

На правах рукописи

Петров Андрей Юрьевич

**Повышение эффективности охранных радиотехнических средств обнаружения путем применения алгоритмов обработки, основанных на использовании отличительных признаков принимаемых сигналов и помех.**

Специальность 05.12.04 — Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2002

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор **Макаров С. Б.**

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор Цикин Игорь Анатольевич,

кандидат технических наук Радченко Николай Николаевич.

Ведущая организация

Военный Университет Связи (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится 24 декабря 2002 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д **212.229.01** в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан “ 21 ” ноября 2002 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Водоватов И.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность проблемы*

Непрерывно возрастающая необходимость защиты производственных, коммерческих и финансовых учреждений требует постоянного повышения эффективности технических средств обнаружения незаконных проникновений в охраняемую зону. Общая эффективность охранных систем обнаружения определяется сочетанием высокой вероятности обнаружения, помехоустойчивости и надежности с низкой стоимостью и минимальными расходами на обслуживание. Устройства обнаружения, называемые в работе извещателями, стоят на входе всех охранных систем, что обуславливает широту их применения.

Извещатели охранных систем могут содержать несколько обнаружителей, в том числе использующих различные физические принципы работы. В настоящее время наиболее часто используются радиоволновые доплеровские обнаружители (РВО), оптико-электронные инфракрасные обнаружители (ИКО) и акустические обнаружители разрушения стеклянных конструкций (АОРС). В работе рассматриваются все три типа обнаружителей.

В условиях большого разнообразия специфических помех, в том числе намеренно создаваемых, пороговые алгоритмы обработки сигналов, используемые в применяемых на сегодняшний день обнаружителях, недостаточно эффективны по соотношению вероятности регистрации истинного сигнала в присутствии различного рода помех к вероятности ложных срабатываний.

В работе задача повышения вероятности обнаружения в условиях помех достигается на основе использования алгоритмов обработки, полученных с учетом оценок характеристик принимаемого сигнала по предварительно выявленным в результате исследований и заложенным в алгоритм признакам, по которым истинный сигнал отличается от помех. Реализация таких алгоритмов обнаружения предполагает использование микроконтроллеров с АЦП, которые способны быстро анализировать как временные, так и спектральные характеристики сигналов. Обработка сигналов и помех может одновременно включать в себя анализ их формы, динамики изменения, временной последовательности событий, спектральных и временных характеристик и т.д. Достаточно большая память позволяет одновременно использовать микроконтроллеры не только для селекции сигналов и помех, но также для самоконтроля работоспособности устройств и для их самонастройки на требуемый режим работы.

Выбор, используемых при построении алгоритмов, признаков, по которым истинные сигналы отличаются от помех, целесообразно осуществлять, работая с адекватными компьютерными моделями истинных сигналов или же с банком эталонных сигналов, записанных в ходе натуральных экспериментов.

**Целью работы** является повышение эффективности радиоволновых, инфракрасных и акустических средств обнаружения, включая повышение их обнаруживающей способности и помехозащищенности, в условиях воздействия совокупности помех, в том числе близких по форме к истинным сигналам, путем использования методов и алгоритмов обработки, основанных на селекции и комбинированном использовании отличительных признаков регистрируемых истинных сигналов.

Для достижения указанной цели требуется решить следующие задачи:

- Провести анализ основных принципов построения радиоволновых, инфракрасных и акустических обнаружителей для выявления возможности создания единого подхода, выбора общих технических характеристик и структуры обнаружителей.
- Создать модели и банки экспериментальных истинных сигналов; проанализировать характеристики истинных сигналов и помех с целью выявления у них отличительных признаков, пригодных для использования в алгоритмах обработки, повышающих эффективность обнаружителей.
- Разработать и провести экспериментальные исследования методов и алгоритмов обнаружения и оценить эффективность применения алгоритмов обнаружения.
- Разработать методы и алгоритмы самотестирования обнаружителей и осуществить аналоговую, программную и техническую реализации алгоритмов.

**Научная новизна** результатов исследований состоит в следующем:

- Предложены модели сигналов для доплеровского радиоволнового обнаружителя применительно к многоточечному объекту отражения. Показано, что расширение спектра доплеровского сигнала обусловлено девиациями скорости движения объекта.
- Создан компьютерный банк реализаций акустических сигналов, возникающих при разрушении различных стекол большинством из возможных на практике способов. Предложена методика использования этого банка данных для разработки, совершенствования и тестирования акустических обнаружителей разрушения стекла,

включающая методику предсказания сигналов для адекватного звукового воспроизведения.

- Разработаны и реализованы для доплеровских радиоволновых, инфракрасных и акустических обнаружителей алгоритмы обработки сигналов, позволяющие по выявленным отличительным признакам эффективно отделять истинный сигнал от разнообразных помех, включая намеренно созданные.
- Разработаны и реализованы для доплеровских радиоволновых, инфракрасных и акустических обнаружителей методы самотестирования и контроля работоспособности.

***На защиту выносятся следующие положения:***

1. Использование выявленных отличительных признаков сигналов и помех в радиоволновых обнаружителях в сочетании с алгоритмом накопления числа периодов доплеровского сигнала со списанием единицы позволяет:

- на несколько порядков снизить вероятность ложных тревог;
- исключить ложные тревоги, вызываемые маломерными летающими объектами;
- регистрировать прерывистые движения объекта (человека).

2. Разработанная система самоконтроля радиоволновых обнаружителей, использующая эффект модуляции полупроводникового диода, стоящего на входе приемно-передающего модуля, позволяет контролировать работоспособность всех трактов, контролировать изменение дальности обнаружения и определять маскирование обнаружителя.

3. Использование выявленных отличительных признаков сигналов и помех в инфракрасных обнаружителях в сочетании с использованием алгоритма обработки с динамическим порогом позволяет:

- обеспечить устойчивость к электромагнитным импульсным помехам без применения экранирования;
- применить процедуру накопления двух-трех импульсов, что на 2-3 порядка снижает вероятность ложных тревог.

4. Использование выявленных отличительных признаков сигналов и помех в акустических обнаружителях разрушения стекла позволяет повысить вероятность обнаружения разрушений стеклянных поверхностей, включая трудно регистрируемые безударные разрушения, с 57% до 92%.

### ***Практическая ценность работы***

- Разработаны эффективные, помехоустойчивые, самодиагностируемые охраняемые извещатели, использующие РВО, ИКО и АОРС, в которых улучшение характеристик достигнуто благодаря применению алгоритмов обработки, использующих отличительные признаки сигналов и помех.
- Обнаруживающая способность и помехоустойчивость РВО доведена до уровня, позволяющего использовать их в качестве одинарных извещателей, которые выпускаются серийно - «Аргус-2», «Волна-5», «Аргус-3».
- Разработаны высокоэффективные РВО, предназначенные для работы в комбинации с ИКО. Извещатели такого типа «Сокол -2» и «Сокол-3» выпускаются АО «Аргус-Спектр» с 2000 года.
- Эффективность обработки сигналов и помех в ИКО доведена до уровня, позволившего существенно повысить помехоустойчивость и обнаруживающую способность по сравнению с ИКО предыдущего поколения. Такие обнаружители применяются в совмещенных ИКО-АОРС извещателях «Сова-2» и «Сова-3», выпускаемых АО «Аргус-Спектр» с 2001 года.
- Разработано новое поколение АОРС, способных регистрировать разрушение стекол разных типов и размеров большинством из возможных на практике способов, в том числе на фоне помех – как случайных, так и преднамеренных. Акустический извещатель «Арфа», выпускаемый серийно с 1998 года, по обнаруживающей способности и помехоустойчивости значительно превосходит зарубежные АОРС нового поколения.

Практическое использование результатов работы подтверждается Актом внедрения АО "Аргус-Спектр" № 23 от 11 ноября 2002 г.

### ***Методы исследования***

Для решения поставленных задач использовались методы спектрального анализа, математического моделирования, экспериментального исследования, цифровой обработки, программной реализации алгоритмов обнаружения.

### ***Апробация работы***

Основные результаты работы докладывались на межрегиональной научно-технической конференции «Информационная безопасность регионов России» (Санкт-Петербург, 1999 г.); межрегиональной научно-технической конференции «Информа-

ционная безопасность регионов России» (Санкт-Петербург, 2000 г.); всероссийской научно-практической конференции «Охрана-99» (Воронеж, 1999г.); международной научно-технической конференции «Electronics and Radiophysics of Ultra-High Frequencies» (Санкт-Петербург, 1999г.). По теме диссертации опубликовано 13 работ.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка литературы. Текст диссертации содержит 155 машинописных страниц, 62 рисунка и 5 таблиц. Список литературы включает 86 наименований.

### **Вклад автора в разработку проблемы**

Научные положения, теоретические выводы, практические рекомендации, расчеты и математическое моделирование разработаны автором самостоятельно.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается применением общепризнанных методик определения временных и частотных характеристик сигналов; использованием аппарата теории вероятностей и случайных процессов, математической статистики при получении аналитических результатов; достоверность этих результатов и результатов моделирования подтверждается натурными экспериментами.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность работы, формулируются цель и задачи исследований, представляются положения, выносимые на защиту, характеризуются научная новизна и практическая ценность работы.

В **первой главе** проведен анализ основных принципов построения РВО, ИКО и АОРС, определен единый подход к выбору общих технических характеристик и структуры обнаружителей. Извещатели, включающие РВО, ИКО и АОРС, могут быть представлены единой обобщенной схемой, которая приведена на рис.1.

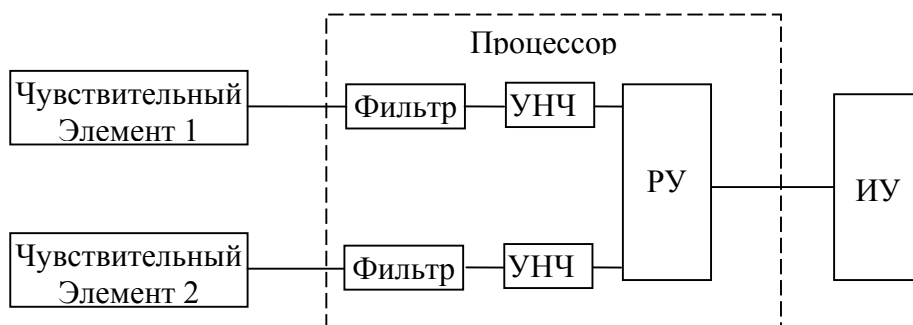


Рис.1. Структурная схема охранного извещателя: УНЧ – усилитель низких частот, РУ - решающее устройство, ИУ - исполнительное устройство.

Чувствительным элементом является датчик, который преобразует входной сигнал определенной физической природы в выходной электрический сигнал низкой частоты, содержащий полезную информацию. Выделение и обработка полезной информации осуществляются с помощью процессора.

Обнаружителем является совокупность структурных элементов, начиная с чувствительного элемента и заканчивая решающим устройством. Извещателем является одинарный обнаружитель или совокупность обнаружителей (на рис. 1 – два обнаружителя), работающих на одно исполнительное устройство.

Основными характеристиками качества обнаружителей являются чувствительность и помехозащищенность. Чувствительность (помехозащищенность) представляет собой численное значение контролируемого параметра, при достижении которого обнаружение происходит (не должно происходить) с наперед заданной вероятностью. Для РВО и ИКО контролируемым параметром является расстояние перемещения объекта обнаружения (человека) до момента обнаружения. Максимальное значение этого расстояния называется пространственной чувствительностью, а минимальное - пространственной помехозащищенностью.

Охранные системы работают в режиме длительного ожидания, во время которого вероятны ложные срабатывания, вызываемые разнообразными помехами. У каждого из рассматриваемых обнаружителей имеются как общие источники помех, например, собственные аддитивные шумы или электромагнитные наводки, так и специфические помехи, свойственные только данному типу обнаружителя и связанные с физическим принципом его работы.

Исходя из общих задач диссертационной работы и выявленных в результате проведенного анализа недостатков, присущих используемым в настоящее время обнаружителям, в работе сформулированы частные задачи по радиоволновым, инфракрасным и акустическим обнаружителям.

**Вторая глава** посвящена поиску алгоритмов работы, экспериментальным исследованиям и моделированию радиоволновых обнаружителей.

Доплеровские радиоволновые обнаружители являются доплеровскими радиолокатором ближнего действия. Чувствительным элементом РВО является приемно-передающий модуль (ППМ). На вход процессора (рис.1) поступает доплеровский



сигнал  $u_{cm}(t)$ , частота которого  $F_D$ , при отражении от точечного объекта, зависит от радиальной составляющей его скорости  $V_R$ .

$$u_{cm}(t) = U_{cm} \cdot \cos(2\pi \frac{2f_0}{c} V_R t - \psi_{omp}), \quad (1)$$

где  $f_0$  - частота излучаемого сигнала,  $\psi_{omp}$  - фаза отражения.

В общем случае, расстояние от объекта до ППМ  $R(t) = \int V_R(t) dt$ , и доплеровское смещение частоты определяется скоростью изменения фазы  $\Delta\phi(t)$ :

$$F_D(t) = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{d}{dt} \Delta\phi(t) \right) = \frac{2f_0}{c} \cdot \frac{d}{dt} R(t) = \frac{2f_0}{c} \cdot V_R(t) \quad (2)$$

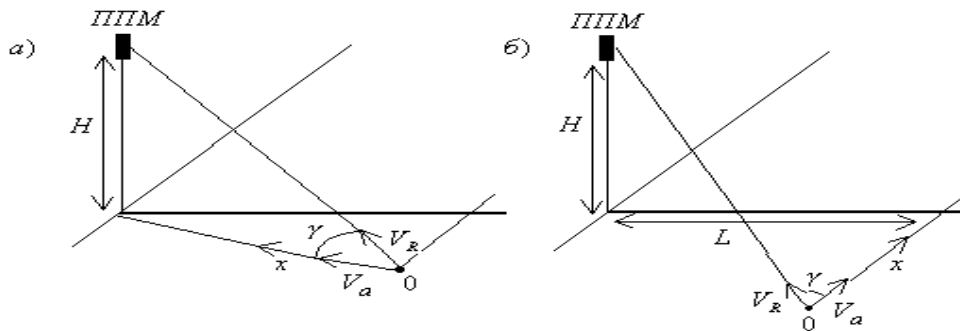


Рис.2. Схемы условно радиального (а) и условно поперечного (б) движений.

При движении точечного объекта (рис. 2) на линию отвеса РВО с постоянной скоростью  $V_a$ , радиальная составляющая скорости  $V_r$  является не постоянной, а переменной величиной из-за изменения угла направления на ППМ  $\gamma$ . Поэтому доплеровский сигнал оказывается модулированным по частоте, причем тем сильнее, чем ближе к обнаружителю движется объект.

Точечная модель передает основные особенности движения реального объекта и в силу своей простоты ее можно успешно использовать для оценки «мертвой» зоны РВО (рис. 3), а также для расчета полосы пропускания УНЧ.

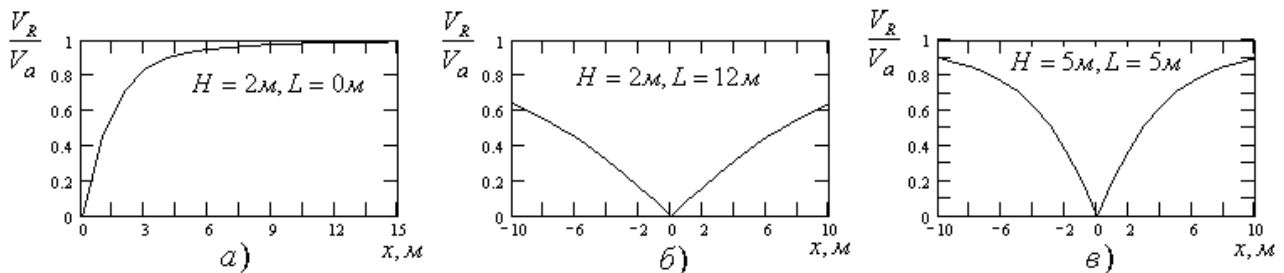


Рис.3. Зависимости нормированной радиальной скорости точечного объекта от расстояния при условно радиальном (а) и поперечных движениях (б и в).

Но в целом спектры сигналов, отраженных от точечного объекта и от человека оказываются существенно различными на любых расстояниях (рис.4а и 4б). Причина в том, что в системе ближней радиолокации человек является не точечным, а распределенным объектом. Поэтапные усложнения модели показали, что удовлетворительное соответствие с экспериментом дает 64-точечная модель человека, который перемещается не с постоянной, а с девиантной (переменной) скоростью, причем амплитуда девиации не превышает десятой доли процента (рис.4в).

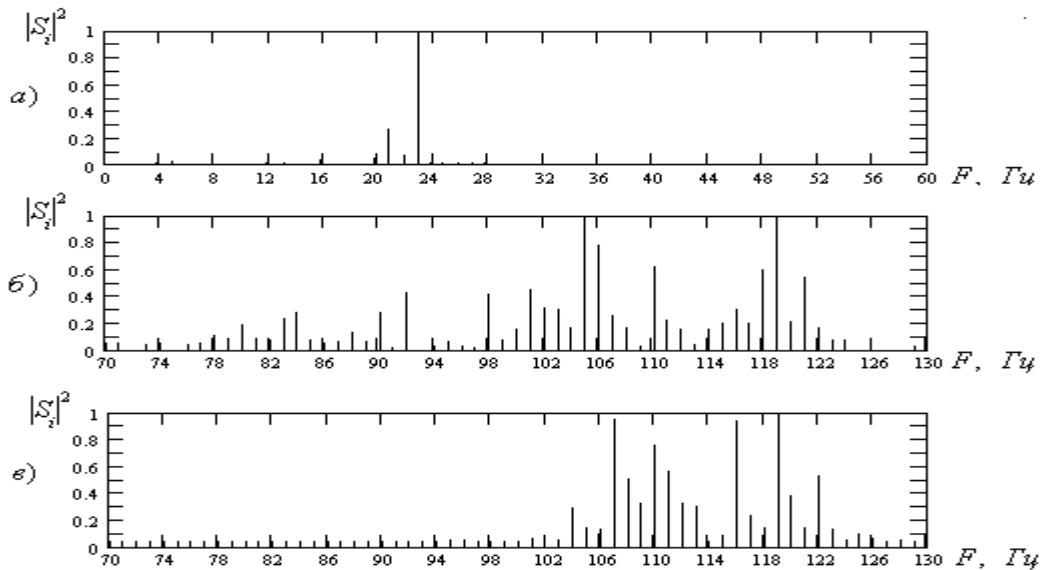


Рис. 4. Выборочные значения энергетических спектров доплеровского сигнала: а – эксперимент (одноточечный объект,  $V_a \approx 0,3 \text{ м/с}$ ); б – эксперимент (человек, идущий со скоростью  $V_a \approx 1,5 \text{ м/с}$ ); в – расчет по 64-точечной модели с модуляцией скорости движения по закону:  $V_a(t) = V_a(1 + d \sin(2\pi f_{\text{мод}} t))$  (где  $V_a = 1,42 \text{ м/с}$  - средняя скорость,  $d = 0,0005$  - девиация скорости,  $f_{\text{мод}} = 3 \text{ Гц}$  - частота изменения скорости).

Таким образом, показано что, расширение спектра связано не только с неравномерностью радиальной составляющей скорости, но и с тем, что скорость движения самого объекта (человека) является модулированной величиной. В работе методом моделирования были проведены исследования различных моделей движущихся объектов, что дало возможность оптимизировать технические характеристики РВО. Поскольку спектр доплеровского сигнала, отраженного от движущегося объекта, является достаточно широким, то для повышения эффективности обнаружения в условиях узкополосных помех необходимо применять режекторную фильтрацию. В работе определены параметры режекторных фильтров, при которых без заметной потери чувствительности возможно значительное уменьшение влияния помех промышленного происхождения. Основным источником таких помех для РВО являются работающие в

зоне обнаружения люминесцентные лампы. Использование режекторной фильтрации позволяет размещать РВО в несколько раз ближе к люминесцентным лампам, чем без нее.

Для снижения влияния помех промышленного происхождения, частоты которых заранее не известны (вращающиеся лопасти вентиляторов), использование фиксированной частотной фильтрации невозможно. Для селекции таких помех предложен алгоритм, основанный на определении частоты сигнала в течение времени принятия решения и ее неустойчивости при движении истинного объекта.

В работе разработаны эффективные базовые алгоритмы обработки сигналов для различных применений РВО. Для использования в одинарных РВО предложен алгоритм накопления импульсов по числу периодов доплеровского сигнала. Суть алгоритма состоит в следующем.

Число импульсов  $m$ , пришедших на вход решающего устройства, пропорционально изменению расстояния  $\Delta R$  между объектом и радиоволновым обнаружителем:

$$m = \int_{R(x_0)}^{R(x_0+\Delta x)} \frac{2 \cdot f_0}{c} dR(x) = \frac{2 \cdot f_0}{c} \cdot (R(x_0 + \Delta x) - R(x_0)) = \frac{2 \cdot f_0}{c} \cdot \Delta R \quad (3)$$

Задавшись значением пространственной помехозащищенности  $\Delta R^*$ , получаем число  $m^*$  импульсов, при достижении которого регистрируется объект. Таким образом, этот алгоритм инвариантен к скорости перемещения объекта и является алгоритмом накопления сигналов пропорционально пройденному объектом расстоянию.

Для этого алгоритма актуальна задача обнаружения объектов, перемещающихся прерывистым методом. Суть ее такова. Объект, переместившись на малое расстояние, которое находится в пределах заданной пространственной чувствительности и потому не регистрируется, может остановиться и выждать время, в течение которого произойдет обнуление счетчика в РВО. Перемещаясь таким прерывистым способом, нарушитель может пройти любое расстояние. Для решения этой задачи предложен алгоритм накопления *числа периодов сигнала со списанием единицы*. Если число импульсов  $m$ , поступивших на счетчик, меньше  $m^*$ , то по истечении интервала времени  $\Delta T \approx m^* / F_{\Delta \min}$  счетчик не обнуляется, а списывается только единица. Алгоритм предполагает использование двухуровневого порогового ограничителя. Благодаря этому, во-первых, удваивается число  $m^*$  регистрируемых импульсов, что позволяет

на несколько порядков снизить вероятность ложных тревог (рис.5) по аддитивным шумам.

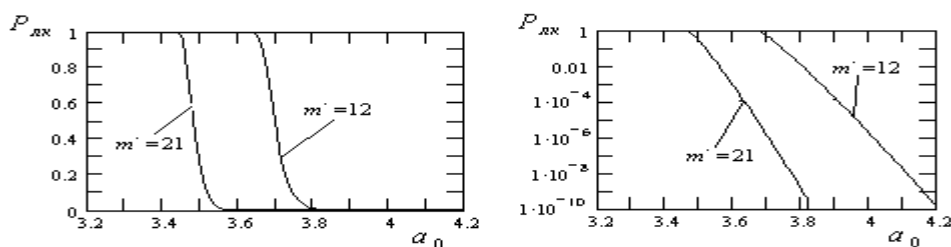


Рис.5. Вероятность ложной тревоги по аддитивным шумам для значений  $m^*$ . По оси абсцисс отложено отношение порог/шум.

Во-вторых, появляется возможность контролировать начальную фазу доплеровского сигнала после каждой паузы. Если после паузы фаза не меняется, то это свидетельствует о целенаправленном прерывистом движении объекта. В этом случае происходит дальнейшее накопление импульсов (периодов) со списанием единицы через интервал  $\Delta T$ . Изменение фазы после паузы свидетельствует о помехе, создаваемой, например, колеблющимися на сквозняке шторами или форточкой. Таким образом, задача регистрации прерывистых перемещений объекта решается одновременно с задачей повышения устойчивости к помехам, создаваемым колеблющимися предметами.

Маломерные объекты (насекомые), пролетающие на небольших расстояниях от ППМ, создают помеху, по форме совпадающую с истинным доплеровским сигналом. При этом уровня таких помех оказывается достаточно для ложного срабатывания устройства. Исследование показало, что признаком, позволяющим отличить маломерный объект от истинного, является относительное изменение амплитуды доплеровского сигнала  $A(x) = \frac{(U_{cm})_{\max}}{U_{cm}(x)}$ . Изменение амплитуды, вызванное объектом (человеком), перемещающимся в охраняемой зоне, на порядок меньше, чем изменение, вызванное маломерным объектом, пролетающим вблизи ППМ. Найденное путем моделирования численное значение относительного изменения амплитуды сигнала  $A(x) = A_{\max}$ , превышение которого возможно только маломерным пролетающим объектом, вносится в память микроконтроллера. Такой сигнал РУ воспринимает как помеху.

Для РВО, используемых в комбинации с ИКО, был разработан алгоритм обработки сигнала с накоплением по времени  $T_{\Pi}$  присутствия сигнала. Суть алгоритма пояснена на рис.6а. Условие срабатывания РУ можно записать в виде:

Для РВО, используемых в комбинации с ИКО, был разработан алгоритм обработки сигнала с накоплением по времени  $T_{\Pi}$  присутствия сигнала. Суть алгоритма пояснена на рис.6а. Условие срабатывания РУ можно записать в виде:

$$\left\{ \sum_i \Delta t_i > T_{II}, \Delta t_i < T_{II} \right\}. \quad (4)$$

Применение этого алгоритма повышает вероятность обнаружения поперечных перемещений объекта, он инвариантен к направлению движения, но характеристики обнаружения зависят от скорости движения объекта. Для повышения устойчивости алгоритма к аддитивным помехам при обнаружении сигналов используется дополнительный отличительный признак истинного сигнала – его квазигармоничность. В работе получено условие квазигармоничности:  $\Delta \tau_i / \Delta t_i > 1/2$  (рис.6б).

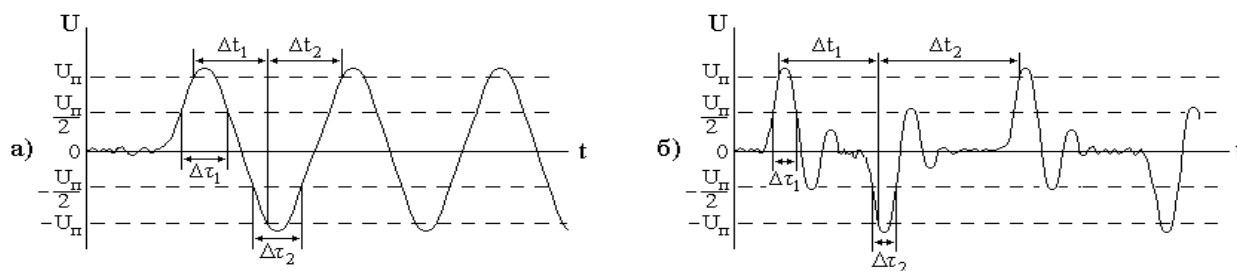


Рис.6. Пояснение к работе алгоритма накопления по времени присутствия сигнала.

В работе решена задача уменьшения габаритов ППМ, который размещается в одном корпусе с ИКО. Результат был достигнут путем использования в качестве передающей антенны микрополосковых элементов генератора. Экспериментальные исследования в сочетании с моделированием ППМ позволили так изменить размеры и расположение полосков высокочастотного тракта, что удалось сформировать диаграмму направленности без ухудшения энергетических параметров ППМ.

Путем имитации доплеровского сигнала, отраженного от движущегося объекта, оказалось возможным решение задачи самоконтроля РВО. С этой целью на входе ППМ размещается полупроводниковый диод. При модуляции диода низкочастотным сигналом, подаваемым с микроконтроллера, фаза отраженного от диода СВЧ-сигнала изменяется с заданной скоростью, имитируя, таким образом, появление движущегося объекта. Система самоконтроля является сквозной, т.е. контролирует работоспособность всех трактов и элементов РВО, выявляя при этом несанкционированное изменение положений любых регуляторов и изменение дальности действия, включая искусственное маскирование приемно-передающего модуля.

В **третьей** главе решаются задачи повышения эффективности инфракрасных обнаружителей.

Чувствительный элемент ИКО – пироприемник (ПП) - чувствителен к помехам, имеющим электромагнитную природу, воздействие которых происходит непосредственно через рабочее оптическое окно. Поэтому борьба с такими помехами путем экранировки не эффективна. Расчетными и экспериментальными методами было установлено, что скорость нарастания амплитуды пришедшего сигнала  $\theta = \partial U / \partial \tau$  у электромагнитных помех в три и более раза превышает скорость нарастания истинного сигнала. По этому отличительному признаку и производится селекция помех.

Большая постоянная времени фильтра, формирующего полосу пропускания  $0,1 \leq F \leq 10$  Гц, приводит к тому, что часто возникающие одиночные тепловые воздействия или электромагнитные импульсы вызывают появление выброса напряжения противоположной полярности, создаваемого разрядом конденсатора пироприемника. Этот выброс (рис.7а) при большой амплитуде первичного воздействия часто превышает уровень порога, вызывая, таким образом, ложное срабатывание.

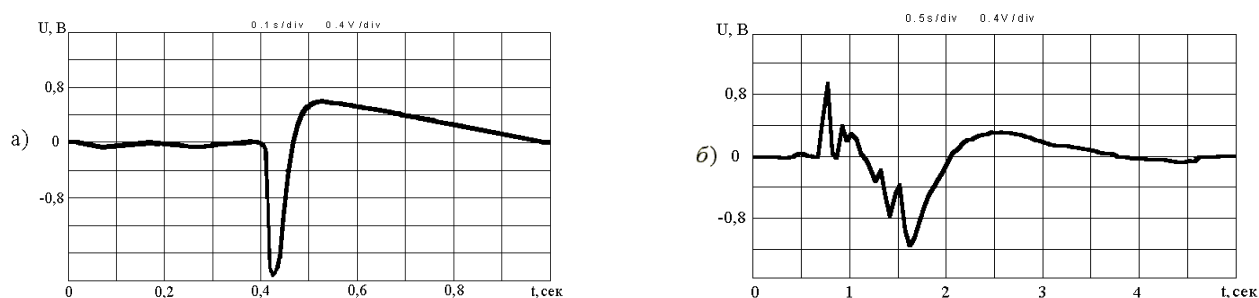


Рис. 7. Экспериментальные сигналы на входе РУ  
а) - при воздействии ЭМИ; б) - быстром перемещении объекта вблизи ИКО.

Для устранения таких ложных срабатываний предложен двухуровневый ограничитель с динамическим порогом. В алгоритм заложен отличительный признак принимаемого сигнала, заключающийся в том, что выброс напряжения противоположной полярности от одиночного воздействия на входе ограничителя в два-три раза меньше напряжения основной составляющей воздействия.

В отдельных случаях, например, при быстрых перемещениях объекта вблизи ИКО, сигнал может иметь сложную форму, с большим числом локальных выбросов (рис.7б). Обычное применение счетчиков на два-три импульса при стационарном пороге ограничителя не обеспечивает устойчивое обнаружение таких сигналов. Применение предложенного алгоритма с динамическим порогом позволяет обеспечить обнаружение сигналов в подобных условиях. Принцип работы алгоритма с динамиче-

ским порогом поясняется на рис.8. По амплитуде каждого локального выброса напряжения  $U_i^+$  или  $U_i^-$ , превосходящего уровень аддитивных шумов  $\sigma$ , устанавливается текущее значение динамического порога  $U_{\Pi}$ , знак которого имеет противоположную полярность выбросу напряжения.

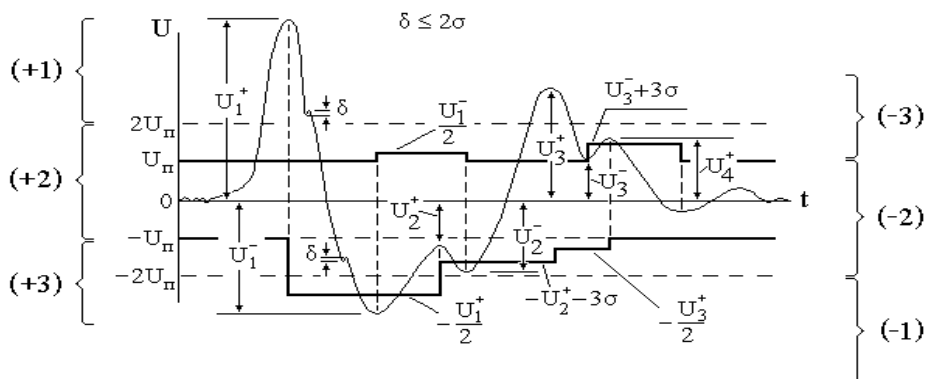


Рис. 8. Пояснение к работе алгоритма с динамическим порогом.

Использование в ИКО предложенных алгоритмов позволяет применить процедуру накопления двух-трех импульсов, что, как показано в работе, на 2-3 порядка снижает вероятность ложных тревог по аддитивным шумам.

Разработанная система самоконтроля, основанная на измерении параметров переходных процессов при включении источника питания, регистрирует отклонения параметров электронных компонентов ИКО в пределах 50% от их номинальных значений, начиная с пироприемника.

**Четвертая** глава посвящена повышению эффективности акустических обнаружителей разрушения стеклянных конструкций.

Как показано в работе, для разработки высокоэффективных АОРС необходимо создать банк эталонных сигналов разрушения различных стеклянных конструкций. С этой целью была разработана методика создания компьютерного банка реализаций акустических сигналов, полученных при разрушении различных типов стекол, по-разному закрепленных в рамах и витринах различных размеров. Причем каждая из таких стеклянных поверхностей подвергалась разрушению всевозможными способами: путем удара различными предметами, путем выдавливания, путем термического нагрева и т.д. Банк насчитывает более 300 реализаций. Разработана методика использования этого банка на разных стадиях испытания, настройки и тестирования АОРС. Разработана также методика неискаженного звуковоспроизведения записанных сигналов в реальных акустических камерах, характеристики которых существенно иска-

жают воспроизводимый сигнал. Методика предполагает определение передаточной функции  $\dot{H}(\omega)$  тракта воспроизведения и предсказание сигналов, обратное  $\dot{H}(\omega)$ , для создания вторичного банка сигналов воспроизведения.

С целью отыскания отличительных признаков были обследованы как амплитудно-временные, так и спектральные характеристики всех хранящихся в банке сигналов. На рис.9а представлена одна из записанных реализаций сигнала, вызванного разрушением стекла с выпадением осколков. Для поиска отличительных признаков в основном использовались усеченные реализации, которые обрывались до момента падения осколков (рис. 9б).

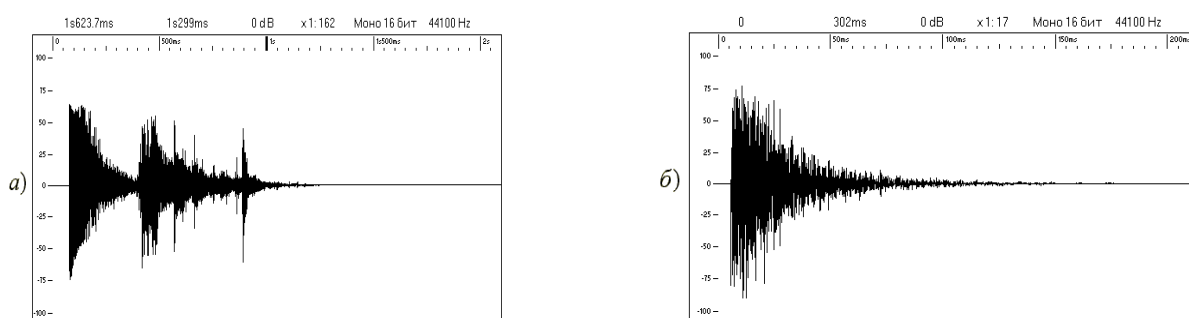


Рис. 9. Примеры акустических сигналов, полученных при разрушении стекла.

В качестве примера на рис.10 представлены частотные распределения уровней звукового давления  $P(f)$  (спектры сигналов), вызванных двумя видами воздействий на одинаковые стеклянные поверхности: неразрушающий удар металлическим шаром (рис.10а) и ударное разрушение этим же шаром (рис.10б). Спектры различаются соотношением уровней между НЧ и ВЧ составляющими.

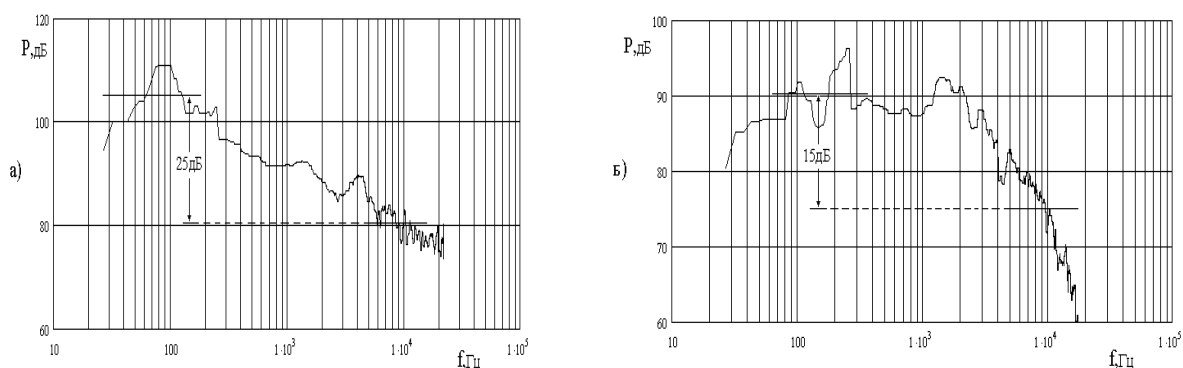


Рис. 10. Примеры спектров сигналов при различных воздействиях на стекла.

Анализ спектров привел к обоснованному выбору двух контролируемых частотных диапазонов: низкочастотного от 100 Гц до 400 Гц и высокочастотного от 6 кГц до 12 кГц. Анализ спектральных и амплитудно-временных характеристик всех сигналов



позволил выявить совокупность отличительных признаков разрушения стекла, разные составляющие которой используются в алгоритме обработки сигналов. К таким признакам относятся:

- время нарастания огибающей высокочастотного компонента сигнала ( $(5K 10) \text{ мс}$ );
- усредненный уровень  $\langle A_{\dot{a}} \rangle$  высокочастотного компонента сигнала (за  $(5K 10) \text{ мс}$ );
- соотношение средних уровней низкочастотного компонента сигнала и высокочастотного компонента  $\langle A_{\text{вч}} \rangle$ ;
- изменение уровня высокочастотного компонента сигнала на этапе спада (минимальная постоянная времени спада на  $20 \text{ дБ}$  равна  $t_{\text{СП min}} \approx 30 \text{ мс}$ );
- $T_{\text{вч}}$  - время измерений, определяемое временем спада от  $\langle A_{\text{вч}} \rangle$  до уровня предшествующей помехи  $\langle U_{\text{пм}} \rangle$ ;
- частоты сигналов на выходе УВЧ и УНЧ.

В результате проведенных в работе исследований, определен отличительный признак сигналов, по которому происходит начало работы основного алгоритма РУ. В качестве такого отличительного признака используется скорость нарастания сигнала в высокочастотном канале:

$$K_{\text{пор}} = \Delta A_{\text{пор}} / \tau_{\text{крл}}^{\text{вч}}, \quad (5)$$

где  $\Delta A_{\text{пор}}$  - пороговая величина приращения сигнала за время корреляции процесса на выходе высокочастотного канала  $\tau_{\text{крл}}^{\text{вч}} \approx 0,17 \text{ мс}$ .

По полученным данным была разработана блок-схема АОРС. Все принимаемые сигналы до регистрации запускающего отличительного признака хранятся как сигналы помехи и учитываются при определении ожидаемых амплитудных, частотных и временных параметров сигналов, с которыми сравниваются характеристики измеряемые в ходе работы основного алгоритма РУ.

Предложенный алгоритм, существенно повышает вероятность регистрации разрушения стекла в присутствии помех, в том числе преднамеренных, и исключает возможность звукового маскирования факта разрушения стекла. Сравнительные испытания с современными зарубежными АОРС показали, что использование в алгоритмах обработки выявленных отличительных признаков сигналов и помех позволило повы-

сить вероятность обнаружения расширенного класса разрушений стеклянных поверхностей, включая трудно регистрируемые безударные разрушения, с 57% до 92%.

Разработанная система самоконтроля АОРС позволяет контролировать неисправности аналогового тракта и отклонения параметров электронных компонентов в пределах 30% от их номинальных значений.

В **Заключении** сформулированы основные научные и практические результаты.

### ***Публикации по теме диссертации***

1. Левчук С.А., Макаров С.Б., Петров А.Ю. Доплеровские радиоволновые обнаружители объектов для систем охранных сигнализаций. // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. , №1, 2000 г.

2. Макаров С.Б., Петров А.Ю. Спектральные характеристики сигналов, применяемых в доплеровских радиоволновых обнаружителях объектов. // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. , №3, 2000 г.

3. Макаров С.Б., Петров А.Ю. Режекторная фильтрация помех в доплеровских радиоволновых обнаружителях объектов. // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. , №4, 2000 г.

4. Петров А.Ю. Возможность селекции стационарного побочного сигнала в радиоволновом доплеровском канале охранного извещателя. / Материалы 3 Всероссийской научно-практической конференции «Охрана-99». Тезисы докладов. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999.

5. Петров А.Ю. Выбор способа накопления сигнала в доплеровском канале охранного извещателя. Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. Тезисы докладов. Изд. СПбГТУ, 1999г.

6. Петров А.Ю. Селекция по скорости нарастания амплитуды сигналов в доплеровских обнаружителях охранных сигнализаций. Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. Тезисы докладов. Изд. СПбГТУ, 2000.

7. Кулагин А.С., Кучумов А.В., Петров А.Ю., Стихненко А.Ю. Малогабаритный приемо-передающий модуль радиоволнового доплеровского канала охранного извещателя. Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. Тезисы докладов. Изд. СПбГТУ, 2000.

8. Малышев В.М., Петров А.Ю. Сквозной самоконтроль работоспособности радиоволнового доплеровского канала охранного извещателя. Методы и технические

средства обеспечения безопасности информации. Тезисы докладов. Изд. СПбГТУ, 1999г.

9. Малышев В.М., Петров А.Ю. Радиоволновый доплеровский канал с системой самоконтроля работоспособности, преимущественно для охранного извещателя. Патент на изобретение RU 2167432 С1.

10. Левчук С.А., Мещеряков А.В., Петров А.Ю. Звуковой извещатель разрушения стекла для охранной тревожной сигнализации. Патент на изобретение RU 2143742 С1.

11. Кулагин А.С., Кучумов А.В., Петров А.Ю., Стихненко А.Ю. Приемопередающий модуль радиоволнового доплеровского канала охранного извещателя. Патент на изобретение RU 2163743 С1.

12. Левчук С.А., Малышев В.М., Мещеряков А.В., Петров А.Ю., Смирнов А.В. Доплеровский радиоволновой извещатель для охранной тревожной сигнализации. Патент на изобретение RU 2117962 С1.

13. Malishev V.M., Petrov A.Yu., Levtchouk M.S., Kochin A.E. The Characteristics of Doppler Signals Depending on Directional of Meb's Movements to Microwave Antennas of Motion Detectors for Alarm Systems. / International University Conference «Electronics and Radiophysics of Ultra-High Frequencies»: St. Petersburg State University, May 1999.