

# РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ПОДЗЕМНОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

Д. Г. Сахончик

*Белорусский государственный университет, г. Минск*

*e-mail: dmitrium.saxon@yandex.by*

*науч. рук. – А. В. Поляков, канд. физ.-мат.наук, доцент*

Представлен вариант конструкции чувствительного элемента для подземной волоконно-оптической системы охраны периметра. Проведено экспериментальное исследование величины деформации волокна в зависимости от твердости пенополиуретановой упругой основы и величины воздействия на оптоволокно идущего и ползущего нарушителя.

**Ключевые слова:** система охраны периметра; чувствительный элемент; деформация волоконного световода

Система охраны периметра всегда является первым техническим рубежом защиты объекта; надежность и эффективность этого рубежа очень важна для раннего обнаружения нарушителя.

Перспективным является использование волоконно-оптических сигнальных датчиков в системах охраны периметра для защиты подходов к объектам или запретных зон. Оптический кабель располагается вдоль границы охраняемого периметра и маскируется защитным покрытием. Сенсорные свойства оптического волокна обусловлены тем, что структура световой волны в волокне чрезвычайно восприимчива к внешним воздействиям, которые могут модулировать амплитуду, фазу, модовый состав (спекл-структуру) или поляризацию волны.

К преимуществам волоконно-оптических систем можно отнести: невосприимчивость к воздействию электромагнитных и радиочастотных помех; сенсорные кабели не излучают электромагнитной энергии; их трудно обнаружить с помощью поисковой техники; отсутствие на периметре активного электронного оборудования.

Принцип действия подземных охранных волоконно-оптических систем основан на том, что нарушитель, пересекающий периметр, создает возмущения определенных физических параметров среды, которые регистрируются специальными датчиками рециркуляционного типа [1; 2]. В результате, такое устройство способно определять в режиме реального времени места внешнего деформирующего воздействия на контролируемую поверхность и отслеживать его перемещения по этой поверхности. Для решения данной задачи необходимо использовать специальную конструкцию чувствительного элемента. Как правило, для обеспечения высокой и однородной чувствительности, оптическое волокно уклады-

вается на резиновые маты и сверху накрывается металлической сеткой [3; 4]. Однако такая конструкция обладает рядом недостатков: с течением времени под воздействием окружающей среды резина теряет свои упругие свойства, вода вперемешку с пылью скапливается вокруг волоконного световода (ВС). Все это ведет к ухудшению чувствительности датчика. Кроме того, металлические детали легко обнаружить с помощью поисковой техники и демаскировать охранную систему.

Для устранения указанных недостатков была разработана новая конструкция чувствительного элемента, представленная на рисунке. В качестве упругой основы использовались полосы эластичного пенополиуретана (ППУ), геометрия которых повторяло контур расположения волоконного световода, сверху укладывалась каркасная двуслойная жесткая экструдированная георешетка из полипропилена с крупной ячеистой структурой 20×20 см, далее – стеклотканевая сетка с ячейками 2×2 мм и маскирующее покрытие. Основанием для всей конструкции служил перфорированный стеклопластик. Шаг укладки оптического волокна и ППУ составляет 20 см, ВС располагается «змейкой», а георешетка устанавливается посередине между витками ВС. Такая конструкция обеспечивает отсутствие «мертвых зон», нечувствительных к внешнему воздействию.

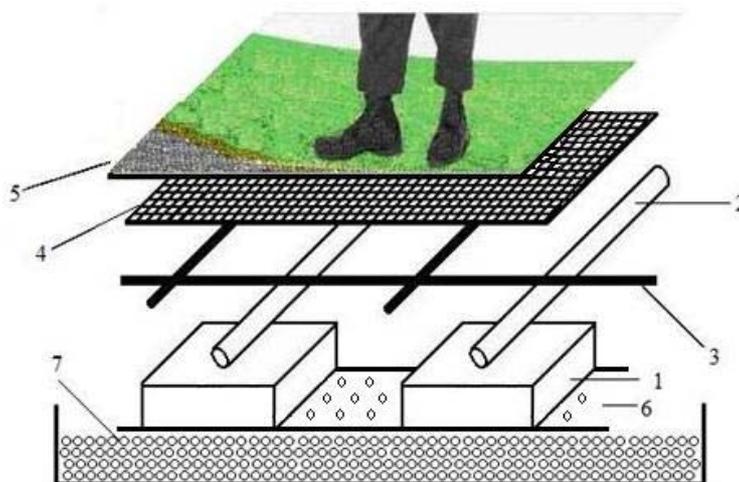


Рис. Конструкция чувствительного элемента волоконно-оптической системы охраны периметра

1 – упругие пенополиуретановые элементы, 2 – волоконный световод, 3 – двуслойная полипропиленовая георешетка, 4 – стеклотканевая сетка, 5 – маскирующее покрытие, 6 – перфорированный стеклопластик в качестве основания, 7 – гравийная подложка

По сравнению с обычно используемыми в качестве упругих элементов резиновыми матами применение полос из эластичного пенополиуретана обладает следующими преимуществами: способен долгое время сохранять упругие свойства, не разрушается под воздействием внешних

условий; негигроскопичен вследствие запекания наружного слоя и плотного прилегания к основанию; не подвергается разрушению под воздействием грызунов и бактерий; удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам; полосы имеют ширину, достаточную, чтобы на них уложить и закрепить оптоволокно, и не закрывают всю площадь охраняемой территории, что уменьшает общую стоимость устройства; остатки воды и мусора скапливаются на стеклопластиковом основании и не влияют на работоспособность системы.

В лаборатории ФХПМиПОС НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработаны смесительно-заливочная установка и технология по автоматическому нанесению эластичных пенополиуретанов с различной твердостью по Шору по заданной траектории. Данная установка позволяют наносить полосы ППУ на лист стеклопластика размером 2,5×2 м с шагом 20 см. Погрешность позиционирования смесительной головки не превышает 1 мм. Скорость заливки равна 15 см/с, таким образом, время заливки стандартного листа составляет 3 мин. Твердость упругого элемента варьируется подбором типа полиэфира, соотношением между полиэфирами и изоцианатами, маркой отвердителя.

Проведены экспериментальные исследования величины деформации  $\Delta h$  многомодового волоконного световода, расположенного на пенополиуретановом упругом элементе (ПУЭ) в зависимости от упругих свойств элемента, количества точек деформации и действующей нагрузки. Толщина ПУЭ  $h=1,5$  см, ширина  $l=1$  см, расстояние между полосами 20 см, диаметр трубки каркасной георешетки 8 мм. Твердость различных образцов ПУЭ определялась в единицах по Шору (А). Результаты экспериментов для одной  $N=1$  и двух точек деформации  $N=2$  ВС представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Величина деформации ВС при различных нагрузках для разной твердости ПУЭ**

Нагрузка, кг	Твердость по Шору, $Sh_A=50$		Твердость по Шору, $Sh_A=60$		Твердость по Шору, $Sh_A=70$	
	$N=1$	$N=2$	$N=1$	$N=2$	$N=1$	$N=2$
60	6,6 мм	4,7 мм	6,2 мм	4,4 мм	6,0 мм	4,2 мм
72	7,1 мм	5,4 мм	6,6 мм	4,8 мм	6,3 мм	4,6 мм
85	7,5 мм	5,7 мм	6,9 мм	5,1 мм	6,5 мм	4,9 мм

В [5] из экспериментальных данных получена эмпирическая формула, связывающая твердость по Шору с модулем Юнга при сжатии полиуретана:

$$E = 0,02Sh_A + \frac{Sh_A^4}{2,55 \cdot 10^6}, [\text{МПа}].$$

Результаты экспериментов для одной  $N=1$ , двух  $N=2$  и трех точек  $N=3$  деформации (что соответствует идущему нарушителю), представлены в таблице 2. Воздействующая масса составляла 85 кг.

Для ползущего нарушителя массой 85 кг деформация ВС составляла 0,15–0,3 мм в зависимости от твердости ПУЭ. Все измерения проводились цифровым микрометром Mitutogo, обладавшим в диапазоне измерений 0–25 мм погрешностью 1 мкм.

Таблица 2

**Величина деформации при различной твердости пенополиуретана**

Твердость по Шору $Sh_A$	Модуль Юнга $E$ , МПа	Одна точка деформации, мм	Две точки деформации, мм	Три точки деформации, мм
50	3,5	7,5	5,7	4,5
60	6,3	6,9	5,1	4,3
70	10,8	6,5	4,9	4,2
80	17,7	6	4,8	4,1

Таким образом, разработана новая конструкция чувствительного элемента для подземных волоконно-оптических систем охраны периметра. Проведены экспериментальные исследования величины деформации волокна в зависимости от твердости пенополиуретановой упругой основы и величины воздействия на ВС для идущего и ползущего нарушителя. Показана эффективная возможность использования данной конструкции в комплексах периметровой охраны.

#### Библиографические ссылки

1. Поляков А. В. Частотная волоконно-оптическая измерительная система // Датчики и системы. 2008. № 1. С. 29 – 32.
2. Ксенофонтов М. А., Поляков А. В. Волоконно-оптический датчик рециркуляционного типа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 3. С. 32–35.
3. Кульчин Ю. И. [и др.] Оптоэлектронная распределенная сигнальная система // Измерительная техника. 2005. № 7. С. 28–32.
4. Введенский Б. С. Системы охраны периметра // Техника защиты. 2011. №5. С. 37–40.
5. Яковлев С. Н. О некоторых физических свойствах конструкционных полиуретанов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. 2013. №20. С. 78–80.