В качестве примера, в табл. 1 приведена взаимосвязь величины затухания сигнала от частоты для радиочастотного кабеля РК 75-4-12, производимого на предприятии «Беларускабель» [3], рассчитанная с помощью специализированного онлайн-инструмента [4].

*Таблица 1*

**Зависимость  $\alpha(f)$  для радиочастотного кабеля РК 75-4-12**

Частота, кГц	0.1	0.5	1	5	10	50	100	500
Затухание, дБ/км	0.11	0.26	0.36	0.81	1.15	2.56	3.63	8.12

Из таблицы 1 следует, что высокочастотные колебания сигнала за счет больших погонных потерь при прохождении через медный кабель будут в значительной мере подавлены, следовательно, выходной сигнал окажется искаженным.

Недостатки предложенной системы защиты объекта информатизации могут быть устранены за счет использования в качестве линии связи сигнала волоконно-оптического кабеля (ВОЛС), который слабо подвержен внешним воздействиям, практически не искажает сигнал, более легкий по сравнению с медным кабелем, а также имеет малое значение затухания  $\alpha$  (для лучших промышленных образцов до 0.18-0.19 дБ/км [5, 6]).

Передача данных через ВОЛС может осуществляться аналоговыми и цифровыми сигналами, для которых исходный электрический сигнал в первую очередь должен быть подвергнут процедурам дискретизации и квантования с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), а затем – передан в оптическую линию связи через модулятор, преобразующий электрический сигнал в световой поток. На приемной стороне над оптическим сигналом требуется произвести демодуляцию и обработать цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП).

Преимущество схемы с передачей аналогового сигнала заключается в более простой реализации схемы без устройств АЦП и ЦАП, но при этом результирующий сигнал может быть искажен и ослаблен. Использование цифрового сигнала обеспечивает полное восстановление формы исходных данных за счет его способности к регенерации. Однако, верхняя

частота такого сигнала, согласно теореме Котельникова, на практике ограничена половиной частоты дискретизации АЦП и ЦАП.

Как правило, для передачи информации в стандартном оптическом волокне со ступенчатым профилем используются три окна прозрачности на длинах волн 850 нм, 1310 нм и 1550 нм (соответствующие значения  $\alpha$  2-2.5 дБ/км, 0.5 дБ/км и 0.22 дБ/км). При этом, чем меньше длина волны, тем меньшие дополнительные потери испытывает волокно при макро-изгибах [7], что может быть значимым фактором при прокладке ВОЛС внутри коммуникаций объекта информатизации, характеризующихся резкими поворотами в ограниченном пространстве.

**Теоретическая модель.** Реализация системы защиты объекта информатизации основана на использовании ВОЛС в качестве канала передачи маскирующего сигнала в цифровом виде. Может передаваться последовательность, предназначенная для защиты любого сигнала, в том числе аудио и видеоинформации. В работах [8, 9] обосновано использование хаотической импульсной последовательности (ХИП) и ее адаптивного варианта в качестве маскирующего сигнала для голосовых записей и видеопоследовательностей. Схема, реализующая передачу маскирующего сигнала через оптический канал связи, показана на рис. 1.

Генератор шума ХИП (1) формирует электрический сигнал  $s(t)$  (2), который подается на вход АЦП (3.1), где на его основе формируется двоичная последовательность символов  $h$  (3.2):

$$h = [(h_{11}, h_{12} \dots h_{1M})(h_{21}, h_{22} \dots h_{2M}) \dots (h_{L1}, h_{L2} \dots h_{LM})] \quad (1)$$

где  $M$  – разрядность АЦП (бит), количество его уровней квантования, следовательно, длина цифрового кода на одно измерение;

$L$  – число отсчетов, которое зависит от длительности сигнала и частоты дискретизации АЦП  $f_{\text{АЦП}}$ .

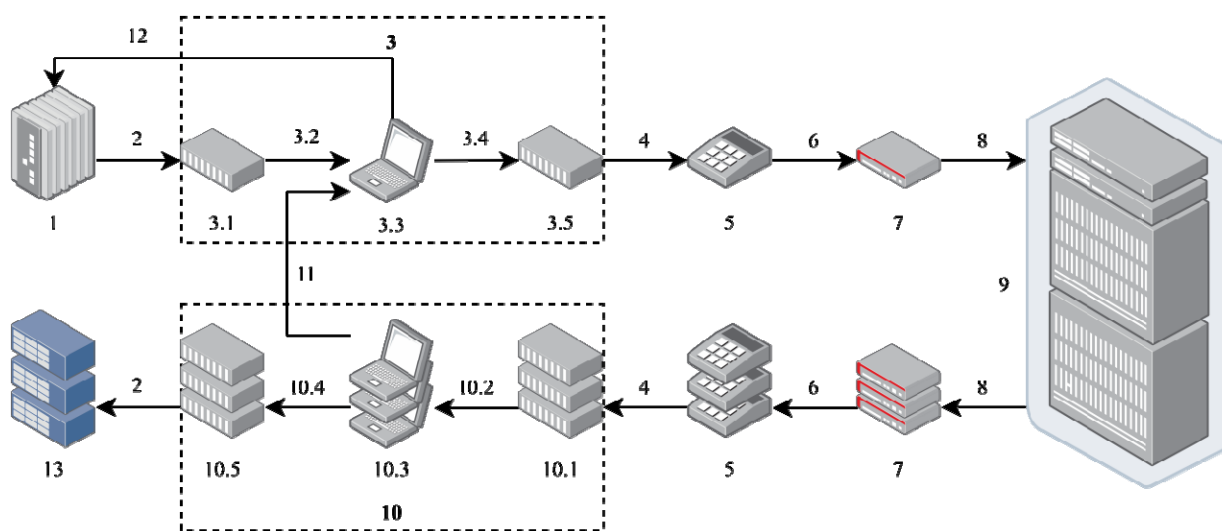


Рис. 1. Схема системы передачи маскирующего сигнала с контрольной суммой при использовании ВОЛС на базе локальной сети объекта информатизации

Цифровой сигнал  $h$  поступает для обработки в оперативную память средства вычислительной техники (3.3) (СВТ), в качестве которого выступает персональный компьютер (ПК) в виде стационарного устройства или переносного ноутбука, снабженного соответствующим программным обеспечением (ПО). В дальнейшем последовательность отсчетов  $h$  может быть дополнена сигналом контрольной суммы с целью мониторинга качества передачи и гарантии его безопасности на приемной стороне, а также сохранена в долговременную память устройства при необходимости, как  $h'$  (3.4). После соответствующей обработки, с помощью ЦАП (3.5), последовательность  $h'$  восстанавливается до аналогового сигнала с контрольной суммой  $s'(t)$  (4).

Сигнал  $s'(t)$  подается на телефонный аппарат (5) через разъем *RJ-11*, соединяющий его с голосовой трубкой. В свою очередь, устройство подключается аналогичным способом к модему (7), служащему в качестве преобразователя телефонного сигнала (6) в цифровую форму и модулятора оптического/электрического излучения. Сигнал модема (8) поступает в локальную сеть и перенаправляется управляющими маршрутизирующими устройствами (9) на заданные адреса, определяемые при наборе номера телефона [10].

Прием реализован способом, обратным способу передачи данных. Оптический модем принимает сигнал, преобразует и передает его на телефон, где происходит восстановление исходной формы  $s'(t)$ . Данный сигнал подается на контрольный ПК (10), где осуществляется проверка контрольной суммы сигнала и принимается решение о продолжении или прерывании сеанса передачи данных при снижении качества приема ниже порогового значения. Контрольные сигналы (11), предназначенные для управляющего ПК (3.3), могут быть переданы любым способом, на основе которых происходит управление (12) ГШ. Результирующий сигнал дополнительно усиливается и излучается в КУИ (13).

Система связанных устройств АЦП – ПК – ЦАП (3, 10, рис. 1) для обработки маскирующего аудио-сигнала может быть представлена в виде единого компактного блока способом, указанным на рис. 2. В таком случае верхняя частота сигнала ограничена частотой дискретизации АЦП используемой звуковой карты. Характерные параметры современных устройств:  $f_{АЦП} = 192$  кГц, разрядность 24-32 бит.

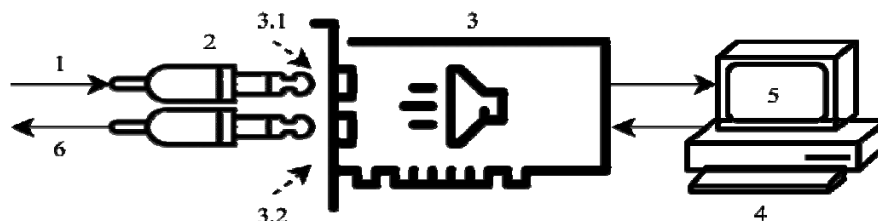


Рис. 2. Реализация обработки маскирующего аудио-сигнала с помощью звуковой карты ПК:

1 – источник сигнала; 2 – разъем *mini-jack* 3.5 мм; 3 – звуковая карта;  
3.1 – АЦП; 3.2 – ЦАП; 4 – ПК; 5 – ПО; 6 – приемник сигнала

Схема может быть реализована при полном или частичном отсутствии оптоволоконной инфраструктуры на объекте информатизации, но в таком случае ее эффективность будет снижена по причине того, что использование медных кабелей типа «витая пара» не обеспечивает высокую скорость передачи данных в сравнении с оптоволокном, а также имеет меньшую защищенность.

**Моделирование.** Программная обработка сигнала реализована с помощью пакета *MatLab R2021a*. Для проверки работоспособности предложенной модели в качестве маскирующего сигнала использована треугольная последовательность с частотой 60 Гц. Прием сигнала смоделирован путем добавления шума небольшого уровня и его случайного смещения. Подробное описание модели включает пункты:

1. Подготовка данных из ГШ выполняется пакетным способом двумя параллельно работающими процессами. В первом процессе входной сигнал разбивается на небольшие отрезки длительностью до нескольких секунд. Для каждого фрагмента вычисляется среднее значение – контрольная сумма, представление которой вставляется в начало отрезка с длительностью, равной 5-10% от количества его отчетов. Пакеты генерируются заданное количество раз, объединяются и сохраняются для дальнейшей передачи. После этого цикл повторяется.

2. Второй процесс отслеживает появление новых пакетов и воспроизводит их в канал передачи. При появлении в указанном каталоге очередного файла, происходит его считывание и проигрывание с помощью звуковой карты.

3. Прием сигнала осуществляется в реальном времени процессом, в задачи которого входит определение границы пакетов, выделение и удаление из них сигнала контрольной суммы, принятие решения о продолжении или прерывании передачи на основе сравнения разницы между контрольной суммой и сигналом, а также пороговой величиной.

В реальности обеспечение синхронизации управляющего и приемного ПК может быть затруднено, поэтому принимается, что сигнал поступает в приемник непрерывным потоком,

для которого требуется автоматизированное определение границы блоков. Пример реализации данного функционала, которая основана на вычислении коэффициента корреляции фрагмента сигнала с эталоном особой формы, приведена в листинге 1. Результаты работы алгоритма показаны на рис. 3.

Листинг 1

### Пример реализации обнаружения границ блока и выделения из него контрольной суммы

<pre> %% СИГНАЛ N, КОНТРОЛЬНАЯ СУММА M template = [zeros(1, M) ones(1, N - M)]; part = signal(((j-1)*N)+1*((j-1)*N)+N); part = part / max(part); for i = 1:N/100:N     template_ = circshift(template, i);     corr = corrcoef(template_, abs(part));     mass_corr(i) = corr(1, 2); end [max_val, max_pos] = max(mass_corr); part = circshift(part, -max_pos); control = abs(mean(part(1:M))); reals = abs(mean(part(M + 1:end))); dif = abs(control - reals); </pre>	<pre> % эталон % чтение блока данных % нормировка сигнала % цикл по сигналу с шагом 1% % циклическое смещение эталона % вычисление коэфф. корреляции % запись в массив результата  % получение валидного смещения % смещение фрагмента сигнала % чтение контрольной суммы % чтение данных % сравнение данных и суммы </pre>
--	---

На рис. 3 продемонстрирована возможность обнаружения местоположения фрагмента контрольной суммы в случайно сдвинутом сигнале, следовательно, потокового приема сигнала и его обработки в реальном времени.

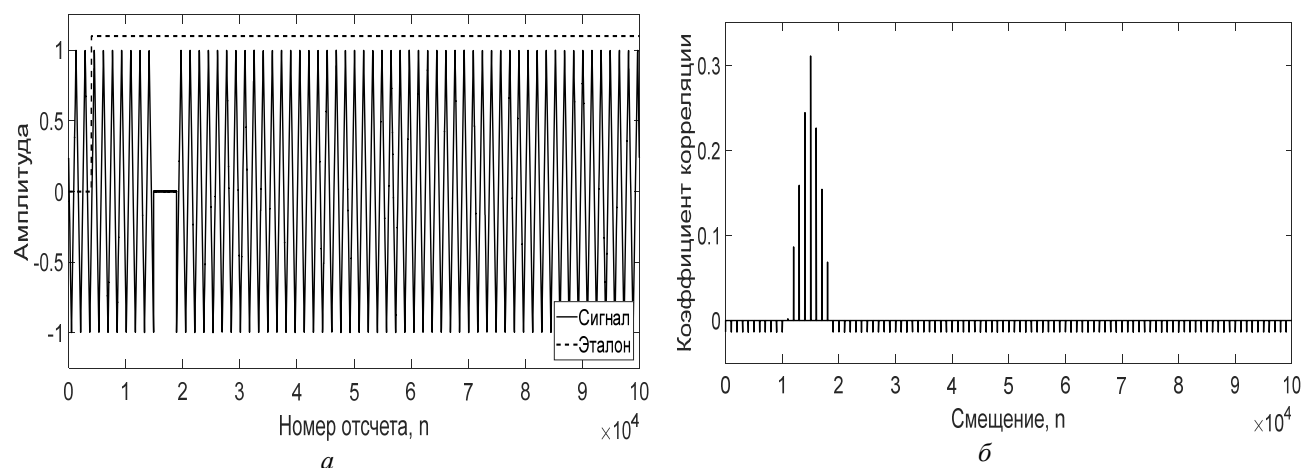


Рис. 3. Автоматизированное выравнивание блоков сигнала:  
*a* – блок информации и эталон; *b* – корреляционная функция смещения

**Заключение.** Результатом исследования является подтверждение возможности реализации архитектуры ВОЛС для передачи сигнала с целью распределенного маскирования объекта информатизации, а также других информационных сигналов для сигнализации, мониторинга и т. д.

Предложенная модель использует в качестве среды распространения оптические линии связи, предназначенные для сетевых локальных соединений Ethernet, следовательно, задействуется соответствующее оборудование и протоколы передачи цифровых данных, которые в первую очередь определяют качество и скорость соединения узлов.

Дальнейшее развитие модели включает в себя разработку программно-аппаратного комплекса, реализующего передачу исходного маскирующего сигнала с помощью ВОЛС без использования локальных Ethernet-сетей за счет применения специализированных оптико-электрических преобразователей и соответствующего программного комплекса, реализующего собственные протоколы передачи.

## Список литературы

1. Абрамов, К. К. Расчет электрических емкостей многожильного кабеля с комбинированной изоляцией / К. К. Абрамов // Кабели и провода. – 2009. – № 3 (316). – С. 3–9.
2. Радкевич, В. Н. Определение индуктивных сопротивлений одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением до 1 кВ / В. Н. Радкевич, В. В. Сталович, Д. С. Алехнович // Энергетика. изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 321–333.
3. Беларускабель: Радиочастотные кабели [Электронный ресурс] / РК 754-12. – Режим доступа : [https://belaruskabel.by/catalog/radiochastotnye\\_kabeli/rk\\_754\\_12/](https://belaruskabel.by/catalog/radiochastotnye_kabeli/rk_754_12/). – Дата доступа : 20.04.2021.
4. Расчет затухания в коаксиальном кабеле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.ivtechno.ru/raschet\\_5](https://www.ivtechno.ru/raschet_5). – Дата доступа : 20.04.2021.
5. Листвин, А. В. Оптические волокна для линий связи: учеб. пособие / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. – М. : ЛЕСАРарт, 2003. – 106 с.
6. Шарварко, В. Г. Волоконно-оптические линии связи : учеб. пособие / В. Г. Шарварко. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2006. – 170 с.
7. Косари, А. Г. Обнаружение каналов утечки информации в оптоволоконных линиях связи на основе маломощных оптических воздействий : автореф. ... канд. техн. наук: 05.13.19 Методы и системы защиты информации, информационная безопасность / А. Г. Косари. – Минск, 2016. – 24 с.
8. Бураченко, И. Б. Обнаружение измерительных сигналов в маскирующих шумах высокого уровня / И. Б. Бураченко, В. К. Железняк, А. Г. Филиппович // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2018. – № 4. – С. 2–9.
9. Железняк, В. К. Метод адаптивного маскирования видеокадра маскируемым сигналом / В. К. Железняк, Е. Р. Адамовский // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2019. – № 4. – С. 2–6.
10. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.