

УДК 621.372.8

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА НА ОСНОВЕ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ****Поляков А.В.<sup>1</sup>, Ксенофонтов М.А.<sup>2</sup>, Сахончик Д.Г.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь*<sup>2</sup>*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко БГУ»  
Минск, Республика Беларусь*

Система охраны периметра всегда является первым техническим рубежом защиты объекта; надежность и эффективность этого рубежа очень важна для раннего обнаружения нарушителя. Цели любой охранной системы состоят в раннем обнаружении опасного события, локализации места, времени и характера события, сигнализации о событии, документировании события, инициировании мер, препятствующих развитию события и представлении материалов для профилактики подобных событий в будущем. Проблема охраны периметра представляет собой комплексную задачу, включающую в себя электронные, оптические и визуальные методы контроля и наблюдения [1].

В последнее время с развитием волоконной оптики и оптоэлектронных технологий все большее внимание разработчиков привлекают волоконно-оптические системы охраны периметра. Предложены структуры, принцип действия которых основан на интерференционных методах, регистрации спекл-структуры, использовании волоконных решеток Брэгга. К преимуществам волоконно-оптических систем можно отнести их невосприимчивость к воздействию электромагнитных помех, а также грозовых разрядов, что уменьшает вероятность ложной тревоги. Сенсорные кабели не излучают электромагнитной энергии и их трудно обнаружить с помощью поисковой техники. Привлекательной особенностью систем является отсутствие на периметре активного электронного оборудования; это позволяет снизить расходы на монтаж и обслуживание охранной системы, а также использовать эти датчики на взрывоопасных объектах или под водой. К безальтернативным случаям применения волоконно-оптических технологий в сфере средств безопасности относятся случаи защиты объектов с протяженными периметрами, объектов со сложной электромагнитной обстановкой, объектов в зонах с повышенной грозовой активностью. Предлагаемые на рынке охранные системы предназначены, в основном, для размещения на наземных сетчатых упругих ограждениях. Вместе с тем, многие производители и заказчики проявляют интерес к созданию новых подземных охранных систем на основе волоконно-оптических сигнальных датчиков для защиты подходов к объектам или запретным зонам.

При разработке подземных систем охраны периметра следует учитывать тот факт, что амплитуда и частота воздействий на волоконный световод будут принципиально иными, чем при размещении оптического волокна на упругом сетчатом ограждении. В этом случае требуется разработка специальных методов и средств регистрации вторжения. Существующие волоконно-оптические датчики основаны, как правило, на измерении изменений амплитуды зачастую маломощных оптических сигналов на фоне шумов. Для повышения разрешающей способности было предложено перейти к частотному (временному) представлению измеряемой величины, использующему зависимость времени распространения оптических импульсов в замкнутом оптоволоконном контуре от воздействующих измеряемых физических величин.

Для определения в режиме реального времени места внешнего деформирующего воздействия на контролируемую поверхность и отслеживания перемещения нарушителя по этой поверхности была разработана структура волоконно-оптической подземной системы охраны периметра рециркуляционного типа [2, 3].

Для формирования дискретного набора датчиков используется квазираспределенная оптоэлектронная рециркуляционная система с использованием DWDM-технологии. Принцип действия волоконно-оптических систем рециркуляционного типа основан на том, что нарушитель, пересекающий периметр, создает дополнительные потери оптического излучения за счет поперечных деформаций волоконного световода, что влечет за собой изменение периода рециркуляции оптических импульсов, которое регистрируется с помощью метода время-амплитудного преобразования (ТА) с последующей записью значений амплитуд по каналам многоканального амплитудного анализатора (МАО). Отслеживая характер смещения гистограмм распределения амплитуд, формируемых на разных длинах волн и соответствующих отдельным охраняемым секторам, по каналам МАО, можно пространственно локализовать место нарушения и классифицировать характер этого нарушения (одиночный нарушитель или группа нарушителей). Волоконный кабель разделен на секции длиной 1 км с помощью селективных отражателей, в качестве которых выступают

волоконные брэгговские решетки (ВБР) с различными периодами, способные отражать излучения на разных длинах волн. Устройство выбора на основе спектрального демультимплексирования позволяет выделить отраженный импульс от любой секции. При параллельном опросе зон охраны такая технология позволяет обнаруживать одновременное вторжение на нескольких участках периметра, т. е. предотвращать маскирование реального вторжения на фоне умышленно имитированного сигнала нарушения периметра.

Для волоконно-оптических подземных систем охраны периметра разработана конструкция чувствительных элементов, принцип действия которых основан на возникновении дополнительных потерь оптического излучения при поперечной деформации оптического волокна. Волоконный световод (ВС) укладывается в виде параллельных петель с шагом 20 см на полосы из пенополиуретановых элементов (ПУЭ), которые являются упругой основой и повторяют контур укладки ВС, имеют ширину 1,5 см и толщину 1–1,5 см. Для обеспечения высокой и однородной чувствительности ВС сверху накрывается пластиковой каркасной георешеткой, имеющей диаметр трубки 8 мм.

С помощью разработанной в лаборатории физико-химии полимерных материалов и природных органических соединений НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ под руководством Ксенофонтова М.А. смесительно-заливочной установки и технологии по автоматическому нанесению эластичных пенополиуретанов по заданной траектории были получены несколько образцов упругой основы с различной твердостью по Шору  $Sh_A$ . Результаты экспериментальных исследований величины деформации  $\Delta h$  одномодового кварцевого ВС от массы нарушителя и количества точек деформации представлены на рис. 1.

Разработана математическая модель изменения временных интервалов между циркулирующими импульсами в зависимости от величины деформаций ВС. Данная модель позволяет рассчитать величину дополнительных потерь мощности оптических сигналов в зависимости от радиуса изгиба, угла изгиба, вероятности тунеллирования излучения из сердцевинки в оболочку, параметров самого кварцевого волокна, а также от твердости упругой основы чувствительного элемента и количества точек деформации. С учетом экспериментальных данных, представленных на рисунке 1, на рисунках 2 и 3 приведены результаты моделирования задержки времени распространения оптического импульса при воздействии на одномодовый кварцевый ВС со ступенчатым профилем показателя преломления в зависимости от пиковой мощности излучения полупроводникового инжекционного лазера (ИЛ) при различном ко-

личестве точек деформации для идущего нарушителя массой 60 кг при  $Sh_A=50$  и фронте импульса 5 нс (рис. 2) и для ползущего нарушителя массой 85 кг от твердости ПУЭ при различной пиковой мощности ИЛ и фронте импульса 5 нс (рис. 3).

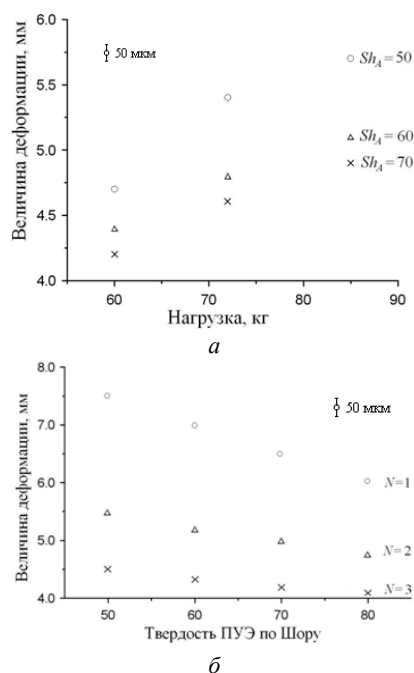


Рисунок 1 – Зависимость деформации ПУЭ  $\Delta h$  от прилагаемой нагрузки при различной твердости ПУЭ для двух точек деформации (а) и от твердости по Шору (А) при одной, двух и трех точках деформации (б)

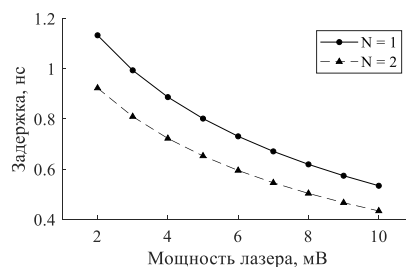


Рисунок 2 – Временная задержка оптического импульса при различном количестве точек деформации для идущего нарушителя

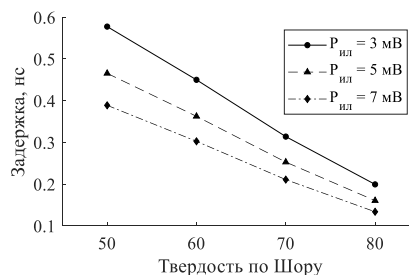


Рисунок 3 – Временная задержка оптического импульса при различных значениях пиковой мощности излучения инжекционного лазера для ползущего нарушителя

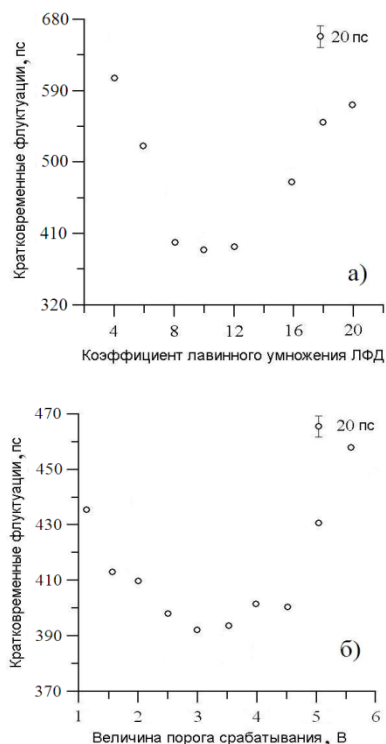


Рисунок 4 – Зависимость кратковременных флуктуаций измеряемых временных интервалов в зависимости от коэффициента лавинного умножения ЛФД (а) и величины порога срабатывания порогового устройства (б)

Согласно представленным на рисунках 2 и 3 результатам, временная задержка лежит в наносекундном и субнаносекундном диапазонах. Измерение таких малых времен осуществлялось с помощью хорошо зарекомендовавшего себя метода время-амплитудного преобразования. Для определения величины кратковременных флуктуаций периода рециркуляции использовались экспериментальная установка и методика измерений, описанная в [4], куда были добавлены перестраиваемый оптический аттенуатор с потерями минус 18 дБ, имитирующий потери мощности излуче-

ния на оптических элементах и при распространении по ВС длиной 20 км (в прямом и обратном направлении), а также малошумящий волоконно-оптический эрбиевый усилитель Lucent 1712 с сонаправленной накачкой на длине волны 980 нм и рабочим интервалом длин волн 1530–1565 нм. Разрешение МАА-ТА составляло 20 пс. На рисунке 4 представлены значения кратковременных флуктуаций на уровне полувысоты гистограмм распределения амплитуд по каналам МАА для различных режимов работы контура при  $P_{\text{ил}} = 3$  мВт,  $\tau_{\text{ф}} = 5$  нс. Как следует из полученных результатов, можно достичь величины кратковременных флуктуаций не более 390 пс, что и будет определять разрешающую способность измерительной системы. В тоже время, согласно рисунку 2, временная задержка для идущего нарушителя будет составлять величину более 850 пс, т. е. наличие нарушения периметра может быть однозначно зафиксировано. Для регистрации ползущего нарушителя, исходя из рисунка 3, твердость используемых ПУЭ не должна превышать  $Sh_A = 60$ .

#### Литература

1. Поляков, А.В. Нейрокомпьютерные и волоконно-оптические технологии, применяемые для охраны периметра / А.В. Поляков, Е.Г. Альгина // Военно-промышленный комплекс. Беларусь. – 2016. – № 1. – С. 60–66.
2. Polyakov, A.V. Fiber-optic perimeter security system based on WDM technology / A.V. Polyakov // Proc. SPIE. – 2017. – Vol. 10433 Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XIV. – P. 10433-401–10433-407.
3. Поляков, А.В. Влияние деформаций волоконного световода на период рециркуляции в оптоэлектронных системах охраны периметра / А.В. Поляков, Д.Г. Сахончик // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2019. – № 2. – С. 112–124.
4. Поляков, А.В. Увеличение скорости передачи данных в протяженных волоконно-оптических информационных системах / А.В. Поляков // Информатика. – 2006. – № 3. – С. 122–127.

УДК 681.944

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Алексеев В.А., Усольцева А.В., Усольцев В.П., Юран С.И.

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова  
Ижевск, Российская Федерация

В настоящее время на ведущее место выходят возможности дизайна устройств и приборов. Грамотный дизайн позволяет добиться максимальной эргономичности изделия, сделать его привлекательным с коммерческой точки зрения. Красивая и продуманная лицевая панель прибора играет в этом исключительную роль [1].

Любая отрасль мировой экономики зависит от материалов и техники, используемых в процессе производства. В приборостроении используются различные материалы. В последнее время большое распространение, с учетом эстетической и экологической точек зрения, получают натуральные материалы [2].