УДК 621.372.2

ВИБРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

VIBRATION INTRUSION DETECTION SYSTEMS

Д-р техн. наук В.А. Минаев, д-р техн. наук М.П. Сычев, Д.В. Севрюков, В.А. Дудоладов

DPhil V.A. Minaev, DPhil M.P. Sychev, D.V. Sevryukov, V.A. Dudoladov

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассматриваются принципы действия вибрационных систем обнаружения (ВСО) вторжений, основанные на применении электронных сетей и обеспечивающих обнаружение изменений тока, напряжения или частоты в пространстве охраны объекта. Описаны характерные особенности «классических» кабельных ВСО, ВСО на основе микроэлектромеханических сенсоров (МЭМС-сенсоров), оптоволоконных систем, обеспечивающих обнаружение вибрационных сигналов при попытках разрушения заграждений периметров разрушающим инструментом и их преодолении с помощью лестниц. Сравниваются характеристики видов ВСО при блокировании ими заграждений различного типа.

Ключевые слова: периметровая система охраны, обнаружение, нарушитель, вибрационные средства, емкостные средства, чувствительный элемент, МЭМС-сенсор, оптоволоконные системы.

The article discusses principles of vibration intrusion detection systems (VIDS) operation based on the use of electronic networks and allows the detection of changes in current, voltage or frequency in the object protection space. Characteristic features of the «classic» cable VIDS, VIDS on the basis of microelectromechanical sensors (MEMS-sensors), fiber-optic systems for the detection of vibration signals when attempting destruction of perimeters barriers by destructive tool and overcome them with the help of ladders are described. Comparative analysis of characteristics of different VIDS using different barriers provided.

Keywords: perimeter protection system, detection, intruder, vibrating means, capacitive means, sensing element, MEMS-sensor, fiber optic systems.

Введение

«Классические» системы обнаружения вторжений характеризуются, как правило, следующими признаками:

– использование в их основе одного физического принципа: емкостный, виброэлектрический, пьезоэлектрический, микроволновый и т.п.;

– принципиальная схема построена, исходя из основных законов электродинамики, и обеспечивает регистрацию изменения либо тока, либо напряжения, либо частоты сигнала;

– однозначное приложение (либо для блокирования помещений, либо для блокирования заграждений, редким исключением выступает емкостная система обнаружения (СО) «Ромб – 12МП» [1]).

По совокупности характеристик среди множества типов СО вибрационные выделяются в лучшую сторону, благодаря такому качеству, как невозможность обнаружения их размещения на рубеже охраны средствами электронной (радиотехнической) разведки.

С помощью ВСО решаются задачи обнаружения попыток преодоления охраняемого рубежа

путем разрушения или перелезания через различные типов заграждений, а также подкопа под ними. Размеры зоны обнаружения ВСО ограничены размерами контролируемого заграждения, не требуя выделения специальной «зоны отчуждения».

ВСО могут устанавливаться на различных заграждениях (по периметру охраняемого объекта либо на протяженных рубежах) и осуществлять их сигнализационное блокирование. Принцип действия ВСО основан на регистрации вибраций, возникающих при воздействии нарушителя на кабельный чувствительный элемент (ЧЭ) в процессе вторжения в охраняемую зону, с последующим выделением «чистого» тревожного сигнала из множества помех, вызванных природно-климатическими, индустриальными и иными факторами.

ВСО являются всепогодными, важнейший фактор их конкурентоспособности — минимальная «погонная стоимость» (в пересчете на 1 м блокируемого периметра) и сигнализационная надежность. Именно эти характеристики в совокупности обусловили наибольшее распространение именно вибрационных СО на мировом и отечественном рынке технических средств охраны (ТСО).

ВСО построенные на трибоэффекте

В традиционных ВСО используется трибоэффект либо контактная электризация, обработка сигнала осуществляется в блоке обработки (БОС), структурная схема которого представлена на рис. 1.

К настоящему времени разработаны схемы электрометрических усилителей, которым присущи:

– высокое входное сопротивление ($10^9 – 10^{12}$ Ом);

– минимальный уровень регистрируемого изменения тока, возникающего при деформации кабельного ЧЭ от воздействия нарушителя ($\Delta I = 10^{-14}$ А);

– характеристики не зависят от изменения погодных параметров (температуры, давления, влажности).

Функционирование ВСО с кабельным ЧЭ основано на перераспределении зарядов в кабеле при воздействии на него нарушителя (электроны под воздействием электростатического поля заряда $+Q$ мгновенно перемещаются из одного металлического проводника трибокабеля через воздушный зазор ($R = \infty$) во второй проводник, рис. 2). Следует отметить, что в некоторых зарубежных

Рис. 1. Структурная схема «классического» ВСО: 1 — блок питания; 2 — входной модуль (фильтры, электрометрический усилитель (ЭМУ); 3 — компаратор

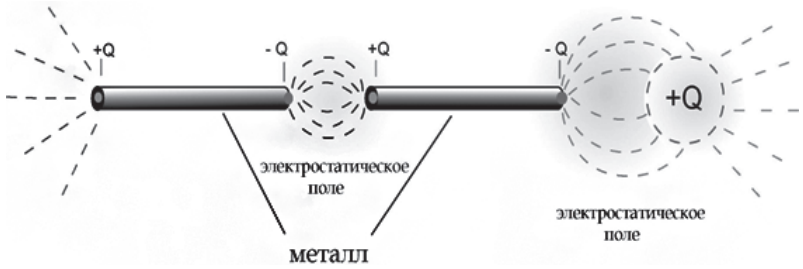

Рис. 2. Схема перераспределения зарядов в кабельном ЧЭ

системах (например, английской «Defensor» [2]) практикуется использование микрофонного эффекта в сенсорном кабеле GDALPHA, который прикрепляется к ограде (металлической, кованой, тяжелых деревянной или пластиковой) и регистрирует ее колебания.

Полупроводниковые радиоэлементы (транзисторы, микросхемы — обычные и с полевым входом) в кабельных ВСО управляются изменением напряжения ΔU, возникающим при деформации кабельного ЧЭ от воздействия нарушителя (величина такого изменения может достигать 1 мВ, что вполне достаточно для управления микросхемой с полевым входом и во много раз превышает уровень собственных шумов микросхемы).

Кабельные чувствительные элементы ВСО могут быть смонтированы на сетчатых заграждениях (рис. 3), а также в металлических (пластмассовых) трубах внутри защищаемых конструкций.

При помощи ВСО обеспечивается обнаружение попыток разрушения стен, перегородок зданий и сооружений, железобетонных, кирпичных, металлических и деревянных заграждений периметров при возникновении вибрации, создаваемой любым разрушающим инструментом (молоток, дрель, болгарка, ножовка и пр.), а также возникающей при преодолении с помощью лестниц и в целом ряде случаев — при осуществлении подкопа.

Современные ВСО с кабельным ЧЭ применяются для блокирования следующих типов заграждений [3]:

– плетеная (витая) металлическая сетка типа «рабица»;

Рис. 3. Внешний вид сетчатого заграждения ВСО

– сварная металлическая сетка типа ССЦП (с толщиной полотна не более 6 мм);

– колючая проволока;

– плоская и объемная армированная колючая лента (типа АКЛ, Егоза);

– заграждения из тонкого (до 1 мм) металлического листа, «гофролиста»;

– монолитные заборы (бетонные, кирпичные), а также деревянные заборы и металлические решетки;

– сварные решетки из металлических прутьев;

– каркасные металлические ограды.

ВСО применяются и для блокирования козырьков.

Точность определения места вторжения — 250–500 м, диапазон рабочих температур — от – 50 до + 50°С.

Благодаря использованию интерфейса RS-485 возможна подстройка параметров ВСО с центральной станции.

Среди российских организаций-разработчиков ВСО с кабельным ЧЭ наиболее известны ФЦНВТ «СНПО Элерон», НПК «Дедал», НИКИРЭТ, Полисервис.

Кратко охарактеризуем два ВСО, работающих по принципу трибоэффекта.

Так, в ВСО «Годограф – Универсал», помимо вибрационного кабельного чувствительного элемента (ВЧЭ), используется сейсмический чувствительный элемент (СЧЭ), который устанавливается в грунт на открытой местности вдоль заграждений. К электронному блоку СО могут быть подключены 2 комплекта сейсмического ЧЭ и 2 — вибрационного ЧЭ.

В зависимости от подключаемых ЧЭ возможно обнаружение нарушителя, движущегося по поверхности грунта, а также преодолевающего заграждение путем перелезания, разрушения или подкопа. Принцип работы основан на преобразовании механических колебаний заграждения и/или колебаний грунта в электрические сигналы с последующей обработкой сигналов и передачей сигнала срабатывания на систему сбора и обработки информации. Можно создавать до двух рубежей охраны по 250 м каждый.

Для ВСО «Дельфин-М» характерны:

– экономичность (энергопотребление в диапазоне питающих напряжений 10–30 В — не более 80 МВт).

– высокая эксплуатационная надежность;

– защита входных и выходных цепей от перенапряжений, возникающих в протяженных кабельных линиях связи и питания;

– использование различных исполнений СО с повышенными защитными свойствами за счет оснащения заграждений дополнительными защитными элементами в виде козырьков из сетки, плоских и спиральных барьеров безопасности из армированной колючей ленты.

Вибрационные системы обнаружения на основе МЭМС-сенсоров

За последние годы получили распространение инерционные датчики (акселерометры), основанные на МЭМС. Самыми популярными из них являются датчики движения (датчики ускорения, датчики поворота), которые наиболее часто используются в телефонах, коммуникаторах, игровых приставках, фотокамерах и ноутбуках [4]. Популярность данных устройств обусловлена простотой использования, относительно низкой ценой и малыми габаритами.

Конструктивные особенности МЭМС-датчиков обеспечивают их высокую надежность и стабильные характеристики в достаточно жестких условиях окружающей среды (перепады температур, удары, влажность, чрезмерная вибрация, электромагнитные и высокочастотные помехи).

Совокупность указанных преимуществ побуждает разработчиков широко применять МЭМС-сенсоры в различных современных технических средствах и системах.

Так, функционирование акселерометра основано на измерении перемещения груза закрепленного в упругом подвесе [5]. Отклонение груза от его первоначального положения при наличии ускорения несет информацию о его величине. В зависимости от конструктивного исполнения акселерометры позволяют измерять ускорение вдоль одной, двух и трех осей. Важнейшей частью акселерометров является детектор перемещений, способный измерять микроскопические амплитуды вибрационных колебаний или линейных ускорений.

Параметры, измеряемые акселерометрами, можно сгруппировать в следующие группы измерений:

– вибрации колебательных движений относительно положения равновесия;

– ударных ускорений (в результате взрывов, ударов, столкновений);

– медленных перемещений со скоростью от доли секунды до нескольких минут, например, перемещение руки робота, подвески автомобиля или иного объекта.

С начала 2010-х годов практикуется использование акселерометров в качестве чувствительных элементов в технических средствах, предназначенных для охраны отдельно стоящих предметов, контейнеров и др. Охранные точечные инерционные радиоканальные извещатели оснащены 3D-акселерометрами, благодаря которым фиксируются перемещения и наклоны предметов, на которых они закреплены.

Появились периметровые СО (извещатели) на базе акселерометров. Они характеризуются миниатюрностью, малым потреблением энергии, высокой технологичностью и низкой себестоимостью.

Рассмотрим три наиболее распространенные ВОС на основе МЭМС-сенсоров.

В системе обнаружения на основе ВСО «Аркан» [6] чувствительный элемент (акселерометр) скрытно устанавливается внутри опор, позволяя выявить нарушителя, пытающегося преодолеть ограждение путем его разрушения или перелезания через него [3, 7].

Система может включать до 255 чувствительных элементов, формирующих примыкающие друг к другу локальные зоны обнаружения, образуя непрерывный рубеж охраны (рис. 4).

Модуль чувствительного элемента (МЧЭ) включает акселерометр (собственно чувствительный элемент), блок обработки и кодирования информации, приемо-передающее устройство, антенну и элементы питания (рис. 5). Каждый модуль, устанавливаемый внутри опоры ограждения, способен контролировать участок ограждения протяженностью до 100 м. Сообщения о попытках преодоления периметра и о работоспособности ЧЭ передаются по радиоканалу на блок сбора и обработки информации (БСОИ), расположенный в помещении охраны. В состав БСОИ входит пара приемо-передающих антенн, модуль приемо-передатчика, устройств обработки, кодирования и отображения информации, а также узла сопряжения с персональным компьютером.

Определение места преодоления периметра обеспечивается с точностью до размера шага

Рис. 4. Построение системы охраны периметра на основе ВСО «Аркан»

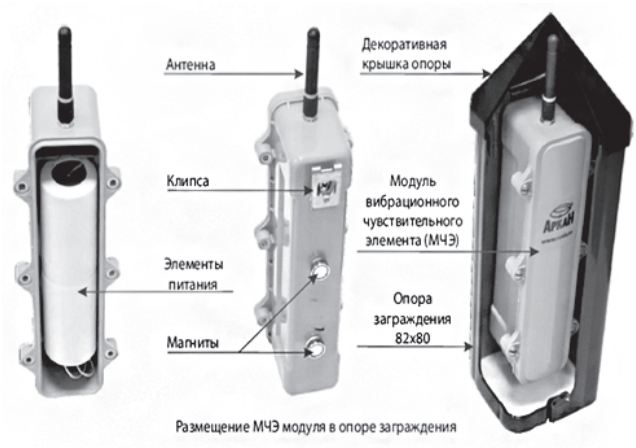

Рис. 5. Размещение МЧЭ в опоре заграждения

установки МЧЭ. Настройка производится с учетом реальных факторов помех в конкретном месте установки ограждения. Регулировка каждого МЧЭ и всей системы в целом производится удаленно по радиоканалу из точки установки БСОИ.

На основе аппаратуры ВСО «Аркан» разработана ВСО «Препона-А – Универсал», в которой могут использоваться акселерометр либо кабельный ЧЭ (для сетчатого и бетонного заграждений).

Система T-REX 6000 предназначена для обеспечения безопасности периметра объекта вне зависимости от типов используемых инженерных средств охраны и рельефа. Обеспечивается обнаружение нарушителя при попытке преодоления или разрушении элементов конструкции ограждения. Высокочувствительные датчики системы SL-6000 (рис. 6) являются всенаправленными, монтируюсь на кабеле, закрепляемом на ограждении по всей длине защищаемого периметра. При их установке не требуется их специальная юстировка.

Для компенсации воздействий погодных условий окружающей среды, таких как ветер, дождь, снег, град, и минимизации числа ложных срабатываний в комплект системы входит специализированная метеостанция, которая передаёт блоку обработки сигнала данные о текущем состоянии указанных воздействий. Данные от метеостанции оцифровываются и применяются для селекции тревожных сигналов на фоне помех, обусловленных погодными условиями. Чувствительность по каждой зоне блока обработки корректируется в отдельности.

Извещатель охраны периметра (ИОП) ВСО «ТОПОЛЬ» предназначен для работы в составе автономной или интегрированной системы охраны объектов зоны, отчужденной ограждением из деревянных, кирпичных, монолитных бетонных заборов или гибких сетчатых ограждений, а также поверхностей стен и других зон отчуждения. В качестве ЧЭ могут использоваться как трибоэлектрический кабель, так и электромеханические вибрационные датчики.

В зависимости от типа используемого ЧЭ извещатель комплектуется:

– ИОП-Т — коаксиальным трибоэлектрическим кабелем, регистрирующим механические колебания по всей длине ограждения;

– ИОП-В — электромеханическими вибрационными датчиками (ВД), регистрирующими локальные механические колебания и деформации ограждений и стен.

Зона чувствительности одного ВД — окружность радиусом до 2,5 м. Возможно подключение до 40 датчиков на одну линию без искажения АЧХ сигнала.

Оптоволоконные ВСО

В оптоволоконных ВСО под действием вибрации в ЧЭ происходит изменение параметров распространяющегося ИК-излучения, генерируемого лазером и регистрируемого фотоприемником. В одномодовых КЧЭ, как правило, используется принцип двухлучевой интерферометрии (с опорным плечом), позволяющий идентифицировать место нарушения по времени прихода

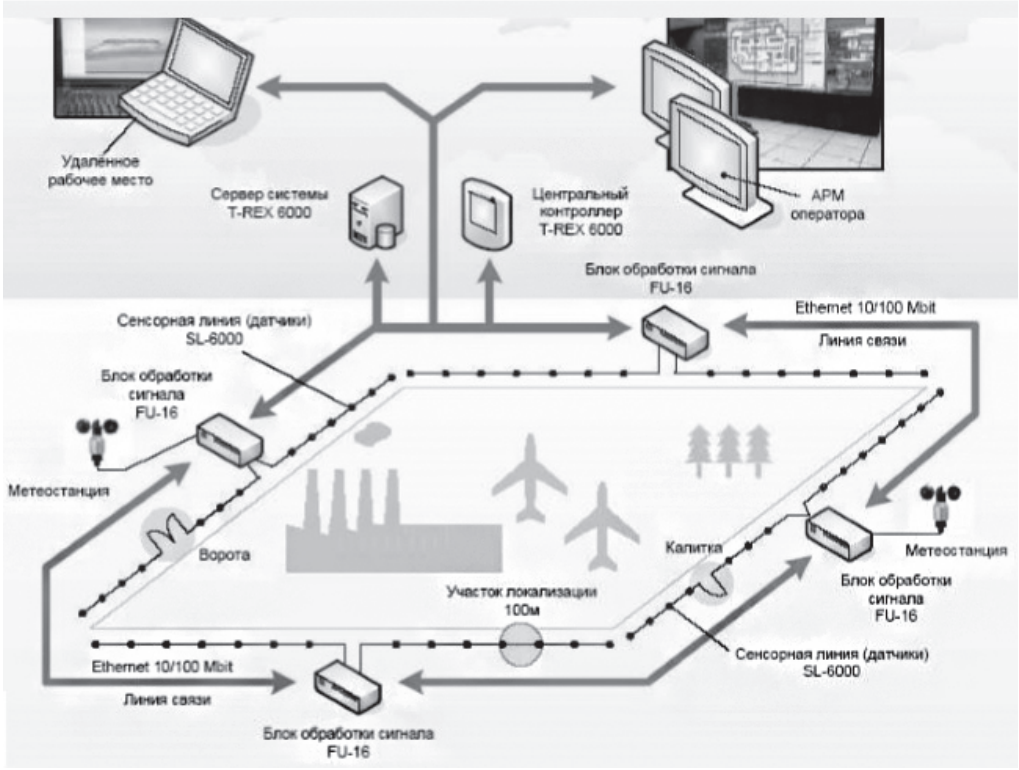

Рис. 6. Структурное построение системы T-REX

отклика. В длину периметр охраны достигает 50 км вследствие низкого затухания лазерного сигнала. В многомодовом оптоволокне регистрируются, как правило, изменения в пространственной структуре излучения (распределения темных и светлых пятен).

Системы распределенных волоконно-оптических датчиков могут применяться для охраны протяженных рубежей (до 100 км), обеспечивая низкий уровень ложных срабатываний. При этом обеспечивается определение места нарушения периметра (рубежа) с требуемой точностью.

За рубежом примером реализации системы распределенных датчиков для охраны периметра является американская «Fiber Fence-2000». Принцип ее действия основан на оптической рефлектометрии. Максимальная протяженность охраняемого периметра составляет 80 км. Система используется совместно с оградой. В системе предусмотрена привязка охранной системы к карте местности, сигнал тревоги отображается на мониторе с указанием места вторжения.

Из российских разработок следует отметить оптоволоконные системы обнаружения «Ворон» (известна с 2000-х годов) и «Сокол ПВ», предназначенные для сигнализационного блокирования протяженных (до 50 км) периметров и рубежей. Система «Сокол ПВ» обеспечивает раннее обнаружение нарушителя (до момента преодоления ограждения), фиксирует попытки переброса материальных ценностей и преодоления ограждения посредством пролома, подкопа, перелезания.

Важными преимуществами оптоволоконных ВСО является полная электромагнитная невосприимчивость и значительная потенциальная длина зоны обнаружения.

В то же время нужно отметить и их недостатки. В частности, ремонт, особенно в полевых условиях, достаточно дорог, требуя высокой квалификации обслуживающего персонала. При повреждении защитного покрытия оптоволокно быстро «набирает» влагу и утрачивает прозрачность. При высокой летней температуре оптоволоконный ЧЭ подвержен неупругому линейному расширению и, следовательно, начинает «болтаться» при небольшом ветре, вызывая ложные тревоги. Чтобы избежать подобных негативных воздействий, применяются модули компенсации погодных условий, оснащенные датчиками скорости ветра и датчиками осадков.

Выводы

Защита от злонамеренных вторжений на охраняемые объекты — комплексная задача, эффективное решение которой связано с правильным выбором охранной системы в сочетании с физическими барьерами, затрудняющими проникновение на объект. Очевидно, что среди множества современных периметральных охранных систем невозможно выделить универсальную, оптимальную со всех точек зрения.

При выборе систем обнаружения применительно к российским условиям нужно учитывать такие факторы, как климатические условия (сезонные колебания температуры, сильные ветровые напоры и разнообразные осадки — ледяные дожди, ливни, иней, град, туманы, высокий снежный покров и т.п.), так и возможность выделения полосы отчуждения, рельеф местности, особую растительность, специфику функционирования находящихся вблизи железных или автомобильных дорог и др.

Специфика проектирования и эксплуатации периметральных систем связана с разнообразием учитываемых факторов, требующих высокой квалификации проектировщиков и эксплуатирующего персонала, их умения оптимально выбирать технические средства охраны во всем их современном многообразии, в котором сегодня вибрационные системы охраны занимают особое, перспективное место. При этом огромное значение в предупреждении и пресечении нарушений имеют уровень развития современных систем и средств обработки информации [8] и уровень подготовки кадров специалистов в области безопасности [9, 10].

Литература

1. Минаев В.А., Сычев М.П., Севрюков Д.В., Филиппов Д.Л. Современные емкостные средства обнаружения вторжений // Спецтехника и связь. 2016. № 3. С. 17–21.

2. Вибрационная периметральная система Defensor фирмы GEOQUIP (Англия). Электронный ресурс: http://www.centers.ru/catalog/perimeter/geoquip/defensor/ Режим доступа 12.01.2017.

3. Дудоладов В.А., Филиппов Д.Л., Севрюков Д.В. О современных вибрационных периметровых средствах обнаружения // Мир и безопасность. 2015. № 2. С. 36–41.

4. Чаплыгин А., Навценя А. Возможности инерционных датчиков в извещателях нового класса // Мир и безопасность. 2015. № 3. С. 18–24.

5. Туманов А.В., Зуев А.Г., Суханов Э.Д. Методы телеуправления и самонаведения в системах управления крылатыми ракетами / Учебное пособие. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. С. 122.

6. Громадин Ю.В. Охранно-защитная инженерно-техническая система (комплекс) нелетального электрошокового воздействия «СНЭВ» // Вопросы оборонной техники. Серия 16. 2013. Вып. 3–4. С. 89–96.

7. Патент на полезную модель № 164841 «Вибрационная система обнаружения со скрытой установкой чувствительного элемента» заявка № 2013143497, зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 30.08 2016 г.

8. Фисун А.П., Скрыль С.В., Дворянкин С.В. и др. Информатика. Средства и системы обработки данных / Учебник для курсантов и слушателей образовательных учреждений высшего профессионального образования МВД России. Издание 2-е, расширенное и дополненное. Том. 2. Средства и системы обработки данных. Серия «Информатика и информационная безопасность». — М.: Издательство «Маросейка». 2008. 544 с.

9. Минаев В.А. Кадровые ресурсы органов внутренних дел: современные подходы к управлению. — М.: Академия МВД СССР. 1991. 163 с.

10. Минаев В.А., Шабанов Г.А. Мониторинг вузов: работа над ошибками // Высшее образование сегодня. 2013. № 1. С. 5–10.