

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**

УДК 534.23; 534.4

**Гладышев
Алексей Михайлович**

**СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМАХ АКУСТИЧЕСКОЙ
ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.12.04 – радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения

Минск 2010

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

Гейстер Сергей Романович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник государственного учреждения «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь».

Официальные оппоненты:

Охрименко Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники БССР, главный научный сотрудник частного научно-производственного унитарного предприятия «НТЛаб системы».

Борискевич Анатолий Антонович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Оппонирующая организация: учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь».

Защита состоится « 3 » февраля 2011 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Автореферат разослан «17» декабря 2010 г.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задачи локации автотранспортных средств в приложении к охране особых территорий (зоны с радиоактивным заражением, заповедники) и специальных объектов приобрели особую актуальность. Это связано с большой протяжённостью охраняемых территорий, с технической оснащённостью нарушителей, осуществляющих незаконное проникновение, а также с особенностями охраняемых зон (например, с радиоактивным заражением местности), исключающими длительное пребывание людей. Эффективность решения задач локации автотранспортных средств, уровни акустических сигналов которых сравнительно невелики, с учетом больших размеров охраняемых территорий напрямую связана с использованием распределённых сетевых структур, включающих акустические датчики локального действия и линии связи со свойством самоорганизации.

Настоящая работа связана с разработкой спектрально-временных моделей сигналов автотранспортных средств, которые являются основой для синтеза алгоритмов функционирования автоматических устройств обнаружения, измерения и распознавания объектов, а также с разработкой структур акустических датчиков и требований к их основным элементам. При этом под сигналом автотранспортных средств понимается сигнал на выходе акустоэлектрического преобразователя, получаемый в результате преобразования акустического поля, создаваемого автотранспортным средством, в электрический сигнал.

Работы по созданию спектральных моделей радиолокационных сигналов, отраженных от летательных аппаратов (эффект вторичной модуляции радиолокационных сигналов аэродинамическими объектами) проводились в СКБ «Камертон» под руководством профессора Шеломенцева Т.И. Одним из специалистов, внесших весомый вклад в эти работы, является Слюсарь Н.М., который впервые показал единство акустического и радиолокационного образов аэродинамического объекта. Следует отметить и некоторые отличия этих образов, следующие из данной работы – при движении объекта спектр «вторичной модуляции» смещается в соответствии со скоростью движения, а спектр акустического сигнала растягивается в пропорции с этой скоростью [4-А, 6-А].

Изучению шумов и вибраций автомобилей посвящены фундаментальные работы В.Н. Луканина, Г.В. Латышева, И.В. Алексеева, В.Н. Гудцова, Н.Ф. Бочарова, В.Е. Тольского, и др. Однако, для построения алгоритмов обнаружения эти описания малопригодны по следующим причинам: спектры шумов автомобилей, как правило, приводятся скорректированными по отношению к физиологическим особенностям слуха человека; отсутствует анализ корреляционных свойств этих шумов; исследование спектров сигналов проводилось с использованием октавных и третьоктавных фильтров, что не позволяет видеть тонкую

структуру спектра. Акустическая локация в военной области разработана только в приложении к артиллерийской звукометрической разведке, предметом которой является обнаружение и измерение координат выстрелов и разрывов.

Интерес зарубежных исследователей к области обнаружения автомобилей по излучаемым акустическим полям наблюдается в последние 10 лет, что связано, во-первых, с необходимостью использования экологически чистых средств контроля, не имеющих вредных для человека излучений и, во-вторых, с разработкой пассивных средств разведки и управления оружием малой дальности. Однако разработки средств контроля дорожного движения на автострадах выполняются лишь в диапазоне частот (3000 – 15000) Гц, характерном для излучений турбокомпрессоров, где с учетом малых длин волн обеспечивается наиболее простое аппаратное решение задач измерения. При этом средства контроля используют акустические антенные решетки, которые обеспечивают формирование локальных зон обнаружения в угловом секторе около 15 градусов на линии, перпендикулярной автострате. В данной же работе вопросы локации решаются по низкочастотным излучениям в диапазоне (20 – 300) Гц, которые имеют лучшие условия распространения в атмосфере, а обнаружение ведется в широком угловом секторе (около 180 градусов) на дальностях до 1000 метров. Кроме того, наиболее важные результаты зарубежных исследований, связанные с изучением сигналов и использованием полученных результатов для синтеза различных устройств, представляют собой коммерческую тайну и недоступны для применения.

В связи с этим исследования спектрально-временной структуры и корреляционных свойств сигналов автотранспортных средств являются актуальной научной задачей, решение которой представляет значительный практический интерес в области создания пассивных систем акустической локации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Результаты работы отражены в госбюджетной НИР «Разработать теорию, алгоритмы, методологию структурно-функциональной схемотехники и программно-аппаратные средства формирования, приема и обработки сигнально-кодовых конструкций в помехозащищенных радиоинформационных системах» №ГР20066154, выполнявшейся в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Тема работы соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности на 2006-2010 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь № 315 от 6 июля 2005 года в области разработки

методов и средств охраны лесов от пожаров, методик и технических средств диагностики дизельных двигателей с определением частоты вращения ротора турбокомпрессора и вентилятора; основным задачам «Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2006-2010 годы», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 января 2006 г. №29 в части разработки автономных систем мониторинга местности для решения задач создания защитных мер в лесном хозяйстве и содержания зон отчуждения и отселения, снижения доз облучения работников, предотвращения несанкционированного пребывания граждан на указанных территориях, а также основным направлениям «Национального плана действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006-2010 годы», утвержденного Указом Президента Республики Беларусь № 302 от 5 мая 2006 г.; «Государственной программы развития системы особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь на 2008-2014 годы», (Указ Президента Республики Беларусь от 6 марта 2008 г. № 146) в области охраны водных ресурсов, растительного и животного мира, а также особо охраняемых территорий.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка математической модели спектрально-временной структуры сигналов автотранспортных средств, метода измерения скорости, структур системы мониторинга и ее основных устройств, которые могут быть использованы для создания систем локации различного назначения.

Для достижения этой цели в работе решались следующие задачи:

1. Разработка обобщенной структуры многоспектральной системы мониторинга местности, включающей акустические датчики, и анализ основных источников сигналов в автотранспортных средствах;
2. Разработка и исследование математической модели спектрально-временной структуры сигналов двигателей автотранспортных средств, отражающей основные процессы в двигателе;
3. Разработка, теоретические и экспериментальные исследования метода измерения скорости движения автотранспортных средств по их сигналам. Анализ влияния ветра и взаимного расположения автотранспортного средства и приемного устройства на результат измерения;
4. Экспериментальные исследования спектрально-временной структуры и автокорреляционных функций сигналов неподвижных и движущихся автотранспортных средств в передней и задней полусферах с различными типами двигателей и разной грузоподъемностью;
5. Разработка структур устройств обнаружения и измерения скорости, а

также определение основных тактико-технических требований к их элементам.

Объект исследования – системы и устройства пассивной локации транспортных средств на основе акустических полей. *Предмет исследования* – спектрально-временные структуры сигналов автотранспортных средств.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель и корреляционная функция временной структуры сигнала двигателя автотранспортного средства, формируемого путем акустоэлектрического преобразования акустического поля звука, излучаемого системой выпуска. Математическая модель и корреляционная функция описывают как сигнал одного цикла цилиндра, так и сигнал цикла (последовательности циклов) двигателя, и позволяют синтезировать оптимальные устройства обнаружения с корреляционной внутрипериодной (цикл работы цилиндра) и междупериодной (цикл или последовательность циклов работы двигателя) обработкой принятого сигнала.

2. Метод измерения скорости движения автотранспортного средства по сигналу его двигателя на основе эффекта Доплера в однопозиционной акустической системе локации, использующий импульсную структуру видеосигнала двигателя с выхода акустоэлектрического преобразователя и учитывающий параметры перемещения автотранспортного средства относительно акустической системы, а также параметры ветра. Этот метод обеспечивает высокую точность измерения скорости автомобиля (ошибки измерения не превышают 5 % от истинного значения) благодаря следующему: в нем исключается необходимость определения абсолютных значений доплеровских частот при приближении и удалении автомобиля; измерения частот сигналов, включающих доплеровские добавки, за ограниченное время когерентного накопления, определяемое динамикой изменения параметров сигнала при перемещении автомобиля относительно акустического приемника, выполняется по гармоническим составляющим высших порядков (3 – 8).

3. Спектрально-временные структуры и оценки автокорреляционных функций сигналов автотранспортных средств различных классов (типов) в режимах движения и холостого хода, полученные экспериментально и учитывающие направление и скорость перемещения автотранспортных средств, а также полусферу наблюдения. Эти результаты подтверждают правильность разработанной математической модели временной структуры сигнала двигателя и его корреляционной функции.

4. Оценки точности предложенного метода измерения скорости движения автотранспортного средства и проявление эффекта Доплера в спектрально-временных структурах и автокорреляционных функциях сигналов двигателей

движущихся автотранспортных средств, полученные экспериментально и подтверждающие возможность разработки пассивных акустических устройств измерения скорости движения автомобилей по низкочастотным акустическим излучениям двигателей в диапазоне (20 – 300) Гц, характеризующимся лучшим распространением звука в атмосфере и, соответственно, большей дальностью действия акустических устройств.

5. Структура двухпозиционной системы акустической локации, выполняющая одновременную корреляционно-базовую обработку сигнала в пространстве «азимут – время рассогласования» и учитывающая диапазоны возможных изменений режимов работы двигателей автотранспортных средств, а также отличия параметров сигналов в зависимости от класса и типа двигателя.

Личный вклад соискателя

1. Автор лично выполнил: экспериментальные исследования спектрально-временных структур и автокорреляционных функций сигналов автотранспортных средств с учетом эффекта Доплера, а также предложенного метода измерения скорости движения; разработку структур систем акустической локации.

2. Совместно с руководителем автор выполнил: разработку математической модели временной структуры сигнала двигателя автотранспортного средства и метода измерения скорости движения на основе эффекта Доплера в однопозиционной системе акустической локации.

3. Совместно с А.С. Гейстером, А.М. Джеки автор выполнил анализ влияния эффекта Доплера на спектрально-временную структуру сигнала автомобиля.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, включенные в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на 8 международных и 1 республиканской конференциях, в том числе: 31-ой конференции молодых ученых и специалистов «Информационные технологии и системы» Института проблем передачи информации РАН (Геленджик, 2008 г.), XIII, XV Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск 2008 г., 2010 г.), VI Белорусско-российской НТК «Технические средства защиты информации» (Минск 2008 г.), VIII Харьковская конференция молодых ученых «Радиофизика и электроника, биофизика» (Харьков 2008 г.), 7 Международной НТК, посвященная 45-летию МРТИ-БГУИР (Минск 2009 г.), 4-й, 5-й и 6-й Международных научно-технических конференциях “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций” (Севастополь, 2008 г., 2009 г., 2010 г.), 43-й научной конферен-

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, в том числе: 6 статей в научных изданиях, включенных в перечень ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 1 статья в сборнике трудов 31-ой конференции молодых ученых и специалистов «Информационные технологии и системы» ИППИ РАН, 9 публикаций в сборниках докладов международных научно-технических конференций.

Объем опубликованных материалов, соответствующих пункту 18 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», составляет 2,92 авторских листа, 0,48 авторских листа в сборнике трудов 31-ой конференции молодых ученых и специалистов «Информационные технологии и системы» ИППИ РАН. Объем остальных публикаций – 0,79 авторских листа.

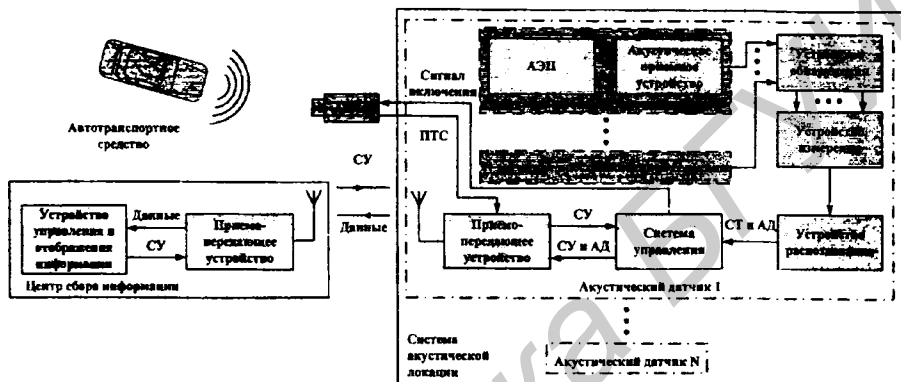
Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка из 88 наименований и семи приложений. В первой главе дано обоснование актуальности темы диссертационной работы и разработана обобщенная структура многоспектральной системы мониторинга, рассмотрены характеристики объектов обнаружения. Во второй главе разработана математическая модель спектрально-временной структуры сигналов двигателей автотранспортных средств, отражающая основные процессы в двигателе и проведено ее теоретическое исследование. В третьей главе проведена разработка и теоретические исследования метода измерения скорости движения автотранспортных средств по их сигналам. В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований спектрально-временной структуры и автокорреляционных функций сигналов неподвижных и движущихся автотранспортных средств в передней и задней полусферах с различными типами двигателей и разной грузоподъемностью, дается сравнение их с предложенной математической моделью. В пятой главе проведена разработка структур устройств обнаружения и измерения скорости, а также определение основных тактико-технических требований к их элементам.

Полный объем диссертационной работы составляет 205 страниц, которые включают текст на 98 страницах, 134 иллюстрации на 52 страницах, 9 таблиц на 5 страницах, список использованных источников на 5 страницах, список публикаций автора на 2 страницах, приложения на 40 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В *первой главе* проведен анализ особенностей мониторинга местности в приложении к охране особых территорий и специальных объектов. Для эффективной охраны особых территорий предложено использовать многоспектральную систему мониторинга (рисунок 1), которая включает в себя систему акустической пассивной локации автотранспортных средств (АТрС), оптико-электронную систему, центр сбора информации, объединенные в единую систему с помощью сетевых технологий.



АЭП – акустоэлектрический преобразователь; ОЭС – оптико-электронная система; ПТС – полный телевизионный сигнал; СУ – сигналы управления; АД – аудиоданные; СТ – сигнал тревоги

Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема многоспектральной системы мониторинга

Основной вклад в суммарную мощность сигналов АТрС вносит двигатель, энергетические спектры (ЭС) сигналов имеют сплошную область и тональные составляющие. Акустическое поле АТрС в задней полусфере определяется, в основном, сигналом выхлопов, источником которых является двигатель, а излучателем – выходное отверстие выхлопной трубы.

Во *второй главе* проведен анализ процессов формирования временной структуры сигнала двигателя АТрС. Частота выхлопов определяется как:

$$f_{m-0} = 2f_{kv}N_d / I, \quad (1)$$

где N_d – число цилиндров в двигателе;

I – число тактов в двигателе;

f_{kv} – частота вращения коленчатого вала двигателя.

Разработана математическая модель сигнала двигателя, которая имеет следующие составляющие: *сигнал рабочего цикла одного цилиндра* $p_d(t)$, представляющий собой совокупность импульсов давления, образующихся в процес-

се цикла работы одного цилиндра; *сигнал рабочего цикла двигателя* $p_{cd}(t)$, представляющий собой пачку импульсов давления, формируемых при работе всех цилиндров двигателя; *последовательность пачек импульсов рабочего цикла*, образующаяся при повторении рабочих циклов двигателя.

Математическая модель сигнала рабочего цикла цилиндра $p_{cd}(t)$ на выходе глушителя имеет следующие ограничения. *Во-первых*, сигналы колебаний, возникающих в глушителе после поступления в него выхлопных газов, представляются лишь первым максимальным сигналом уплотнения и последующим сигналом разрежения. *Во-вторых*, сигналы рабочих циклов, формируемые разными цилиндрами, не пересекаются между собой во времени, то есть имеют ненулевые значения только в пределах своих тактов работы. Тогда сигнал $p_{cd}(t)$ включает в себя: *сигнал избыточного давления и сигнал разрежения*.

Сигнал двигателя в рабочем цикле $p_{cd}(t)$ и математическая модель сигнала одного рабочего цикла цилиндра $p_d(t)$ описываются выражениями:

$$p_{cd}(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N_d} p_d(t - (i-1)IT_T / N_d), & 0 \leq t \leq IT_T; \\ 0, & t < 0, t > IT_T, \end{cases} \quad (2)$$

$$p_d(t) = \begin{cases} 2P_{D_{\max}} t / T_D, & 0 \leq t \leq T_D / 2; \\ -2P_{D_{\max}} (t - T_D) / T_D, & T_D / 2 < t \leq T_D; \\ -2P_{R_{\max}} (t - T_D) / T_R, & T_D < t \leq (T_D + T_R / 2); \\ 2P_{R_{\max}} (t - T_D - T_R) / T_R, & (T_D + T_R / 2) < t \leq (T_D + T_R); \\ 0, & 0 > t, (T_D + T_R) < t \leq T_T. \end{cases} \quad (3)$$

где T_T – длительность такта;

$P_{D_{\max}}$ ($P_{R_{\max}}$) – амплитуда положительной (отрицательной) полуволны;

T_D (T_R) – длительность положительной (отрицательной) полуволны.

Проведено исследование предложенной модели и вычислены автокорреляционные функции (АКФ) и ЭС для составляющих модели на примере сигнала 4-цилиндрового 4-тактного двигателя с аппроксимацией вида (3) (рисунок 2) для следующих параметров модели: $T_D = 9$ мс, $T_R = 8$ мс, $T_T = 21$ мс, $P_{D_{\max}} = 1$ и $P_{R_{\max}} = 0,9$.

В *третьей главе* проанализирован эффект Доплера в сигналах движущихся АТРС, который проявляется в изменении периода следования и длительности импульса. Эффект Доплера при приеме сигналов АТРС имеет следующие особенности.

Во-первых, в спектральной области эффект Доплера проявляется в одновременном изменении частот гармонических составляющих принятого сигнала на величины, равные произведению доплеровской частоты на номер гармоники.

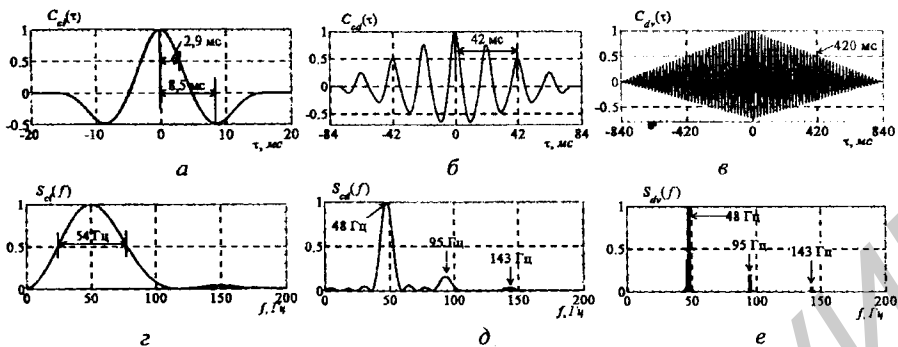


Рисунок 2 – АКФ и ЭС модели сигнала цилиндра (а, г), рабочего цикла двигателя (б, д) и 10 циклов двигателя (в, е)

Во-вторых, частота Доплера при приближении АТРС к акустическому датчику F_{d0-pr} будет по модулю больше частоты Доплера F_{d0-ud} при удалении АТРС от акустического датчика. Изменение частот вычисляется как:

$$\text{частота Доплера} \quad F_{d0-pr(ud)} = F_{vh-0} V_{r-a} / (c + V_{r-v} - V_{r-a}), \quad (4)$$

$$\text{частота выхлопов} \quad F_{vh-pr(ud)} = F_{vh-0} (c + V_{r-v}) / (c + V_{r-v} - V_{r-a}), \quad (5)$$

где V_{r-a} (V_{r-v}) – радиальная скорость АТРС (ветра) относительно акустического датчика, которая при приближении (удалении) имеет положительный (отрицательный) знак;

c – скорость звука.

В-третьих, промоделировано влияние зоны неопределенности, в которой происходит изменение частоты Доплера от максимального значения до нуля при неизменной скорости АТРС в зависимости от расстояния a от места установки акустического датчика до трассы, различных значений скорости АТРС V_0 и пройденного АТРС пути L (рисунок 3).

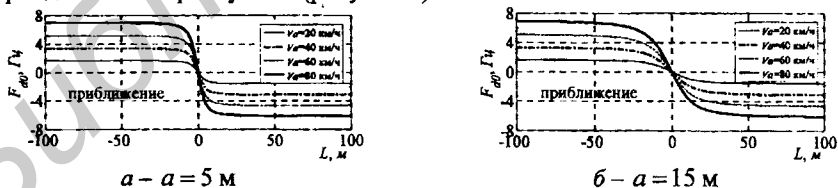


Рисунок 3 – Результаты моделирования влияния зоны неопределенности на частоту Доплера

Разработан метод определения скорости АТРС, основанный на измерении частоты выхлопов и ее гармоник в спектре сигнала: первый вариант – при при-

ближении и проезде и/или при проезде и удалении; и второй вариант – при приближении и удалении АТрС от места установки акустического датчика. Второй вариант предпочтительнее, поскольку мало зависит от изменения частоты выхлопов при нахождении АТрС внутри зоны неопределенности.

Скорость АТрС вычисляется следующим образом:

$$\text{для первого варианта } V_a = (c + V_{r,v}) \left[1 - nF_{\text{шт-0}} / (nF_{\text{шт-pr(уд)}}) \right], \quad (6)$$

$$\text{для второго варианта } V_a = (c + V_{r,v}) (nF_{\text{шт-pr}} - nF_{\text{шт-уд}}) / (nF_{\text{шт-pr}} + nF_{\text{шт-уд}}), \quad (7)$$

где n – номер гармоники.

Результаты моделирования изменения сигнала АТрС, движущегося равномерно и прямолинейно со скоростью $V_a = 16,67$ м/с (60 км/ч), с параметрами модели (3), приведенными ранее, при отсутствии ветра и акустическом датчике, расположенном на расстоянии $a = 15$ м от линии движения АТрС (рисунки 4-6) подтвердили возможность определения скорости предложенным методом. При моделировании учтено затухание сигнала за счет сферического распространения акустических волн. Скорость, рассчитанная по (7), для 3-ей гармоники составила 16,64 м/с.

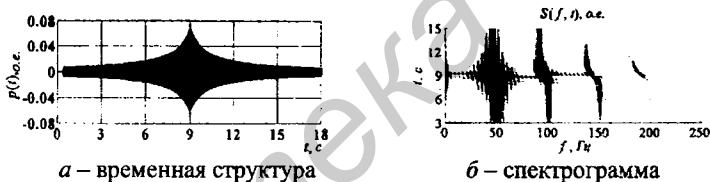


Рисунок 4 – Результаты моделирования сигнала, излучаемого движущимся АТрС, при треугольной аппроксимации, $a = 15$ м

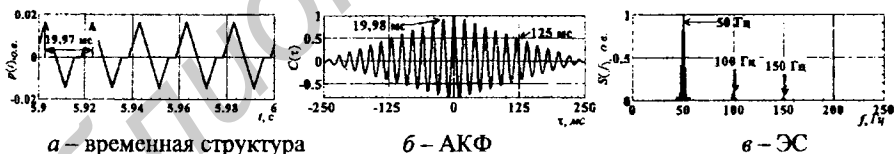


Рисунок 5 – Результаты моделирования сигнала при приближении АТрС

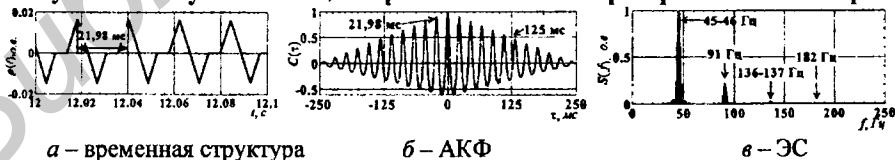


Рисунок 6 – Результаты моделирования сигнала при удалении АТрС

В *четвертой главе* приведены результаты экспериментальных исследований спектрально-временных структур (СВС) и АКФ сигналов различных типов АТрС как на холостом ходу, так и в движении.

СВС и АКФ сигналов АТрС на примере легкового автомобиля с бензиновым двигателем Honda Accord на холостом ходу двигателя при неисправной системе выпуска отработавших газов в задней полусфере показаны на рисунке 7, после ремонта системы выпуска – на рисунке 8, в передней полусфере – на рисунке 9. Эффект ремонта системы выпуска на СВС заключается в уменьшении амплитуды высокочастотных составляющих. Влияние вентилятора охлаждения двигателя на СВС и АКФ, проявляется в расширении ЭС и в более изрезанной форме временной структуры и АКФ сигнала АТрС.

СВС и АКФ сигнала АТрС на примере легкового автомобиля Honda Accord (4-цилиндровый 4-тактный двигатель) в движении показаны на рисунках 10-12, АТрС с дизельным двигателем на примере автобуса МАЗ (6-цилиндровый 4-тактный двигатель типа ММЗ Д260.5) – на рисунках 13-15, мопеда (1-цилиндровый 2-тактный бензиновый двигатель) – на рисунках 16-18.

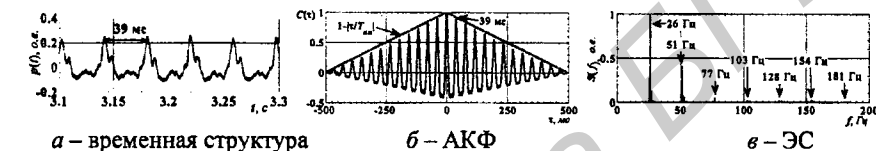


Рисунок 7 – Результаты исследования сигнала в задней полусфере при неисправной системе выпуска Honda Accord

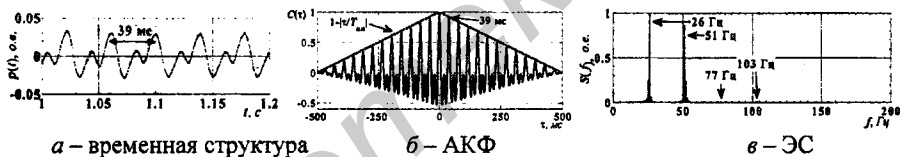


Рисунок 8 – Результаты исследования сигнала в задней полусфере после ремонта системы выпуска Honda Accord

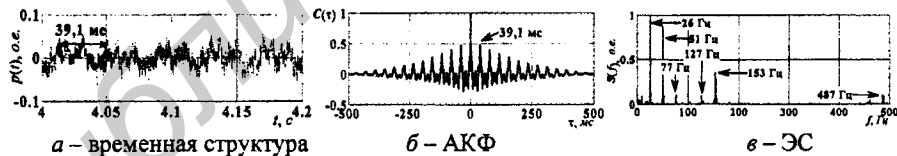


Рисунок 9 – Результаты исследования сигнала в передней полусфере при неисправной системе выпуска Honda Accord

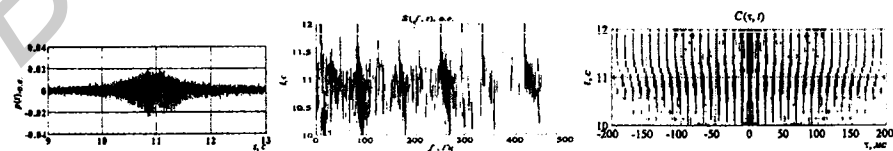
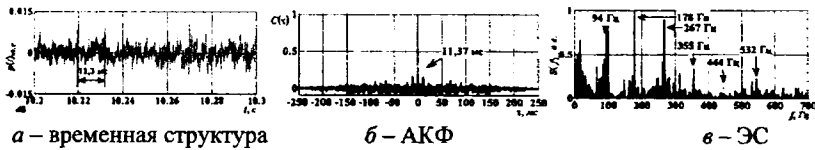
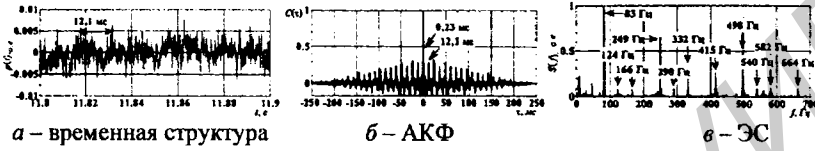


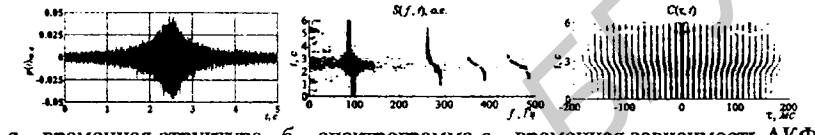
Рисунок 10 – Результаты исследований сигнала Honda Accord



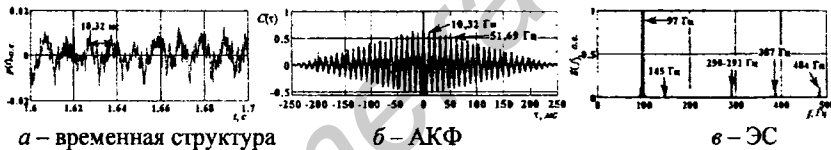
а – временная структура б – АКФ в – ЭС
Рисунок 11 – Результаты исследований сигнала Honda Accord при приближении



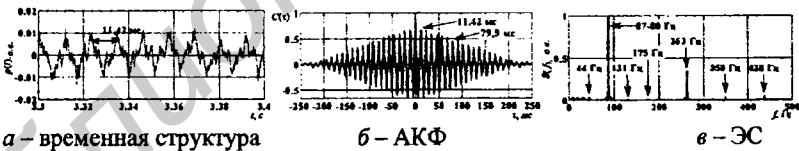
а – временная структура б – АКФ в – ЭС
Рисунок 12 – Результаты исследований сигнала Honda Accord при удалении



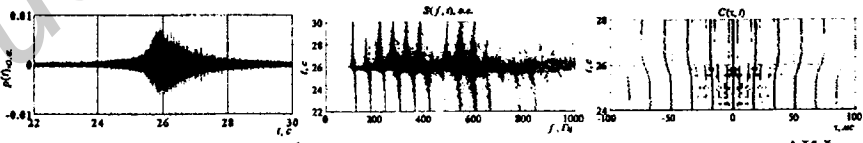
а – временная структура б – спектрограмма в – временная зависимость АКФ
Рисунок 13 – Результаты исследований сигнала автобуса МАЗ



а – временная структура б – АКФ в – ЭС
Рисунок 14 – Результаты исследований сигнала автобуса МАЗ при приближении

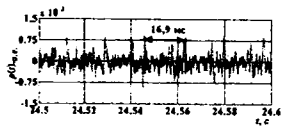


а – временная структура б – АКФ в – ЭС
Рисунок 15 – Результаты исследований сигнала автобуса МАЗ при удалении

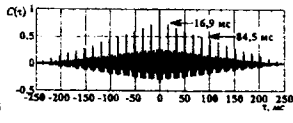


а – временная структура б – спектрограмма в – временная зависимость АКФ
Рисунок 16 – Результаты исследований сигнала мопеда

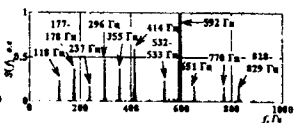
Значения скорости, рассчитанные по (7) по различным гармоникам на примере Honda Accord, приведены в таблице 1.



а – временная структура

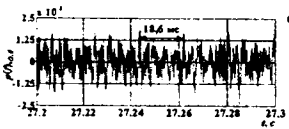


б – АКФ

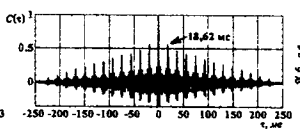


в – ЭС

Рисунок 17 – Результаты исследований сигнала мопеда при приближении



а – временная структура



б – АКФ



в – ЭС

Рисунок 18 – Результаты исследований сигнала мопеда при удалении

Таблица 1 – Рассчитанные значения скорости Honda Accord

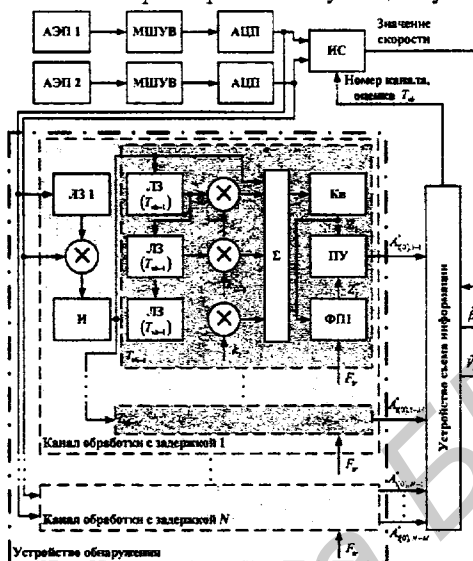
Наименование параметра	Номер гармоники				
	2	3	4	5	6
$F_{\text{об-пр}}$, Гц	178	267	355	444	532
$F_{\text{об-уд}}$, Гц	166	249	332	415	498
V_a , м/с (км/ч)	11,6 (41,9)	11,6 (41,9)	11,2 (40,3)	11,3 (40,6)	11,0 (39,7)

Результаты расчета скорости по предложенному методу совпадают с результатами измерения радиолокационным измерителем скорости транспортных средств “Искра-1”, разница в показаниях измерителя скорости и скорости АТрС рассчитанной по (7) для всех типов АТрС не превышает 4,7 %.

В пятой главе проанализированы основные факторы, влияющие на точность измерения скорости. Для получения ошибки вычисления, вызванной наличием зоны неопределенности, не превышающей 5 % при скоростях движения АТрС до 120 км/ч необходимо располагать акустический датчик на расстоянии до линии движения АТрС не более $0,28L$, где L – путь, пройденный АТрС с момента въезда в зону неопределенности до проезда места расположения акустического датчика.

Разработаны структуры многоканальной системы акустической локации, выполняющей обнаружение и измерение азимута и скорости движения АТрС и двухпозиционных систем акустической локации, осуществляющих обнаружение и измерение азимута и скорости движения АТрС с одновременной корреляционно-базовой обработкой сигнала в пространстве «азимут – время рассогласования»: с внутрипериодной обработкой сигнала, и с внутрипериодной и междупериодной обработкой сигнала (рисунок 19). Для последней системы произведен расчет основных характеристик: базы d , количества каналов N_k , разрешающей способности по разности хода ΔR , числа элементов разрешения по разности хода $n_{\Delta R}$, сформулированы требования к количеству каналов N_{k-T} .

в схеме поиска периода выхлопов $T_{\text{вн-0}}$ (таблица 2), а также сделан выбор частоты дискретизации сигнала и параметров малошумящего усилителя.



АЭП – акустоэлектрический преобразователь; МШУВ – малошумящий усилитель видеочастоты; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ИС – измеритель скорости; ЛЗ – линия задержки; Кв – квадратор; И – интегратор видеоимпульсов; ПУ – пороговое устройство; ФП – формирователь порога

Рисунок 19 – Структура двухпозиционной системы акустической локации

Таблица 2 – Время корреляции сигнала АТрС и основные характеристики двухпозиционной акустической системы

Тип АТрС	Наименование характеристики						
	$2\tau_c$, мс	$T_{\text{вн-0}}$, мс	d , м	N_k	$(\Delta r_{1,2})_{\text{обс}}$, м	ΔR , м	$n_{\Delta R}$
Автобус	1,32	10,32	2,40	7,8	4,79	0,41	11,64
Микроавтобус	0,54	12	3,41	22,2	6,81	0,17	40,44
Легковой автомобиль	0,36	11,24	3,28	31,2	6,56	0,11	58,44
Мопед	16,9	0,2	5,15	84,5	10,3	0,06	165

Параметры двухпозиционной акустической системы будут следующими: база $d = 2,4$ м, с циклом обзора пространства 0,25 секунды при числе каналов корреляционно-базовой обработки $N_k = 85$, число каналов в схеме поиска периода выхлопов $T_{\text{вн-0}}$ при междупериодной обработке сигнала $N_{k-T_{\text{вн}}}$ = 66, частота дискретизации сигнала $f_{\text{дс}} = 2^{13} = 8192$ Гц, полоса пропускания малошумящего усилителя – 10-900 Гц, его динамический диапазон – не менее 95 дБ.

В приложениях представлены результаты расчетов и дополнительные ма-

териалы, не вошедшие в основную часть диссертации, а также акты внедрения результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Математическая модель и корреляционная функция временной структуры сигнала двигателя автотранспортного средства, формируемого путем акустоэлектрического преобразования акустического поля звука, излучаемого системой выпуска. Математическая модель и корреляционная функция описывают как сигнал одного цикла цилиндра, так и сигнал цикла (последовательности циклов) двигателя, и позволяют синтезировать оптимальные устройства обнаружения с корреляционной внутрипериодной (цикл работы цилиндра) и междупериодной (цикл или последовательность циклов работы двигателя) обработкой принятого сигнала [2-А, 12-А, 14-А].

2. Метод измерения скорости движения автотранспортного средства по сигналу его двигателя на основе эффекта Доплера в однопозиционной акустической системе локации, использующий импульсную структуру видеосигнала двигателя с выхода акустоэлектрического преобразователя и учитывающий параметры перемещения автотранспортного средства относительно акустической системы, а также параметры ветра. Этот метод обеспечивает высокую точность измерения скорости автомобиля (ошибки измерения не превышают 5 % от истинного значения) благодаря следующему: в нем исключается необходимость определения абсолютных значений доплеровских частот при приближении и удалении автомобиля; измерения частот сигналов, включающих доплеровские добавки, за ограниченное время когерентного накопления, определяемое динамикой изменения параметров сигнала при перемещении автомобиля относительно акустического приемника, выполняется по гармоническим составляющим высших порядков (3 – 8) [4-А].

3. Спектрально-временные структуры и оценки автокорреляционных функций сигналов автотранспортных средств различных классов (типов) в режимах движения и холостого хода, полученные экспериментально и учитывающие направление и скорость перемещения автотранспортных средств, а также полусферу наблюдения. Эти результаты подтверждают правильность разработанной математической модели временной структуры сигнала двигателя и его корреляционной функции [5-А, 8-А, 9-А, 11-А, 15-А].

4. Оценки точности предложенного метода измерения скорости движения автотранспортного средства и проявление эффекта Доплера в спектрально-временных структурах и автокорреляционных функциях сигналов двигателей движущихся автотранспортных средств, полученные экспериментально и под-

тверждающие возможность разработки пассивных акустических устройств измерения скорости движения автомобилей по низкочастотным акустическим излучениям двигателей в диапазоне (20 – 300) Гц, обеспечивающем лучшее распространение звука в атмосфере и, соответственно, большую дальность действия акустических устройств [6-А, 3-А, 16-А].

5. Структура двухпозиционной системы акустической локации, функционирующая в диапазоне частот (20 – 300) Гц, выполняющая обнаружение и измерение в азимутальном секторе размером около 180 градусов на дальностях до 1000 метров с одновременной корреляционно-базовой обработкой сигнала в пространстве «азимут – время рассогласования» с циклом обзора пространства 0,25 секунды при числе каналов корреляционно-базовой обработки не более 90. Система отличается отсутствием вредных излучений, учетом конструктивных особенностей и изменений режимов работы двигателей, импульсной структуры видеосигнала двигателя, параметров взаимного перемещения и ветра. Обобщенная структура многоспектральной системы мониторинга, базирующаяся на использовании акустических датчиков обнаружения и измерения, с применением оптико-электронных устройств для получения изображения нарушителя границы охраняемой территории, эффективность работы которых обеспечивается путем проверки и настройки с использованием специальных средств [1-А, 10-А, 7-А, 13-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1 Разработанные спектрально-временные структуры сигналов автотранспортных средств позволяют провести синтез алгоритмов функционирования устройств обнаружения и измерения координат и параметров движения, входящих в состав акустических датчиков.

2 Метод измерения скорости движения может быть использован для разработки устройства измерения скорости автотранспортного средства по его сигналу в однопозиционной системе акустической локации. Эти пассивные устройства, обладающие свойством экологической безопасности, могут быть использованы не только в составе акустических датчиков, но и в составе средств контроля дорожного движения.

3 Результаты экспериментальных исследований являются основой для создания банка данных о спектрально-временных структурах и корреляционных свойствах сигналов автотранспортных средств различных классов. Этот банк может быть использован как в задачах синтеза устройств акустической локации, так и в задачах анализа показателей их эффективности.

4 Полученные результаты в целом должны быть использованы для создания экологически безопасных пассивных многоспектральных систем мониторинга охраняемых территорий и объектов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1-А. Гладышев, А.М. Стенд и методика для оперативной проверки тепловизионных приборов. / А.М. Гладышев // Доклады БГУИР. – 2008. – № 1 (31). С. 136–140.

2-А. Гладышев, А.М. Математическая модель временной структуры и спектрально-временные характеристики акустического сигнала автомобильного двигателя. / С.Р. Гейстер, А.М. Гладышев // Доклады БГУИР. – 2009. – № 3(41). – С. 17–25.

3-А. Гладышев, А.М. Анализ акустических характеристик бронетехники и автотранспортных средств в системах мониторинга поля боя / А.М. Гладышев // Вестник военной академии РБ. – 2007. – № 3(16). – С. 54–58.

4-А. Доплеровский эффект при акустическом мониторинге движущихся автотранспортных средств / С.Р. Гейстер, А.М. Гладышев, А.С. Гейстер, А.М. Джеки // Доклады БГУИР. – 2010. – № 1(47). – С. 5–11.

5-А. Гладышев, А.М. Результаты экспериментальных исследований спектрально-временных характеристик акустического сигнала автомобиля на холостом ходу / С.Р. Гейстер, А.М. Гладышев // Доклады БГУИР. – 2009. – № 7(45). – С. 18–24.

6-А. Гладышев, А.М. Результаты экспериментальных исследований доплеровского эффекта при приеме акустического сигнала автомобиля / С.Р. Гейстер, А.М. Гладышев // Доклады БГУИР. – 2010. – № 2(48). – С. 17–22.

Материалы конференций

7-А. Гладышев, А.М. Спектрально-временные характеристики акустических сигналов птиц / А.М. Гладышев // Информационные технологии и системы (ИТиС'08): сборник трудов конференции. – М.: Институт проблем передачи информации РАН, 2008. С. 231-235.

8-А. Гладышев, А.М. Спектрально-временные характеристики акустического сигнала автомобиля Daewoo Lanos в передней и задней полусферах / А.М. Гладышев // XIII Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи», 7-9 октября 2008, г. Минск, ВГКС. 2008. С. 140.

9-А. Гладышев, А.М. Анализ шумов автомобиля в задачах обнаружения акустических сигналов автотранспортных средств / А.М. Гладышев // IV международная научно-техническая конференция «Современные проблемы радио-

техники и телекоммуникаций РТ-2008», Севастополь, 2008. С. 355.

10-А. Гладышев, А.М. Помехи естественного происхождения в системах акустической разведки и мониторинга местности / А.М. Гладышев // Материалы докладов и краткие сообщения VI Белорусско-российской НТК «Технические средства защиты информации», 21-22 мая 2008г. Минск, БГУИР. 2008. С. 9-10.

11-А. Гладышев, А.М. Связь спектрально-временных характеристик легкового автомобиля с конструкцией и режимом работы двигателя / А.М. Гладышев // VIII Харьковская конференция молодых ученых «Радиофизика и электроника, биофизика.», 25-27 ноября 2008 г. г. Харьков. С. 43.

12-А. Гладышев, А.М. Математическая модель временной структуры акустического сигнала системы выпуска отработавших газов автомобиля / А.М. Гладышев // 7 Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ-БГУИР. Минск, 19 марта 2009 г. Минск, БГУИР. С. 43-44.

13-А. Малошумящий усилитель с большим динамическим диапазоном для переносной радиолокационной измерительной установки / А.С. Гейстер, А.М. Гладышев, А.М. Джеки, И.Ю. Малевич // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2009): материалы 5-й междунар. молодежной научн.-техн. конф./ Севастопольский нац. технический ун-т. Севастополь, 20-25 апреля 2009 г. – Севастополь: изд-во "Вебер", 2009. С. 65.

14-А. Гладышев, А.М. Математическая модель акустической волны винта самолета / А.М. Джеки, А.С. Гейстер, А.М. Гладышев // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2009): материалы 5-й междунар. молодежной научн.-техн. конф./ Севастопольский нац. технический ун-т. Севастополь, 20-25 апреля 2009 г. – Севастополь: изд-во "Вебер", 2009. С.329.

15-А. Гладышев, А.М. Влияние повреждения выхлопной трубы автомобиля на спектрально-временные характеристики акустического сигнала автомобильного двигателя / А.М. Гладышев // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2010): материалы 6-й междунар. молодежной научн.-техн. конф./ Севастопольский нац. технический ун-т. Севастополь, 19-24 апреля 2010 г. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2010. С.418.

16-А. Гладышев А. М. Влияние взаимного расположения автомобиля и акустической системы на измерение скорости / А.М. Гладышев // Современные средства связи. Материалы XV Международной научно-технической конференции. 28-30 сентября 2010, г. Минск, ВГКС. 2010. С. 119



Гладышаў Аляксей Міхайлавіч

СПЕКТРАЛЬНА ЧАСОВЫЯ СТРУКТУРЫ СІГНАЛАЎ АЎТАТРАНСПАРТНЫХ СРОДКАЎ У СІСТЭМАХ АКУСТЫЧНАЙ ПАСІЎНАЙ ЛАКАЦЫІ

Ключавыя словы: спектральна-часовая структура сігналаў аўтаатранспартнага сродку, сістэма акустычнай пасіўнай лакацыі, вымярэнне хуткасці па сігналаў аўтамабіля, эффект Доплера.

Мэта работы: распрацоўка матэматычнай мадэлі спектральна-часовай структуры сігналаў аўтаатранспартных сродкаў, метад вымярэння хуткасці, структур сістэмы маніторынгу і яе асноўных устройствау, якія могуць быць выкарыстаны для стварэння сістэм лакацыі рознага прызначэння. Аналіз спектральна-часовай структуры сігналаў аўтаатранспартных сродкаў і распрацоўка мадэлі для стварэння сістэмы акустычнай лакацыі ў мэтах выяўлення і вымярэння хуткасці аўтамабіляў.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца сістэмы і устройства пасіўнай лакацыі аўтаатранспартных сродкаў на аснове акустычных палёў.

Прадметам даследавання з'яўляюцца спектральна-часовыя структуры сігналаў аўтаатранспартных сродкаў.

Метады даследавання: метады спектральнага аналізу, эксперыментальных даследаванняў, статыстычнай апрацоўкі эксперыментальных даных.

Асноўныя вынікі працы: матэматычная мадэль сігналаў аўтамабільнага рухавіка; метад вымярэння хуткасці руху аўтаатранспартнага сродку па яго сігналаў на аснове ефекту Доплера ў аднапазіцыйнай сістэме акустычнай лакацыі; вынікі эксперыментальных даследаванняў спектральна-часовых характарыстык і аўтакарэляцыйных функцый сігналаў аўтаатранспартных сродкаў розных класаў, якія падцвярджаюць адэкватнасць прапанаванай матэматычнай мадэлі і метада вымярэння хуткасці; структура двухпазіцыйнай сістэмы акустычнай лакацыі, якая знаходзіць і вымярае з адначасовай карэляцыйнай-базавай апрацоўкай сігналаў у прасторы «азімут – час разузгаднення» і ўлічвае дыяпазоны магчымай змены рэжымаў работы рухавікоў аўтаатранспартных сродкаў, а таксама адрознівае параметры сігналаў у залежнасці ад класа і тыпу рухавіка.

Ступень ужывання: навуковыя вынікі былі выкарыстаны пры выкананні работ па стварэнню вучэбна-даследчага праграмнага комплексу імітацыі і распазнавання аб'ектаў для вызначэння абрысу і характарыстык пасіўных акустычных сістэм выяўлення і вымярэння хуткасці руху аўтамабіляў па акустычным сігналам.

Вобласць ужывання: навукова-даследчыя і вопытна-канструктарскія работы па стварэнню экалагічна бяспечных пасіўных многаспектральных сістэм маніторынгу ахоўных тэрыторый і аб'ектаў.

Гладышев Алексей Михайлович

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМАХ АКУСТИЧЕСКОЙ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

Ключевые слова: спектрально-временная структура сигнала автотранспортного средства, система акустической пассивной локации, измерение скорости по сигналу автомобиля, эффект Доплера.

Цель работы: разработка математической модели спектрально-временной структуры сигналов автотранспортных средств, метода измерения скорости, структур системы мониторинга и ее основных устройств, которые могут быть использованы для создания систем локации различного назначения. Анализ спектрально-временной структуры сигналов автотранспортных средств и разработка модели для создания системы акустической локации в целях обнаружения и измерения скорости автомобилей.

Объектом исследования являются системы и устройства пассивной локации автотранспортных средств на основе акустических полей.

Предметом исследования являются спектрально-временные структуры сигналов автотранспортных средств.

Методы исследования: методы спектрального анализа, экспериментальных исследований, статистической обработки экспериментальных данных.

Основные результаты работы: математическая модель сигнала автомобильного двигателя; метод измерения скорости движения автотранспортного средства по его сигналу на основе эффекта Доплера в однопозиционной системе акустической локации; результаты экспериментальных исследований спектрально-временных характеристик и автокорреляционных функций сигналов автотранспортных средств различных классов, подтверждающие адекватность предложенной математической модели и метода измерения скорости; структура двухпозиционной системы акустической локации, выполняющая обнаружение и измерение с одновременной корреляционно-базовой обработкой сигнала в пространстве «азимут – время рассогласования» и учитывающая диапазоны возможных изменений режимов работы двигателей автотранспортных средств, а также отличия параметров сигналов в зависимости от класса и типа двигателя.

Степень использования: научные результаты были использованы при выполнении работ по созданию учебно-исследовательского программного комплекса имитации и распознавания объектов для определения облика и характеристик пассивных акустических систем обнаружения и измерения скорости движения автомобилей по акустическому сигналу.

Область применения: научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию экологически безопасных пассивных многоспектральных систем мониторинга охраняемых территорий и объектов.

SUMMARY

Gladyshev Alexey Mihajlovich

SPECTRAL-TIMING STRUCTURE OF VEHICLE SIGNALS IN SYSTEMS ACOUSTIC PASSIVE LOCATION

Key words: spectral-timing structure of the vehicle's acoustic signal, the system of passive acoustic location, measuring the velocity of the vehicle signal, the Doppler Effect.

Purpose: to develop a mathematical model of the spectral-temporal structure of signals of motor vehicles, the method of measuring the velocity structures of the monitoring system and its basic devices, which can be used to build systems for various purposes ranging. Analysis of spectral and temporal structure of signals for motor vehicles and the elaboration of a model for creating an acoustic location system to detect and measure the speed of vehicles.

Research object: are systems and devices passive location of vehicles on the basis of acoustic fields.

Research item: are the spectral-temporal structure of signals of motor vehicles.

Research method: methods of spectral analysis, experimental research, statistical analysis of experimental data.

Work main result: a mathematical model of the signal car engine, the method of measuring the velocity of the vehicle by its signal on the basis of the Doppler effect in a monostatic acoustic location system, the results of experimental studies of spectral and temporal characteristics of the autocorrelation functions of signals of different classes of vehicles, confirming the adequacy of the proposed mathematical model and method of measuring the velocity, the structure of bistatic acoustic location system that performs detection and measurement with simultaneous correlation-basic signal processing in space "azimuth - the time mismatch" and takes into account the range of possible changes in modes of operation of engines of vehicles, as well as the differences between signal parameters depending on the class and type of engine.

Degree of use: scientific results have been used in executing the works to create educational and research program of the complex simulation and object recognition to determine the shape and characteristics of passive acoustic systems to detect and measure the speed of cars on the acoustic signal.

Applications areas: research and development work to create environmentally friendly passive multispectral monitoring of protected areas and objects.

Научное издание

Гладышев Алексей Михайлович

**СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМАХ АКУСТИЧЕСКОЙ
ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ**

специальность 05.12.04 – радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 08.12.2010.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,3.	Тираж 60 экз.	Заказ 850.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6.